

INVESTIGACIONES EN FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA



**FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES**
Ing. Néstor René Ledesma



**Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías**



Universidad Nacional de Salta
**FACULTAD DE
INGENIERIA**



Facultad de
**Agronomía y
Agroindustrias**
Universidad Nacional de Santiago del Estero



**FACULTAD DE
INGENIERIA**
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY

Autoridades

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - Universidad Nacional de Catamarca
Ingeniero Agrimensor Carlos Humberto SAVIO

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy
Ingeniero Metalúrgico Gustavo Alberto Lores

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta
Ingeniero en Construcciones Héctor Raúl Casado

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Ingeniero Vial Pedro Juvenal Basualdo

Facultad de Agronomía y Agroindustrias - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Doctora Ingeniera en Industrias Agrícolas y Alimentarias Myriam Elizabeth Villarreal

Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Doctor Ingeniero en Industrias Forestales Juan Carlos Medina

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán
Doctor Ingeniero Electricista Miguel Angel Cabrera

Editor

Santapaola, Julia Eleonora

Comité Organizador

Secretarios de Ciencia y Técnica de las Facultades integrantes del CODINOA

Acosta, Delicia

Benac, María José

Cañas, Martha

Lopez, Gloria

Manzano, Eduardo

Rizo Patrón, Marcia

Rodríguez, Ivan

Santapaola, Julia Eleonora

Sarmiento, Miguel

Vicente, María Soledad

Colaboradores

Martínez, Daniel

Salvador, Romina Daniela

Diseño

Martínez, Daniel

Compaginación

Martínez, Daniel

Salvador, Romina Daniela

Comité Científico Evaluador

Ahumada, Hernán César	UNCA
Almirón, Analía	UNCAUS
Andrada, Oscar	UNCA
Acosta, Carina Andrea	UNSE
Albarracín, Leonardo Miguel	UNT
Araujo, Paula	UNT
Arias Figueroa, Daniel	UNSA
Ayala, Myriam	UNF
Barrionuevo, Selva Azucena	UNSE
Barrionuevo, María Julia	UNT
Bazzano, Flavia Marcela	UNT
Bertuzzi, María Alejandra	UNSA
Bevacqua, Cristian Ignacio	UNCA
Brand, Cecilia	UNP
Bravo, Álvaro Javier	UNT
Budán, Paola	UNSE
Cabana, Roxana del Carmen	UNJU
Cañas, Martha Susana	UNCA
Chalabe, Susana Angélica	UNJu
Cheein de Auat, Nori Esther	UNSE
Colombo, Marcela	UNT
Coronel, Eve Liz	UNSE
Demaio Pablo	UNCA
D Urso, Carlos Humberto	UNT
Erdmann, Eleonora	UNSA
Eremchuk, Jorge Enrique	UNCA
Fernández, Norma Beatriz	UNSE
Fernández, Gabriela	UNJU
Ferrari, Ricardo	UNT

Ferreira, Arturo Lorenzo	UNCA
Frau, Silvia Florencia	UNSE
Galiano, José Eduardo	UNSE
Gastaminza, Gerardo	UNT
Generoso, Silvina Marcela	UNSE
Giunta, Sandra Adriana	UNJU
Godoy, Carlos Eduardo	UNSE
Gómez, Sofía Gabriela	UNCA
Gómez, Patricia E.	UNCA
Gómez Marigliano, Ana Clelia	UNT
Guillén, Silvia	UNT
Gulotta, Marta Rosalía	UNSE
Guzmán, María Fernanda	UNT
Heredia, Diego Leonardo	UNCA
Herrera, Carlos Gabriel Rosa	UNCA
Herrera, Walter Edgardo	UNCA
Herrera, Susana	UNSE
Hilal, Mirna Beatriz	UNT
Ingaramo, Alejandra Patricia	UNT
Irahola Ferreyra, Jaime Alfonso	UNJU
Joseau, María Jacqueline	UNC
Juárez, Carlos Ramón	UNSE
Keil, Gabriel	UNLP
Korzeniewski, María Isabel	UNCA
Kulemeyer, Julio José	UNJu
Lazarte, Ivanna Maricruz	UNCA
Leguiza, Pedro Daniel	UNCAUS
Lobo, Manuel Oscar	UNJU
Lobo, Ada Patricia	UNCA
López, Gloria	UNCA
Luna Pizarro, Patricia del Carmen	UNJU

Madregal, Sergio Omar	UNJU
Mainardi, Victoria	UNT
Maldonado, Marta Silvina	UNJU
Maro, Guadalupe	INECOA (CONICET-UNJU)
Martel, Eduardo	UNT
Martín, Guillermo O. (h)	UNT
Martínez, Sergio Luis	UNJU
Medrano, José Federico	UNJU
Mele, Fernando Daniel	UNT
Montserrat, Susana	UNT
Moya, María de las Mercedes	UNSA
Nediani, Miriam Teresa	UNSE
Nieva, Eugenia	UNCA
Ocampo, Alejandra Irupe	UNCA
Oller Aramayo, Sergio	UNSA
Olmos, Luis Alejandro	UNSE
Ortin Vujovich, Adriana	UNSA
Ortiz, Erlinda del Valle	UNCA
Palazzi, Silvia	UNT
Panico, Adriana Fátima	UNT
Parentis, Mónica Liliana	UNSA
Pérez, Carolina	UNLP
Quinzio, Claudia Marcela	UNSE
Ramón, Adriana	UNSA
Rigali, Silvina Luján	UNSE
Robles, Norma Ines	UNT
Rodríguez, Andrés	UNC
Rodríguez, Silvia del Carmen	UNSE
Rodríguez, Iván	UNSA
Rodríguez de Zar, Mirtha I.	UNCA
Roldán, Teresita del Valle	UNCA

Salas, Liliana Beatríz	UNCA
Salvatierra, Nancy Alicia	UNC
Samman, Norma	UNJU
Sánchez Reinoso, Carlos	UNCA
Santapaola, Julia Eleonora	UNJU
Slavutsky, Aníbal	UNSA
Spavento, Eleana	UNLP
Tarifa, Enrique Eduardo	UNJU
Tarifa, Héctor Ramón	UNJU
Tereschuk, María Laura	UNT
Torres Auad, Lía Fabiana	UNT
Valdeón, Daniel	UNT
Vera, Francisco Javier	UNSE
Vilallonga, Gabriel Domingo	UNCA
Vituro, Carmen Inés	UNJU
Zacur Martínez, José Luis	UNJU
Zalazar, Martín	UNER
Zeman, Claudia	UNSE
Zossi, Marta María	UNT

Prólogo

La Revista “Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA” es editada a partir del año 2005 con los trabajos completos presentados en las Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Estas Jornadas se generan por iniciativa del Consorcio de Decanos de Ingeniería del Noroeste Argentino (CODINOA) formado por las Facultades de Ingeniería de las Universidades Nacionales de Jujuy y Salta, las Facultades de Ciencias Exactas y Tecnologías, de Ciencias Forestales y de Agronomía y Agroindustria de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán y la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. Son de carácter multidisciplinario permitiendo la convergencia de áreas del conocimiento relacionadas con ingeniería, ciencias exactas y tecnología, en un mismo foro académico regional de profesionales, docentes, investigadores, estudiantes de grado y postgrado.

En el año 2020, debido a la pandemia por COVID-19, no se pudieron realizar las XV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA que estaban planificadas para realizarse en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta. De todas maneras, el Consorcio CODINOA acordó impulsar la realización de un número especial de la Revista “Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA” a fin de dar continuidad a nuestra actividad y mostrar a la sociedad parte de los esfuerzos que realizamos en cada unidad académica para superar estos tiempos extraordinarios, y así es como surge el Número 6 (2020) de la misma.

Para esta especial ocasión se hizo una convocatoria, a través de los Secretarios y Secretarías de Ciencia y Técnica de las Facultades partícipes, a la presentación de trabajos originales según las áreas temáticas que existen en las Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA: Gestión de la Educación en Ingeniería, Ciencias Básicas de la Ingeniería, Tecnologías Básicas y Aplicadas, Computación e Informática, Forestal, Agronomía y Alimentos, Ciencias de la Tierra y Ambiente.

Los trabajos tuvieron un proceso de evaluación de doble referato. Para la Revista Número 6 fueron aprobados 78 trabajos completos y participaron 114 evaluadores de distintas especialidades.

Los integrantes de las Secretarías de Ciencia y Técnica y las Autoridades de las Facultades que forman el Consorcio CODINOA agradecemos a los autores de los trabajos de la presente revista, a los profesionales que participaron como Miembros del Comité Evaluador por su ardua y desinteresada tarea y a todos aquellos que colaboraron directa e indirectamente en esta realización.

Dra. Ing. Julia E. Santapaola
Secretaría de Ciencia y Técnica
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Jujuy

Índice

Ambiente

Degradación de plásticos expuestos a agentes físicos naturales en San Salvador de Jujuy.....	15
Mejoras en la captura de CO ₂ en sólido mesoporoso.....	23
Valoración de los servicios ecosistémicos del paisaje urbano-periurbano (sur) de la ciudad de La Banda.....	31
Análisis socio-ambiental de un proyecto de una planta fotovoltaica de 200Mw en Amaicha del Valle, Tucumán.....	39
Síntesis de TiO ₂ . Efecto de las variables de síntesis en la actividad fotocatalítica.....	47
Respuesta de ensambles de macroinvertebrados bentónicos a la presencia de un dique derivador: análisis preliminar.....	53
Biomarcadores de estrés oxidativo en el líquen <i>Parmotrema austrosinense</i> expuesto a tránsito vehicular	61
Desarrollo sostenible de la actividad minera en Jujuy.....	71
La evolución del concepto huella hídrica como herramienta de gestión sustentable del agua.....	79
Análisis del contenido de carbono de la madera muerta en bosques del Departamento Copo, Santiago del Estero, Argentina.....	87
Evaluación técnica de la lixiviación de pilas alcalinas agotadas con solución de ácido sulfúrico de baterías usadas.....	95
Los “boldos” y “buscapinas” empleados en medicina doméstica en Santiago del Estero (Argentina)	105
Relevamiento de precios y corrientes de residuos sólidos urbanos demandados por el mercado del reciclaje en Santiago del Estero.....	115
Conocimiento popular de epífitas y parásitas forrajeras en Santiago del Estero, Argentina.....	121
Glicerina como co-sustrato en compostaje y biometanización de residuos biodegradables.....	129
Colector solar tubular heat pipe para el calentamiento de aire.....	139
Efecto del pH sobre la lixiviación de los iones mayoritarios de una muestra de residuo de construcción (revoque).....	145

Ciencia de la Tierra

Hidrogeomorfología de la localidad de La Puerta- Banda Sur, Departamento Ambato, Catamarca	157
Evaluación del modelo geopotencial XGM2019e basado en datos de observación GOCE para la región de Santiago del Estero.....	165
Experiencia aerofotogramétrica con la tecnología VANT en Villa La Punta, Santiago del Estero.....	173
Análisis morfométrico de la cuenca del río El Tala, Catamarca, Argentina.....	181
Análisis de Lluvias Intensas en la Provincia de Santiago del Estero.....	189
Aplicación de SRTM 90 m, ALOS World 3D – 30 m y TanDEM-X 90 m en la provincia de Santiago del Estero.....	199
Aplicación del Modelo Hidrológico SWAT a la Planificación Hídrica de Cuencas del NOA. Caso práctico: Cuenca Salí-Dulce.....	207
Utilización de instrumental tecnológico para el monitoreo de las variaciones piezométricas en el acuífero aluvial de la quebrada del río Pomán – Catamarca - Argentina.....	215

Ciencias Básicas de la Ingeniería

Experiencia Innovadora en enseñanza y evaluación en Ingreso en Física.....	223
Experiencias de laboratorio de Física Nuclear en aislamiento.....	231
Aplicación de descriptores locales de reactividad al estudio de la transferencia de grupos acilos catalizada por H-ZSM-5.....	239
Mejoras en el tratamiento del Diseño bajo Incertidumbre en Ingeniería Química.....	249
Influencia de la relación Si/Al y la temperatura en una reacción de transesterificación catalizada por zeolita H-ZSM-5.....	257
Diseño de dispositivo para deposición metálica homogénea.....	265
Transformando nuestras prácticas docentes en la virtualidad, en el marco del Aprendizaje Centrado en el Estudiante.....	275

Computación e Informática

Experiencia de aprendizaje activo usando el método de aula invertida.....	285
Experiencia de enseñanza virtual de la asignatura Redes de Área Extendida.....	293
Modelo clasificador de documentos científicos aplicando minería de texto	303

Análisis Exploratorio sobre COVID-19 a partir de publicaciones científicas en <i>Microsoft Academic</i> empleando Modelado Temático.....	309
Almacenamiento a perpetuidad de registros de auditoría de una infraestructura de red.....	317
Hacia una propuesta de diseño de Interfaz centrado en el usuario para promover creatividad desde el enfoque de las Neurociencias.....	325

Forestal, Agronomía y Alimento

Sondeo del consumo familiar de frutas y verduras en barrios de San Salvador de Jujuy durante el aislamiento por Covid-19.....	337
Implementación de un método colorimétrico para cuantificación de hierro en alimentos de hojas verdes.....	345
Efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero y fructanos sobre la textura de quesos procesados untables de leche de cabra.....	353
Evaluación de conocimientos en elaboradores de alimentos sobre riesgos de salud por consumo de sodio.....	361
Modelado por homología de la enzima beta-galactosidasa de bacterias lácticas de interés biotecnológico.....	369
Estimación de la vida útil de rúcula tratada con UV-C y ozono a través del ajuste a modelos matemáticos de parámetros críticos.....	375
Efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de <i>Mentha spicata</i> L., de diferentes edades cultivada en Santiago del Estero	385
Desarrollo de barras energéticas con materias primas con propiedades funcionales...	391
Evaluación de la aceptabilidad de un alimento horneado elaborado con materia prima regional.....	399
Empleo de acoplamiento molecular para análisis comparativo de enzimas β -galactosidasa de bacterias lácticas.....	405
Alteraciones fisiológicas en <i>Prosopis nigra</i> por glifosato.....	413
Evaluación de la nodulación con cepas nativas en cultivos de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) en Atamisqui, Santiago del Estero.....	419
Evaluación de cultivares de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.) y sorgo granífero (<i>Sorghum</i> spp) en el área de riego de Santiago del Estero.....	427
Determinación del coeficiente de difusión efectivo de fideos libres de gluten a partir de la cinética de secado convectivo.....	433
Evaluación de la concentración nutricional óptima de la solución de riego en plántulas de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.).....	439

Gestión de la Educación en Ingeniería

Laboratorio en casa: experiencias de química con materiales caseros.....	449
Una experiencia con estudiantes de Ingeniería Química de Tucumán, enseñanza remota en tiempos del COVID-19.....	457
La formación por competencias en carreras de ingenierías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.....	465
Integración de las TIC en la modalidad presencial y virtual en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas.....	473
Rediseño del Programa de Probabilidad y Estadística de carreras de Ingeniería para potenciar el aprendizaje por competencias.....	481
Repensando paradigmas educativos en tiempos de pandemia.....	491
Trabajo colaborativo virtual para simular la futura actividad profesional de los ingenieros.....	499
La competencia comunicativa en laboratorio en tiempos de pandemia.....	507
Dictado virtual de una materia del ciclo superior de Ingeniería Química.....	515
El desafío de la Educación remota de Emergencia: análisis de experiencias en la FACET.....	525
Diseño de propuestas pedagógicas virtuales en tiempos de pandemia.....	535

Tecnologías Básicas y Aplicadas

La lecto-comprensión en inglés: una competencia genérica en carreras de Ingeniería.....	545
Caracterización de hidrogeles para uso en envases activos. Una alternativa para el agregado de valor al cultivo de papas andinas.....	551
Degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos utilizando titanía modificada activa bajo luz visible	559
Análisis de la vida residual de un conjunto industrial ventilador-eje para extracción de gases, en contexto de riesgo y sustentabilidad.....	567
Análisis electromiográfico y funcional de la musculatura del tronco en ejercicios isométricos.....	573
Síntesis, Caracterización y Actividad fotocatalítica de TiO_2 depositada sobre $\text{SiO}_2 - \text{Fe}_3\text{O}_4$	581
Impacto de la refrigeración en el rendimiento de una columna de carbonatación.....	589

Separación de CO ₂ /N ₂ : evaluación experimental de materiales adsorbentes y diseño conceptual del ciclo de adsorción.....	597
Nueva alternativa para soportar nanopartículas de TiO ₂ -N ₂ - Evaluación en fotocatalisis heterogénea promovida bajo luz visible.....	605
Desarrollo de scaffolds dermatológicos de Policaprolactona y sobrenadante de <i>Lactobacillus plantarum</i> mediante electrospinning.....	611
Desarrollo de sistema de medición de energía eléctrica.....	619
Estudio de remoción de azul de metileno a partir hidrogeles a base de pectina, goma brea y montmorillonita.....	629
Electrodeposición de Polianilina sobre mantas de acero inoxidable recubiertas con Policaprolactona y nanotubos de carbono para la fabricación de sustratos conductores.....	639
Diseño de un equipo esterizador eficiente de aire.....	647

AMBIENTE



Degradación de plásticos expuestos a agentes físicos naturales en San Salvador de Jujuy

Alonso, María S.¹; Madregal, Sergio O.¹; Romero, Daiana S.¹ y Escalier, Víctor I.¹

(1) *Laboratorio de Descontaminación, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
msalonso12@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo se realizó para estudiar el grado de deterioro provocado por agentes físicos naturales sobre diferentes plásticos usualmente encontrados en los residuos sólidos domiciliarios de S.S. de Jujuy. El ensayo se realizó durante los meses de verano, utilizando un panel (inclinado 45°, con orientación hacia el Norte). Sobre él se colocaron trozos de bandejas de poliestireno expandido y de bolsas de diferentes tipos de polietileno: de baja y de alta densidad con y sin aditivos oxo-degradantes. La degradación ocurrida se evaluó con la medición, en una máquina de ensayos de tracción uniaxial, de propiedades mecánicas de los plásticos expuestos a la intemperie, como así también de controles sin exposición. En general, hubo una disminución en los valores de las propiedades mecánicas medidas para las muestras plásticas tratadas con respecto a las sin tratamiento. La disminución fue más importante para la elongación porcentual a rotura, registrándose para esta variable, para la mayoría de los plásticos estudiados, descensos de hasta 20-30 veces, en relación con los controles correspondientes. La tensión a rotura disminuyó también, en menor magnitud, con el proceso aplicado: hasta como máximo 10 veces, en particular para polietileno de alta densidad con aditivo para oxo-degradación.

ABSTRACT

This work was carried out to study the degree of deterioration caused by natural physical agents on different plastics usually found in the domestic solid waste of S.S. of Jujuy. The test was performed during the summer months, using a panel (45° inclination, oriented towards the North). Pieces of expanded polystyrene trays were put fixed on the panel, as well as pieces of different polyethylenes: low and high density, with and without additives to promote oxo-degradation. Evaluation of the degradation occurred was made through the measurement, in a uniaxial tensile testing machine, of mechanical properties of the plastics already treated, as well as untreated controls. In general, there was a decrease in the values of the mechanical properties measured for the samples of the plastics after exposure with respect to those without treatment. The decrease was more important for the percentage elongation at break, registering for this variable, for most of the plastics studied, decreases of up to 20-30 times, in relation to the corresponding controls. The stress at break also decreased, to a lesser extent, with the applied process: up to a maximum of 10 times, particularly for high density polyethylene containing oxo-degrading additive.

Palabras clave: residuos plásticos, degradación abiótica, poliestireno expandido, polietileno

Keywords: plastic wastes, abiotic degradation, expanded polystyrene, polyethylene.

INTRODUCCIÓN

El porcentaje de residuos sólidos urbanos (RSU) en el mundo va en aumento. Particularmente, Argentina ha estado generando en esta última década (González, 2010) más de 13 millones de toneladas de RSU por año, con una generación per cápita (GPC) promedio en todo el país de 0,85kg/hab/día.

El porcentaje de los plásticos presentes en los residuos sólidos urbanos varía de un país a otro, y de una ciudad a otra para un país determinado, existiendo una influencia del nivel socioeconómico de la población estudiada. También se observa un incremento de este porcentaje a través de los años, en particular desde comienzos de la década de los '90, debido a un incremento en el consumo de elementos de plástico de corta vida útil (Alonso, 2000). En Argentina, según el Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos sólidos urbanos (2019), los residuos plásticos constituyen en promedio el 15% del total de los RSU, variando entre un 9 % de mínima y un 21 % de máxima, según la localidad de que se trate.

El destino y la persistencia de estos plásticos es uno de los temas que generan preocupación tanto en la comunidad científica como en la sociedad: Estos materiales tienen una alta inercia química y biológica y, por lo tanto, su degradación es muy compleja (Koutny, 2006).

Frente a ello, se han adoptado diferentes estrategias para reducir su presencia en el medio ambiente. La primera está relacionada con el reciclaje (Al-Salem, 2010). Otra estrategia ha consistido en diseñar materiales que después de cumplir su ciclo de vida, puedan degradarse en condiciones controladas o naturales (Ammala, 2011).

Por otra parte, se han desarrollado procesos para degradar residuos plásticos, con agentes físicos como calor y radiación, o mediante la utilización de microorganismos, entendiendo por degradación cualquier cambio indeseable en las propiedades de un material, en este caso polimérico, por acción de agentes físicos o químicos (ASTM, 1991; Posada Bustamante, 1994). Se pueden utilizar diferentes variables para evaluar la degradación de plásticos, entre ellas cambios en el peso de los mismos y ensayos de tracción, tal como expone Alonso (2016). Para mejorar la degradación de algunos plásticos, como el polietileno, conservando al mismo

tiempo sus propiedades, se han diseñado nuevos materiales, denominados típicamente oxodegradables. Éstos contienen aditivos metálicos prodegradantes que son capaces de acelerar la reacción del polímero con oxígeno molecular atmosférico, incorporando átomos de oxígeno en la cadena del polímero (Ammala, 2011), favoreciendo así una degradación abiótica del plástico con aditivo.

El objetivo de este trabajo consistió en determinar el grado de degradación de bolsas de polietileno con y sin aditivos pro-degradantes, y de recipientes de poliestireno de uso frecuente (bandejas de comida descartables), sometidos, por exposición a la intemperie, a la acción de agentes físicos naturales (calor, radiación solar, precipitaciones y vientos).

METODOLOGÍA

Para los ensayos, se eligieron bolsas y bandejas plásticas pos-consumo, es decir, que tuvieron un uso posterior a su fabricación y previamente al ensayo. Se utilizaron como objetos para el estudio: bolsas de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) sin aditivos y otras que, de acuerdo al rótulo impreso en las mismas, contenían el aditivo "AddiFlex"®, envoltorios de paquetes de papel higiénico de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) y bandejas de Poliestireno expandido (PSexp) usadas para alimentos.

Los espesores de las películas de los diferentes polietilenos (Tabla 1) fueron medidos con un espesímetro con apreciación de 1 µm, mientras que el espesor de la bandeja de poliestireno expandido fue medido con un tornillo micrométrico (rango 0-25 mm y apreciación 0,01 mm).

Tabla 1. Espesores de los plásticos

Plástico	Espesor (mm)
PEAD	0,0196
PEAD con AddiFlex	0,0166
PEBD	0,0345
PSexp	3,60

De los distintos objetos se cortaron muestras de 13 cm x 17 o 20 cm (Figura 1). Las dimensiones fueron elegidas de acuerdo a experiencias previas en el mismo laboratorio, adecuándolas a los espacios disponibles en el panel utilizado para la exposición.



Figura 1. Corte de muestras.

Exposición a la intemperie

Las muestras fueron sometidas a un tratamiento de limpieza antes de colocarlas en el panel. Para las muestras de polietileno, dicho tratamiento consistió en sumergirlas en etanol durante 15 minutos, mientras que al poliestireno se lo limpió con algodón impregnado en etanol. A continuación, las muestras fueron secadas en estufa a 70°C durante 30 minutos.

Finalmente, las muestras de los diferentes plásticos fueron colocadas en el panel, y expuestas a agentes físicos naturales a la intemperie, recibiendo radiación UV directa del sol, calor, viento y precipitaciones en los meses de primavera y verano. El ensayo duró 5 meses (entre octubre y febrero) y se realizó en San Salvador de Jujuy (Latitud S24°11'40'', Longitud O 65°17'49'', Altitud s.n.m. 1260 m). Dicho panel fue construido con metal bajo las normas ASTM D 5272-08 "Standard practice for outdoor exposure testing of photodegradable plastics" y ASTM G 7-05 "Standard practice for atmospheric environmental exposure testing of nonmetallic materials" (ASTM, 2005; ASTM, 2008). El panel fue inclinado 45° con orientación hacia el Norte y se colocó una malla antigranizo unos centímetros por encima de las muestras (Figura 2).



Figura 2. Panel metálico (luego inclinado a 45°) con plásticos montados para la exposición a intemperie. La irradiación solar diaria promedio en el período de estudio en localidades de Jujuy y Salta con latitud, longitud y altitud similares a S.S. de Jujuy está comprendida entre 5kWh/m² y 7 kWh/m² (Laspiur, 2013);

El tiempo de exposición fue elegido en función de que otros autores (Quiroz, 2009), informaron haber hallado una degradación importante de polietileno, por exposición a intemperie durante 4 a 6 meses en Quito, Ecuador.

Terminado el tiempo de tratamiento se extrajeron las muestras, y se procedió a realizarles un tratamiento de limpieza similar al aplicado antes de iniciado el estudio, para retirarles los residuos de tierra y polvo impregnados durante el proceso.

A continuación, se determinó la posible degradación ocurrida, midiendo cambios en las propiedades de tracción de los materiales estudiados debido al tratamiento aplicado, utilizando una máquina de tracción uniaxial. En la preparación de las probetas para la determinación de las propiedades de tracción, se siguió lo establecido en las normas IRAM 13316 (IRAM, 1969) y ASTM-D638-14 (ASTM, 2014). Las dimensiones de las probetas fueron de 6mm x 33mm, y en total se prepararon 6 probetas cortadas en dirección longitudinal y otras 6 en dirección transversal, más igual cantidad de muestras Control (sin tratamiento previo) de cada una de las direcciones de corte y tipo de plástico. El equipo utilizado para medir las propiedades de tracción trabajó a una temperatura ambiente promedio de 23 ± 2°C y a una velocidad de 1mm/s (Figura 3).



Figura 3. Ensayos de tracción en muestra de PEBD y de PS expandido

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Finalizado el período de exposición, se advirtió fragilidad en las muestras de polietileno con aditivo, ocurriendo fragmentación al manipular algunas de ellas, en coincidencia con lo observado por Quiroz (2009) para un tiempo prolongado de exposición a intemperie de bolsas de supermercado. En el caso del poliestireno se observó un cambio físico al tornarse de un color amarillo y sufrir un gran aumento en su fragilidad tal como lo expone Yousif (2013).

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción sobre las muestras tratadas y sus respectivos controles, se calculó la Tensión en el punto de rotura del material, como el cociente entre la Fuerza aplicada y el Área transversal inicial de la probeta analizada (en MPa para los polietilenos y en kPa para el PS). También se calculó la deformación a la rotura, la cual es igual al cociente entre la diferencia de la longitud final de la probeta (al momento de romperse) menos su longitud inicial, dividido por la longitud inicial, y

multiplicado por 100 para expresar esta deformación como porcentaje. El numerador se determinó en este caso como el producto entre la velocidad de trabajo del equipo y el tiempo transcurrido desde el comienzo de cada ensayo hasta la rotura de la correspondiente probeta.

Los valores promedio de las propiedades de tracción, determinadas sobre las muestras expuestas y los controles respectivos, como así también la variación ocurrida tanto para elongación como para tensión a rotura, se encuentran en las Tablas 2 y 3.

Las probetas de PEBD cortadas en sentido transversal no alcanzaron el punto de rotura debido a una restricción constructiva del equipo utilizado, esto es, una limitación en la carrera del tornillo. Por esta razón, no se pudo determinar sus propiedades de tracción a rotura, que en el caso de deformación porcentual de este tipo de plástico puede ser de hasta 800%, según datos obtenidos de Contreras (2018).

Tabla 2. Variación de propiedades de tracción para probetas cortadas en dirección transversal.

Variación en la dirección transversal						
Plástico	Deformación a rotura (%)			Tensión a la rotura (MPa)		
	sin tratamiento	con tratamiento	variación %	sin tratamiento	con tratamiento	variación %
PEAD	389	30	92	26	5	81
PEAD + Addiflex	407	24	94	38	4	89
PEBD		34			36	
Deformación a rotura (%)			Tensión a la rotura (kPa)			
PSexp	41	5	88	1100	200	82

Tabla 3. Variación de propiedades de tracción para probetas cortadas en la dirección longitudinal.

Variación en la dirección longitudinal						
Plástico	Deformación a rotura (%)			Tensión a la rotura (MPa)		
	sin tratamiento	con tratamiento	variación %	sin tratamiento	con tratamiento	variación %
PEAD	261	8	97	70	14	80
PEAD+Addiflex	201	24	88	65	3	95
PEBD	707	43	94	44	34	23
Deformación a rotura (%)			Tensión a la rotura (kPa)			
PSexp	31	7	77	800	200	75

Para todos los plásticos hubo una disminución en los valores de las propiedades mecánicas medidas para las muestras plásticas después de la exposición a la intemperie con respecto a los respectivos controles sin tratamiento.

Este descenso fue más importante para la elongación que para la tensión a rotura. Para la primera variable, se encontraron, debido al tratamiento, disminuciones de entre 88% y 97% (equivalente a una reducción de hasta más de 30 veces del valor de los respectivos controles) para los polietilenos, y entre 77% y 88% (o sea una reducción de 4-8 veces con respecto al control) para el poliestireno expandido.

La tensión a rotura disminuyó en menor medida que la elongación a rotura con el proceso aplicado, en general hasta 3-6 veces, y como máximo hasta 20 veces para los plásticos con aditivo oxo-degradante.

Esto indica que hubo una influencia del tipo de plástico sobre el efecto causado sobre cada uno por la exposición a la intemperie, registrándose disminuciones más importantes para los polietilenos, especialmente los de alta densidad, con respecto al poliestireno expandido, aunque en este caso pudo también haber influido un espesor mayor de las bandejas de PSexp con respecto a las bolsas y envoltorio de PE, considerando que la fotodegradación es un fenómeno superficial, y que la exposición a radiación ultravioleta, proveniente en este caso del sol, provoca un efecto degradativo que avanza desde la capa exterior del material plástico, penetrando progresivamente a través de las capas inferiores, Quiroz(2009).

En las Tablas 2 y 3 se observa también que se hallaron diferencias, algunas más importantes, tanto entre los valores de cada una de las variables de tracción medidas para cada plástico estudiado como así también en los valores de la variación de ambas variables para las muestras expuestas con respecto a los controles correspondientes, según el sentido de corte. Lo cual justifica considerar, para estudios similares, diferentes sentidos de corte de las probetas a analizar, debido a la anisotropía de los materiales. Los resultados hallados para polietileno de baja densidad, pueden ser comparados con los de otros autores como Álvarez Zeferino (2014), quienes expusieron películas de este polímero a la intemperie en México D.C., durante 45 días. Para ese período, estos autores encontraron, en el caso de exposición directa de las muestras a radiación

solar, una disminución en la elongación a rotura del PEBD del 70 % con respecto al control sin exposición alguna a intemperie. Este valor es mucho menor al 94 % de reducción de esta misma variable hallado en este trabajo, lo cual estaría relacionado con el tiempo de exposición del plástico, que para el presente trabajo fue de 5 meses.

Los autores de otro grupo de trabajo, Quiroz (2009), expusieron a la intemperie en Quito, Ecuador, bolsas de polietileno (sin especificación si de alta o baja densidad) expandidas en supermercados, y, para 4 meses de exposición hallaron, en el caso de polietileno con aditivos oxo-degradantes, una disminución en las propiedades de tracción (tensión y elongación a rotura) de entre 21% y 44 % según el aditivo, en tanto a los 6 meses de exposición, no pudieron determinar las propiedades de tracción debido a la desintegración de las muestras.

De modo que, para localizaciones con radiación solar similar a la de este estudio (S.S de Jujuy, Argentina), y a las de otros autores (México Capital y Quito, Ecuador), una exposición a intemperie durante 5-6 meses sería necesaria para la degradación de polietilenos.

En los trabajos realizados anteriormente por este grupo de investigación (Alonso, 2017; Alonso, 2018a; Alonso, 2018b), se encontraron los siguientes resultados para el tratamiento de plásticos, pero en una cámara de envejecimiento acelerado, con radiación UV-A, temperatura de 50°C, 50 % de humedad y aireación:

Para PEAD, en el trabajo de Alonso(2017), la exposición a radiación UV y calor provocó, para el máximo tiempo de exposición (1000 horas), y dependiendo del sentido de corte de las muestras, variaciones de 98-95% para la deformación porcentual en ambos sentidos de corte y variaciones de 51% y 28% en tensión a rotura para el sentido transversal y longitudinal respectivamente. De modo que la variable más sensible al tratamiento abiótico aplicado fue el alargamiento a rotura, en coincidencia con lo encontrado en el presente trabajo.

Para el PEBD en Alonso (2018b), para un ensayo de exposición de 500 horas y 1000 horas, en cámara de intemperismo acelerado, con tratamiento simultáneo con UV-A más calor (50°C), se obtuvieron variaciones en la tensión a rotura de 15% (500 h) y 25% (1000 h), y de deformación porcentual de 24% (500 h) y 37% (1000 h). En este caso, esta última variable fue

algo más sensible a los efectos del tratamiento aplicado.

Para el Poliestireno expandido, en Alonso (2018a), el tratamiento en cámara de intemperismo acelerado duró 500 horas. Se encontraron cambios importantes en las propiedades mecánicas, con una tensión y deformación porcentual a rotura que disminuyeron alrededor de la mitad de los valores de referencia para los controles sin tratar, registrándose una variación de 41% en deformación porcentual y 55% en tensión a rotura., valores significativamente inferiores a los hallados en el presente estudio, por lo cual para una equivalencia entre ambos tratamientos debería aplicarse una exposición más prolongada en caso de realizarse la misma en condiciones similares a las de una cámara de intemperismo acelerado como la utilizada para aquellos ensayos.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este estudio, se puede concluir que:

- 1) Es posible degradar objetos pos-consumo hechos con poliestireno expandido y con películas de diferentes polietilenos, mediante un tratamiento abiótico por exposición a intemperie.
- 2) Para obtener mejores resultados en el tratamiento abiótico, y favorecer una degradación por tratamiento biótico posterior, la exposición a intemperie debería tener una duración de por lo menos 5 meses, o más, dependiendo de la radiación y otras condiciones climáticas del lugar de estudio.
- 3) Una variación en las propiedades de tracción de los plásticos, en particular una disminución de la tensión y especialmente de la deformación a rotura, permiten poner en evidencia el efecto degradativo de los agentes (radiación UV y calor) involucrados.
- 4) Las muestras estudiadas especialmente de polietileno, muestran diferencias significativas en las propiedades de tracción según el sentido de corte de las probetas, por lo que se recomienda tener en cuenta esta característica de anisotropía para ensayos similares; y analizar muestras con distintos sentidos

de corte, tal como se indica en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

La realización de estos estudios fue posible a través de un subsidio otorgado por SECTER-U.N.Ju.

REFERENCIAS

- Alonso M.S. Lozano, A. R. Apaza, A.M. Vilte E.D., Residuos plásticos de Jujuy: caracterización en pesos y volúmenes. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4 (2): 6.41-6.42, 2000.
- Alonso, M. S., Madregal S. O., Ávalos N. R y Garzón L. M. Biodegradación de polietileno en suelo inoculado con mohos y bacterias. *Rev. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA.2*, 642-644. 2016.
- Alonso, M. S., Escalier, V. I., Madregal, S. O., Ávalos, N. R., Pérez, G. S., y Garzón, L. M. Degradación de polietileno convencional por tratamiento con radiación ultravioleta y calor. *Rev. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. 3*, 348-351, 2017.
- Alonso, M. S., Madregal, S. O., Escalier, V. I., Romero, D. S., Viturro, C. I. Degradación de poliestireno expandido por acción simultánea de luz ultravioleta y calor. *Rev. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. 4*, 355-360, 2018a.
- Alonso, M. S., Madregal, S. O., Escalier, V. I., Romero, D. S., Viturro, C. I. Tratamiento abiótico de polietileno de baja densidad. *Rev. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. 4*, 155-160, 2018b.
- Al-Salem, S. M., Lettieri, P. & Baeyens, J. The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: *From re-use to energy and chemicals. Prog. Energ. Combust.* 36, 103–129, 2010.
- Álvarez Zeferino J. y Enríquez R. Degradación de plásticos en condiciones de intemperismo. *Encuentro de expertos en residuos sólidos, año 7*, 1,7-12, 2014.
- Ammala, A., Bateman, S., Dean, K., Petinakis, E., Sangwan, P., Wong, S., Yuan, Q., Yu, L., Patrick, C. & Leong, K. *An overview of /degradable and biodegradable polyolefins. 36*, 1015–1049, 2011.

- ASTM– Standard Terminology Relating to Plastics, *Norma D883-91a*, 1991.
- ASTM. Standard Test Method for Tensile properties of Thin Plastic Sheeting. *Norma D882*. WestConshohocken. 2002.
- ASTM. Standard practice for atmospheric environmental exposure testing of nonmetallic materials, *Norma G7-05*, 2005.
- ASTM Standard practice for outdoor exposure testing of photodegradable plastics, *Norma D 5272-08*, 2008.
- ASTM. Standard Test method for tensile properties of plastics, *Norma D 638-14*, 2014.
- Contreras Bravo L. E., Vargas T. L. F., Ríos L. R. A. *Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos*. Ediciones de la U. Bogotá, Colombia, 2018.
- González G. Residuos sólidos urbanos argentina tratamiento y disposición final situación actual y alternativas futuras. *Cámara argentina de construcción*. 16, 2010.
- IRAM. Plásticos: ensayos de tracción, *Norma 13316*, Buenos Aires. 1969.
- Koutny, M., Lemaire, J. & Delort, A.M. Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives. *Chemosphere* 64, 1243–1252, 2006.
- Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable. <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/datos-nacionales.htm>. 2019.
- Posada Bustamante B. La degradación de los plásticos. *Revista Universidad Eafit* 94: 67-86. 1994.
- Quiroz F., Cadena F, Sinche L., Chango I. y AldásM. Estudio de la degradación en polímeros oxo-biodegradables. *Revista Politécnica*,30(1):179-191. 2009.
- Sarmiento N, Belmonte S, Dellicompagni P, Franco J, Escalante K, Sarmiento J., A solar irradiation GIS as decision support tool for the Province of Salta, Argentina, *RenewableEnergy* (2018), doi: 10.1016/j.renene.2018.07.081.
- Yousif E., Haddad R., Photodegradation and photostabilization of polymers, specially polystyrene: review *Yousif and Haddad Springer Plus*, 2:398, 2013.

Mejoras en la captura de CO₂ en sólido mesoporoso.

Aramayo, Ignacio R.^{1,2}; Jiménez, José A.¹; Sham Edgardo L.^{1,2}; Acosta, Delicia E.^{1,2} y Parentis, Mónica L.¹

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*
monicaparentis@gmail.com

(2) *Instituto de Investigaciones para la Industria Química, CONICET.*
aramayoignacio@gmail.com

RESUMEN

Actualmente una gran cantidad de gases de combustión están siendo expulsados a la atmósfera, sin ningún tipo de tratamiento. El CO₂ presente en estas emisiones ha cobrado gran importancia en las últimas décadas debido a su aporte al calentamiento global por efecto invernadero. Varias tecnologías de captura se han propuesto, entre las cuales la adsorción ha llamado la atención ya que requiere el uso de pocos pasos y equipos, es de fácil operación, bajo costo y no genera residuos. En este trabajo se realiza el estudio preliminar de la captura de CO₂ en los materiales: S300 (sílice mesoestructurada tipo SBA-15, con un proceso de calcinación rápido, a menores tiempo y temperatura de exposición) y S300-amin (S300 con incorporación de grupos aminopropilo). Los resultados obtenidos señalan que la modificación del material mejora notablemente la capacidad de adsorción de CO₂, alcanzando un aumento del 25% a 298K y 1atm; y un incremento de 2,2 veces más a baja presión (0,15 atm). Además, se expone el método de anclaje post-síntesis para la funcionalización de SBA-15 con 3-aminopropiltriethoxisilano y se abordan diferentes técnicas de caracterización (DRX, TG, FTIR, adsorción de N₂ y de vapor de agua) para estudiar las principales características de los materiales utilizados.

ABSTRACT

Nowadays large amounts of combustion gases are being emitted into the atmosphere, without any type of treatment. The CO₂ present in these emissions has gained importance in recent decades due to its contribution to global warming by greenhouse effect. Several capture technologies have been proposed, among which adsorption has attracted a lot of attention, mainly due to the fact that it is a technique that requires the use of few steps and equipment, easy operation, low cost and does not generate residues. In this contribution, the preliminary study of the capture of CO₂ in the materials: S300 (mesostructured silica type SBA-15, with a rapid calcination process at lower time and temperature of treatment) and S300-amin (S300 with incorporation of aminopropyl groups), is carried out. The results indicate that the surface modification of the material notably improves the CO₂ adsorption capacity, reaching an increase of 25% at 298K and 1atm; and an increase of 2.2 time more at low pressure (0.15 atm). In addition, the post-synthesis anchoring method for SBA-15 functionalization with 3-aminopropyltriethoxysilane is presented and different characterization techniques (XRD, TG, FTIR, adsorption of N₂ and water vapor) were used to study the main characteristics of the materials used.

Palabras claves: SBA-15 – APTES – CO₂ – Adsorción.

Keywords: SBA-15 – APTES – CO₂ – Adsorption.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los grandes problemas que enfrenta la humanidad actualmente y que se extiende con rapidez. Existen diferentes tipos de contaminación, con gases, que contribuyen al calentamiento global.

Entre los gases con efecto invernadero podemos mencionar al dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y los gases fluorados. Sin embargo, podemos destacar al CO₂ por ser el contaminante que está causando en mayor medida el calentamiento del planeta. Por este motivo, el

notable incremento de las emisiones de CO₂ que provienen de la combustión de combustibles fósiles ha recibido en las últimas décadas una importante atención.

Se han dedicado numerosos esfuerzos destinados a realizar la captura de CO₂, a fin de reducir las emisiones del mismo, dando lugar a un continuo avance de diversas opciones tecnológicas para combatir las altas concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, como lo muestra Yu (2012), en su trabajo de revisión.

El estudio de los materiales silíceos mesoestructurados ofrecen una alternativa prometedora frente a los procesos de absorción de CO₂ con aminas líquidas, como consecuencia de la elevada reactividad de los grupos funcionales orgánicos que es posible anclar a la superficie y a sus ventajas térmicas y estructurales, pudiendo así enmendar los principales inconvenientes del empleo de absorbentes líquidos: alta tasa de corrosión de equipos, alto consumo de energía en el proceso de regeneración y el requerimiento de un gran volumen de líquido absorbente.

Entre los adsorbentes sólidos mencionados, las sílices mesoporosas impregnadas o ancladas con aminas, son las más estudiadas, debido a que poseen tamaños de poros ajustables y bien definidos y áreas superficiales elevadas, aptas para su funcionalización con aminas.

La selección de los materiales mesoporosos silíceos (MCM-n, SBA-n, HMS) y de los precursores de amina, forman parte de la estrategia clave para maximizar la carga de amina accesible y de esta forma lograr una mayor captación de CO₂. El anclaje de grupos aminos en la superficie de la sílice se realiza mediante la reacción entre los silanoles superficiales (Si-OH) con los grupos aminosilanos del precursor. Es por esto que el aumento de la densidad de silanoles superficial en la sílice provoca, de manera eficaz y sencilla, el incremento de la carga de amina y consecuentemente de la capacidad de adsorción de CO₂ en la superficie de la sílice funcionalizada.

Los materiales SBA-15 funcionalizados con el grupo amina han presentado una alta estabilidad térmica, alta resistencia química y una gran capacidad de adsorción de CO₂. En general, existen dos procedimientos para anclar moléculas de amina en la superficie de SBA-15:

- Post-modificación o anclaje post síntesis; en el cual se genera un enlace covalente entre grupos orgánicos aminados y grupos

silanoles (libres y germinales). Este es el método más empleado para realizar la activación de la superficie de SBA-15, ya que favorece el anclaje de los grupos aminos en los mesoporos.

- Co-condensación; permite la activación de la superficie de SBA-15 en un solo paso, mediante la copolimerización con agentes de sililación que poseen grupos amino con los precursores de sílice.

Es conocido por Zhao (1998), que la síntesis de SBA-15 se logra mediante el empleo de copolímeros tribloque como agente director de la estructura y tetraetilortosilicato como fuente de sílice y que el método más común para la eliminación del surfactante es la calcinación en atmósfera de aire a altas temperaturas (550°C) durante períodos de tiempo extensos, generalmente entre 4 a 6 horas. Sin embargo, ésta última etapa es un factor determinante sobre la concentración del grupos silanoles ya que una calcinación a altas temperaturas durante largos períodos de tiempo conduce a una disminución de grupo silanoles debido a la deshidroxilación de los mismos dando lugar a grupos siloxanos (Si-O-Si), tal como lo exponen Benamor (2012) y Ojeda-López (2015); siendo este fenómeno perjudicial para el anclaje adicional de la amina y posterior adsorción de CO₂.

En base a estas consideraciones, el objetivo del presente trabajo es estudiar la incorporación de moléculas de propilamina, por anclaje químico post-síntesis, sobre la superficie del material SBA-15, con mayor densidad de grupos silanoles, obtenido por calcinación súbita a baja temperatura (300°C) y corto tiempo de exposición; y posteriormente analizar el impacto en la captura de CO₂ sobre el material funcionalizado y sin funcionalizar. Para llevar a cabo estos estudios se emplearon distintas técnicas de caracterización: adsorción/desorción de N₂, espectroscopia FTIR, DRX, TG y adsorciones gravimétrica de vapor de agua y de CO₂.

2 EXPERIMENTAL

2.1 Síntesis SBA-15.

Las partículas de sílice mesoporosa de tipo SBA-15 fueron sintetizadas mediante el proceso sol-gel, empleando TEOS como fuente de sílice y Pluronic P-123 como surfactante; detalles de la

técnica se reportan en un trabajo anterior Aramayo (2018).

2.2 Remoción del templato.

Las partículas de SBA-15 (S300) fueron calcinadas por un proceso nuevo, con una rampa de calentamiento elevada, a menor temperatura que el convencional y de corto tiempo de exposición. Condiciones: calentamiento directo en mufla con una rampa estimada de 80°C/min, hasta alcanzar 300°C, manteniendo el material a esta temperatura durante 15 min.

2.3 Anclaje del 3-aminopropiltriétoxisilano.

El anclaje de la amina sobre las partículas de SBA-15 se llevó a cabo utilizando el método de post-modificación, similar al realizado por Luan (2005). Las partículas de SBA-15, fueron previamente secadas a 80°C durante 24 horas y luego se colocó a razón de 20 mL de Tolueno por cada gramo de material, en un recipiente con agitación. Posteriormente se le agregó el agente funcionalizante 3-aminopropiltriétoxisilano en la siguiente proporción molar: 1,0 S300: 1,0 APTES; se agitó durante 10 minutos a temperatura ambiente y luego se llevó la mezcla a 90°C durante 24 horas en condiciones estáticas. Por último, los sólidos fueron filtrados, se lavaron con diclorometano y con tolueno repetidas veces y se secaron a 100°C durante 12 horas.

2.4 Caracterización.

Los patrones de Difracción de Rayos X (DRX) a bajo ángulo, fueron llevados a cabo en un equipo modelo XEUSS 1.0, de XENOCSS, con un detector de rayos X Pilatus100K (DECTRIS, Suiza) y una fuente de RX de Cu K α 1,2 ($\lambda = 1.54178 \text{ \AA}$).

Las isothermas de adsorción-desorción de N₂ fueron realizadas por medio de determinaciones volumétricas en un sortómetro Micromeritics ASAP-2020 a -196°C.

Los análisis termogravimétricos (TG) de las muestras, fueron realizados en una Unidad de Análisis Térmico marca RIGAKU, modelo TAS 1100. Las experiencias se llevaron a cabo utilizando entre 10 y 15 mg de muestra, en un sistema estático en atmósfera de aire, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, empleando un rango de temperatura desde condiciones ambientales hasta 1000 °C.

Los espectros infrarrojos de las muestras se obtuvieron utilizando un espectrómetro infrarrojo con transformada de Fourier Perkin Elmer Spectrum GX-FTIR en el rango comprendido entre 2000 cm⁻¹ y 4000 cm⁻¹. El análisis de los espectros para obtener las posiciones de las bandas de absorción se realizó empleando el paquete de software Spectrum Perkin Elmer Applications y datos de bibliografía. Las pastillas para los estudios FTIR fueron preparadas con las muestras desecadas y dispersas en KBr. Los espectros se normalizaron empleando los sobretonos de la sílice en la región comprendida entre 2100 y 1750 cm⁻¹.

Las mediciones gravimétricas de adsorción de vapor de agua y CO₂ se realizaron en una electrobalanza Cahn D200 ($\pm 1 \mu\text{g}$), que se encuentra conectada a una unidad de alto vacío (Figura 1); a través de un proceso dinámico y previa evacuación de las muestras en vacío a 180°C (hasta peso constante), se registraron mediciones de la cantidad adsorbida en función del tiempo, bajo condiciones de presión y temperatura controladas para los distintos adsorbentes.

Para los ensayos de adsorción de agua se obtuvieron isothermas a una temperatura de 43°C, analizándose los resultados obtenidos en el rango de 0,05 a 0,35 de presión relativa (P/P₀) de manera tal de aplicar la teoría de Brunauer-Emmett-Teller (BET). Finalmente para evaluar la capacidad de adsorción del CO₂, se obtuvieron isothermas a 25°C en el rango de presión entre 0 a 660 torr.

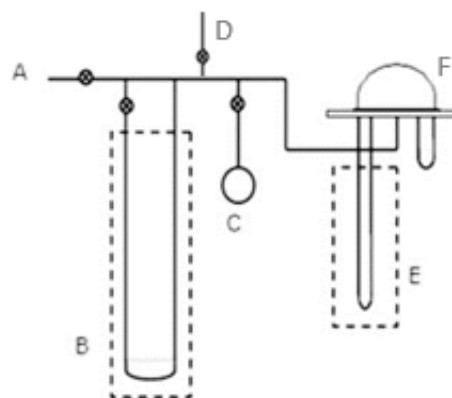


Figura 1: Representación esquemática del equipo gravimétrico de adsorción de vapor de agua y dióxido de carbono. A: línea de vacío; B: manómetro; C: ampolla con el líquido a adsorber; D: conexión a cilindro de gas a

adsorber; E: baño termostático; F: Electrobalanza Cahn D200.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 S300

DRX. Los patrones de difracción de RX a bajo ángulo (Figura 2), revelan un excelente arreglo de mesoporos cilíndricos con simetría hexagonal 2D, para la muestra S300, observándose tres picos de difracción, muy bien definidos, que son indexables a los planos (100), (110) y (200), en concordancia con lo reportado en otros trabajos de la bibliografía Kruk (2000).

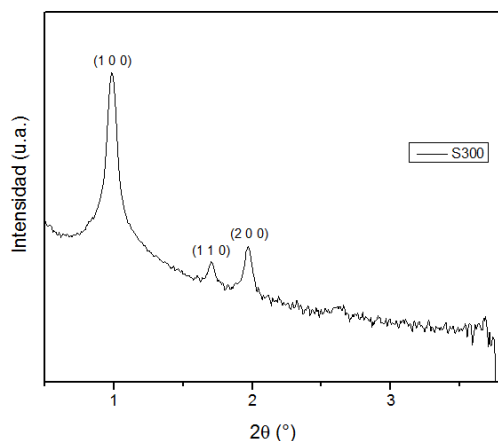


Figura 2: Patrones DRX de S300.

ISOTERMAS DE N₂. Según IUPAC, Thommes (2015), las isotermas obtenidas para la muestra S300 (Figura 3A), pertenecen a curvas tipo IV(a) con un bucle de histéresis H1, típicas en materiales tipo SBA-15.

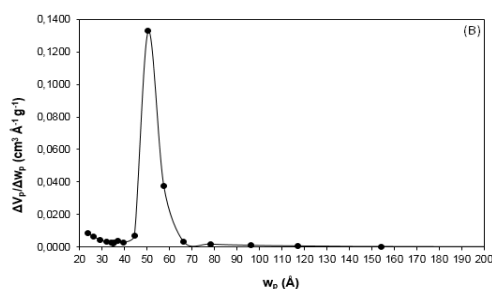
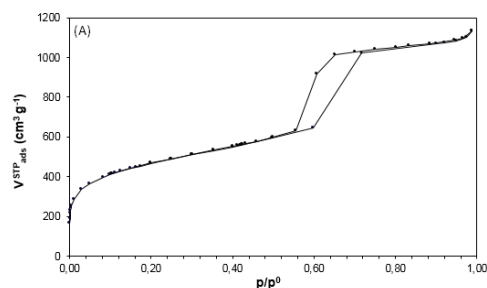
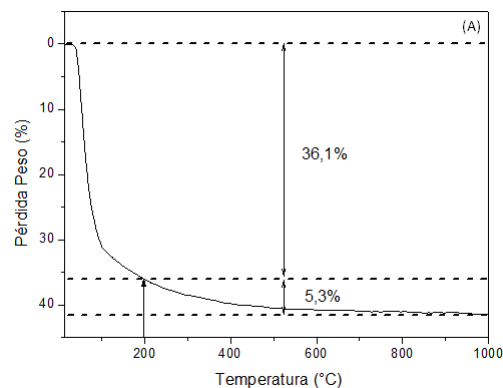


Figura 3: (A) Isotermas de adsorción-desorción de N₂. (B) Distribución de tamaño de poro BJH; ambas para muestra S300.

Además, es posible notar que existe una gran capacidad de adsorción en dicha muestra, lo cual se ve reflejado en la superficie específica (S_{BET}), la cual se calculó utilizando la ecuación de BET en el rango p/p_0 entre 0,05 a 0,12, siendo ésta de 1700 m²/g. La distribución del tamaño de los poros se calculó a partir de la rama de desorción usando el método de BJH para poro cilíndrico, la cual se encuentra centrada en 5,3 nm; otras características texturales pueden ser revisadas en nuestro trabajo previo Aramayo (2019).

GRUPOS SILANOLES. La densidad de grupos silanoles fue analizada por termo-gravimetría (TG) y estudios gravimétricos de adsorción de agua.

A partir del termograma de la muestra S300 (Figura 4A), podemos asociar dos pérdidas de peso a dos rangos de temperatura: la primera se encuentra por debajo de los 200°C con un valor de 36,1%p, atribuida a la eliminación del agua adsorbida; y otra de 5,3%p, por encima de los 200°C la cual puede ser asociada a la deshidroxilación como consecuencia de la condensación de los grupos silanoles superficiales, de esta manera se registra una pérdida de peso total de 41,4%p.



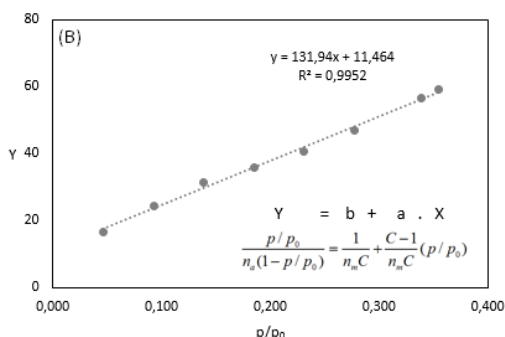


Figura 4: (A) Termograma muestra S300. (B) Isotherma de adsorción de agua linealizada según BET, para muestra S300.

En base a la pérdida de peso por encima de los 200°C, es posible estimar la densidad de silanoles en 6 mmol OH/g y además, teniendo en cuenta la superficie específica y el número de Avogadro también es posible calcular el número de grupos hidroxilos: 2,1 OH/nm².

Para evaluar la actividad química superficial de la muestra S300 es posible comparar los valores obtenidos por TG con los determinados por estudios de adsorción de agua (Tabla 1) y que fueron evaluados y reportados en un trabajo previo Aramayo (2019).

Tabla 1: Contenido de grupos hidroxilos.

Análisis	n _{OH} (mmol/g)	N _{OH} (grupos/nm ²)
TG	5,8 ^(*)	2,1
Ads. Agua	6,9	2,5

^(*) $n_{OH} = 2n_{H_2O} = \frac{2(W_{T_{1000}} - W_{T_{200}})}{100 \cdot M_{H_2O}}$, donde la diferencia corresponde a la pérdida de peso entre 200°C a 1000°C y M_{H_2O} al peso molecular del agua.

Es posible observar una mínima diferencia entre ambos valores, lo cual puede estar sujeto a distintos factores. Por un lado hay que tener en cuenta que para las mediciones termogravimétricas realizadas se tomó nominalmente la temperatura de 200°C como un punto inicial del proceso de deshidroxilación, sin embargo los puntos límite de temperatura, en la interfaz de los procesos térmicos son cruciales en las mediciones cuantitativas, el cambio de las condiciones de difusión da como resultado la superposición de las zonas de temperatura y complica la elección de los puntos límite. Del mismo modo hay que tener en cuenta que los ensayos gravimétricos de

adsorción de agua, se hicieron bajo la suposición de que cada molécula de agua adsorbida en la monocapa tendrá una interacción puente hidrógeno con un solo grupo silanol, lo cual podría llevar a sobre estimar el valor real. No obstante, podemos decir que los resultados obtenidos, por ambas técnicas, son superiores a los reportados por Munguía-Cortés (2018); Ojeda-López (2015) y Kozlova (2010) para materiales similares, con procesos de calcinación convencional, lo cual indica que el material calcinado a menor temperatura y por menor tiempo, presenta mayor disponibilidad y concentración de grupos OH, que pueden ser utilizados para intercambios o anclaje de otras especies químicas.

3.2 S300-amin

FTIR. La Figura 5 muestra los espectros infrarrojos del agente funcionalizante (APTES puro) y de las partículas de SBA-15 sin funcionalizar y funcionalizada con APTES. En el gráfico se observa una banda ancha de baja frecuencia centrada en 3400 cm⁻¹ en el espectro de la muestra S300, la cual se atribuye a las vibraciones de estiramiento simétrico de los grupos OH del soporte, que interactúan entre sí o con moléculas de agua fisisorbida, a través de enlaces puente hidrógeno, corroborando la presencia de grupos silanoles superficiales en la estructura mesoporosa de la sílice. Tras la incorporación de los grupos aminopropilo, los grupos silanoles se consumen debido al anclaje químico con del agente funcionalizante, notándose una disminución en la banda de referencia para la muestras S300-amin.

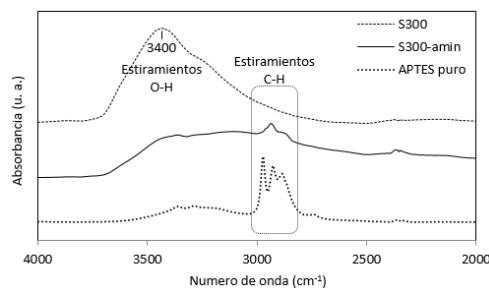


Figura 5: Espectros FTIR de las muestras S300, S300-amin y APTES (puro).

Por otro lado también es posible observar en la muestra S300-amin, la aparición de las bandas entre 2800-3000 cm⁻¹, asociadas a los

estiramientos simétricos C-H, denotando la existencia de grupos aminopropilo, que no se encuentran presentes en la muestra S300, pero que sí pueden ser identificados en el espectro del agente funcionalizante puro.

CARGA DE AMINA. La carga de amina en la muestra S300-amin, fue estudiada por análisis termogravimétrico en flujo de aire. El termograma se presenta en la Figura 6, donde es posible observar un 24,3% de pérdida de peso, entre los 180°C y 550°C, la cual puede ser atribuida a la degradación de la amina anclada (rango corroborado por análisis térmico diferencial).

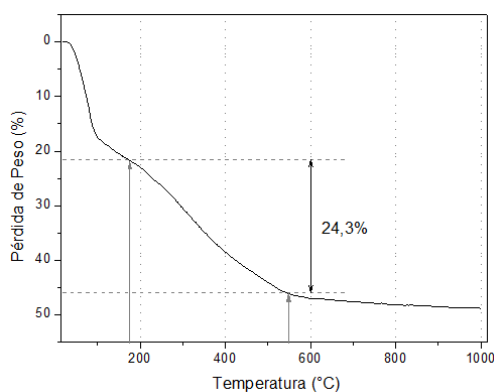


Figura 6: Termograma muestra S300-amin.

Dado que las partículas modificadas de SBA-15 se lavaron vigorosamente con solventes luego del proceso de impregnación, cualquier molécula de 3-aminopropiltrióxido de silano, no unida químicamente a la superficie de la sílice SBA-15, debe haber sido eliminada, lo cual nos permite estimar una relación molar de anclaje de 0,4 mol APTES:1,0 mol SiO₂, admitiendo que la descomposición térmica corresponde a los grupos aminopropilo, de peso molecular 58 (-CH₂CH₂CH₂NH₂). Teniendo en cuenta que la carga molar original con respecto a la sílice inicial fue mayor (1,0:1,0), este resultado podría indicar la carga máxima que se puede alcanzar en el material S300 para la incorporación del agente funcionalizante.

3.3 CAPTURA DE CO₂

Las isothermas de adsorción de CO₂ a 25°C, sobre el material funcionalizado y sin funcionalizar son comparadas en la Figura 7. La muestra S300-amin muestra un importante incremento a

presiones menores a 0,1 atm (~80 Torr) y un incremento gradual para presiones mayores a 0,1 atm. Se sabe que la alta capacidad de adsorción que muestra la isoterma a baja presión es causada por la reacción química entre el CO₂ y los grupos amino (-NH₂), Vilarrasa-García (2014), mientras que el aumento gradual que se observa luego de la rodilla de la curva, es atribuido a la adsorción física del CO₂ en la muestra, adquiriendo un comportamiento similar al de la muestra S300. Extrapolando los datos obtenidos a 1 atm la cantidad de CO₂ adsorbida sobre el material funcionalizado alcanzaría los 1,56 mmol/g, es decir un 25% más que sobre el material sin funcionalizar (1,25 mmol/g).

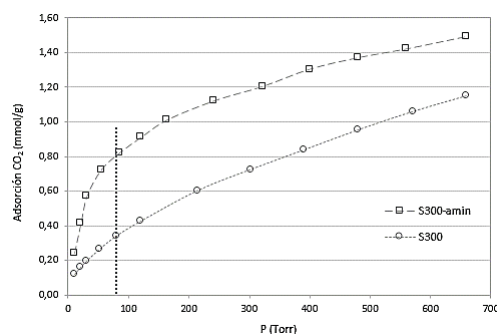


Figura 7: Isothermas de adsorción de CO₂ a 25°C de las muestras S300 y S300-amin.

Por otro lado, considerando la condición relacionada a los gases de combustión industrial donde la concentración del CO₂ es ~15%v y asumiendo un comportamiento ideal, la presión parcial del CO₂ podría ser cercana a 0,15 atm, para la operación de un sistema de captura. Bajo esta condición un adsorbente modificado como el S300-amin presenta 2,2 veces más capacidad de captura de CO₂ que el material original (0,89 contra 0,41 mmol CO₂/g).

En base a estos resultados y comparando con los publicados por Yu (2012), podemos asegurar que el material S300-amin presenta un excelente desempeño para ser utilizado como adsorbente de CO₂.

4 CONCLUSIÓN

El anclaje de APTES sobre la superficie de partículas de SBA-15, obtenidas de un proceso de calcinación súbito, a menor temperatura y con

menor tiempo de exposición, fue llevado a cabo con éxito. Se obtuvieron resultados muy alentadores para utilizar este material como adsorbente de CO₂, ya que la técnica de eliminación del surfactante permite preservar un mayor número de grupos silanoles superficiales, lo cual conduce a la incorporación de una mayor cantidad de amina y consecuentemente una mayor capacidad de adsorción de CO₂. Investigaciones futuras se centrarán en el desarrollo de una aplicación práctica para el tratamiento de gases de combustión industrial.

5 REFERENCIAS

- Aramayo, I., Vassallo G., Serrano M., Cuesta Zapata, P., Acosta D., Parentis M. *Influencia de una calcinación súbita sobre el material SBA-15*. XXI Congreso Argentino de Catálisis y X Congreso de Catálisis del Mercosur. Trabajo #195, 2019.
- Aramayo, I., Vassallo G., Serrano M., Acosta D., Parentis M. *Separación óptima del surfactante en nanopartículas de sílice mesoporosa (tipo SBA-15) para aplicaciones farmacéuticas*. Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales - 18° SAM-CONAMET, 1189-1192, 2018.
- Benamor T., Laure M., Bénédicte L., Claire M. *Flash Induction Calcination: A Powerful Tool for Total Template Removal and Fine Tuning of the Hydrophobic/Hydrophilic Balance in SBA-15 Type Silica Mesoporous*. *Materials. Microporous and Mesoporous Materials*, 147, 334–342, 2012.
- Kozlova, S., Sergey D. *Post-Synthetic Activation of Silanol Covering in the Mesostructured Silicate Materials MCM-41 and SBA-15*. *Microporous and Mesoporous Materials*. 133, 124–133, 2010.
- Kruk, Michal, Mietek J., Chang H., Ryong R. *Characterization of the Porous Structure of SBA-15*. *Chemistry of Materials*, 12, 1961–1968, 2000.
- Luan, Z., Fournier J., Wooten J., Miser D. *Preparation and Characterization of (3-Aminopropyl)Triethoxysilane-Modified Mesoporous SBA-15 Silica Molecular Sieves*. *Microporous and Mesoporous Materials*, 83, 150–158, 2005.
- Munguía-Cortés, L., Pérez-Hermosillo I., Ojeda-López R. *APTES-Functionalization of SBA-15 Using Ethanol or Toluene: Textural Characterization and Sorption Performance of Carbon Dioxide*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 61, 273-281, 2018.
- Ojeda-López, R., Pérez-Hermosillo I., Esparza-Schulz J., Cervantes-Urbe A. *SBA-15 Materials: Calcination Temperature Influence on Textural Properties and Total Silanol Ratio*. *Adsorption*, 21, 659–669, 2015.
- Thommes M., Katsumi K., Neimark A. *Physisorption of Gases, with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report)*. *Pure and Applied Chemistry*, 87, 1051–1069, 2015.
- Vilarrasa-García, E., Cecilia J., Santos S. *CO₂ Adsorption on APTES Functionalized Mesocellular Foams Obtained from Mesoporous Silicas*. *Microporous and Mesoporous Materials*, 187, 125–134, 2014.
- Wang, L., Yang R. *Increasing Selective CO₂ Adsorption on Amine-Grafted SBA-15 by Increasing Silanol Density*. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115, 21264–21272, 2011.
- Yu, C., Chih-Hung H., Chung-Sung T. *A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption*. *Aerosol and Air Quality Research*, 12, 745–769, 2012.
- Zhao, D. *Triblock Copolymer Syntheses of Mesoporous Silica with Periodic 50 to 300 Angstrom Pores*. *Science*, 279, 548–552, 1998.

Valoración de los servicios ecosistémicos del paisaje urbano-periurbano (sur) de la ciudad de La Banda

Bonacina, Ernestina¹; Lorenz, Guido¹

(1) Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (INSIMA), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

ernebonacinam@gmail.com; lorenz.guido@gmail.com

RESUMEN

El concepto de servicios ecosistémicos (SE) se ha convertido en un tema central en la planificación del paisaje. El mapeo de la oferta de SE ha cobrado relevancia para la toma de decisiones sobre el uso de la tierra, ya que determina espacialmente cuales áreas necesitan ser mantenidas debido al alto suministro de SE. El objetivo de este trabajo fue evaluar y mapear los SE de zonas urbanas-periurbanas de la ciudad de La Banda, provincia de Santiago del Estero. La metodología se basó en la cuantificación y representación espacial de parámetros del paisaje, y la aplicación de una evaluación basada en expertos para obtener el grado de provisión de SE del paisaje. Se analizaron un total de once SE, entre servicios de regulación, provisión, culturales y de apoyo. Los resultados mostraron que el paisaje periurbano es capaz de proporcionar SE importantes a los residentes urbanos, tales como suministro de agua limpia, regulación del microclima, regulación del agua (balance), protección contra la erosión del suelo, recreación, ecoturismo, estética y biodiversidad. El mapeo de SE es una herramienta esencial para apoyar las políticas de planificación del paisaje, a fin de lograr un uso sostenible de los servicios proporcionados por la naturaleza.

ABSTRACT

The concept of ecosystem services (ES) has become a central theme in landscape planning. Mapping the supply of SE has become relevant for decision-making on land use, since it spatially determines which areas need to be maintained due to the high supply of SE. The objective of this study was to evaluate and map the SE of urban-peri-urban areas of the city of La Banda, province of Santiago del Estero. The methodology was based on the quantification and spatial representation of landscape parameters, and the application of an expert-based assessment to obtain the degree of ES provision of the landscape. A total of eleven SE were analyzed, such as regulation, provision, cultural and support services. The results showed that the peri-urban landscape can provide important ES to urban residents, such as clean water supply, microclimate regulation, water regulation (balance), soil erosion protection, recreation, ecotourism, aesthetics, and biodiversity. SE mapping is an essential tool to support landscape planning policies, in order to achieve sustainable use of the services provided by nature.

Palabras claves: Servicios Ecosistémicos – Hemerobia – Paisajes urbanos – Paisajes periurbanos

Keywords: Ecosystems Services – Hemeroby – Urban landscapes – Periurban landscapes

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento demográfico ha creado la demanda de diversos recursos, como agua y alimentos, lo que ha conducido a la antropización del espacio natural, provocando la modificación y

reestructuración el paisaje (Morais y Carvalho, 2013). Esto afecta directamente los servicios suministrados por los ecosistemas, desde la biodiversidad hasta el clima, y tales cambios tienen consecuencias para el bienestar humano (Hasan et al., 2020).

Los servicios de los ecosistemas (SE) son los beneficios que los humanos obtienen de los ecosistemas, ya sea directa o indirectamente (Costanza et al. 1997; MA, 2005).

En este contexto, los índices ambientales son útiles para proporcionar información sobre el estado del medio ambiente. En ecología del paisaje, se desarrollan índices para cuantificar el estado y cambio del paisaje (Steinhardt et al., 1999). La cubierta vegetal es considerada uno de los más importantes indicadores de la condición del ecosistema (Nedkov et al., 2017). Esto sigue el principio de la ecología del paisaje, el cual reconoce una estrecha relación entre la estructura del paisaje y su funcionalidad (Forman y Gordon, 1986).

Una herramienta eficiente para evaluar los cambios introducidos en el ambiente por el humano es el concepto de hemerobia (Walz y Stein, 2014) definido por Sukopp (1976) como “una medida integral de los impactos en los ecosistemas, para todas las intervenciones humanas, sean intencionales o no”. Es decir, resume de manera integral la influencia antrópica y el estado del paisaje. Este concepto se ofrece como valor guías para funciones de regulación (biodiversidad, sistemas, clima), de producción (agri- y silvicultura) y de espacio de vida (bienestar, valores estéticos, culturales (Lorenz, 2016).

Para evitar una mayor pérdida de la calidad de los ecosistemas como consecuencia de las actividades humanas, el concepto de servicios ecosistémicos se ha convertido en un tema central en la planificación del paisaje, adquiriendo cada vez mayor importancia para apoyar las políticas que tienen un impacto en los recursos naturales (Burckhard y Maes, 2017).

El mapeo de la oferta de servicios ecosistémicos es una herramienta esencial para la toma de decisiones, al determinar espacialmente cuales áreas necesitan ser mantenidas por su alto suministro de SE. Conjuntamente, permite evaluar las compensaciones espaciales entre SE, la sinergia entre múltiples SE, y determinar la prioridad de áreas que permiten alinear múltiples objetivos de conservación (Martínez-Harms y Balvanera 2012).

La ciudad de La Banda es el segundo centro más poblado de la provincia de Santiago del Estero. Se prevé que la ciudad continúe creciendo en los próximos años hacia la zona sur debido a la construcción de un nuevo puente vial que

conectará los departamentos Capital y Banda, a fin de descomprimir el congestionamiento vehicular (El Liberal, 2018). Esto agudizará la demanda de servicios y recursos de la zona, generando fuertes perturbaciones en las funciones del paisaje que afecten la calidad de vida de los habitantes. Por lo tanto, es imprescindible desarrollar estrategias de planificación y gestión urbana que garanticen la permanencia de los servicios ecosistémicos.

Dada la importancia del mapeo de SE para las decisiones de manejo y uso de la tierra, el objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de la región para proporcionar servicios ecosistémicos. A través de esta evaluación, proporcionamos una herramienta que ayude integrar conceptos de la ecología de paisaje en la planificación regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la zona urbana y periurbana sur de la ciudad de la Banda. La ciudad de la Banda se encuentra situada en su totalidad sobre el cono aluvial del río Dulce, hacia la margen izquierda del mismo río. Está incluida en el distrito fitogeográfico chaqueño occidental (Cabrera, 1976), también denominado Chaco semiárido, que se caracteriza por presentar una vegetación de tipo boscosa, con especies caducifolias y xerófilas adaptadas al déficit hídrico (Giménez y Hernández, 2008). De acuerdo con Köppen y Geiger el clima se clasifica como caliente de estepa, seco en invierno; según el de Thornthwaite como semiárido. Las precipitaciones presentan una media anual de 552 mm, y son fuertemente estacionales, concentradas en los meses de verano (Bruchmann, 1981). Por otra parte, la región pertenece al área de riego del río Dulce, y cuenta con una importante superficie apta para la actividad agropecuaria.

Los límites del área de estudio se dan por el ejido urbano, al norte, el río Dulce al oeste, la ruta 34 al este y el trazado del nuevo puente vial que conectará los departamentos Capital y Banda, al sur. Con el fin de diferenciar mejor el ambiente urbano y periurbano, el área fue dividida en las siguientes categorías: (I) la zona urbana, de trama densa, (II) la zona periurbana con dispersión urbana, y (III), la zona periurbana distal con dominancia de ambientes rurales / naturales.

Además, se analiza el contexto regional abarcando un área geográfica de 23 km x 28 km

que circunscribe los ambientes mencionados (Fig. 1).

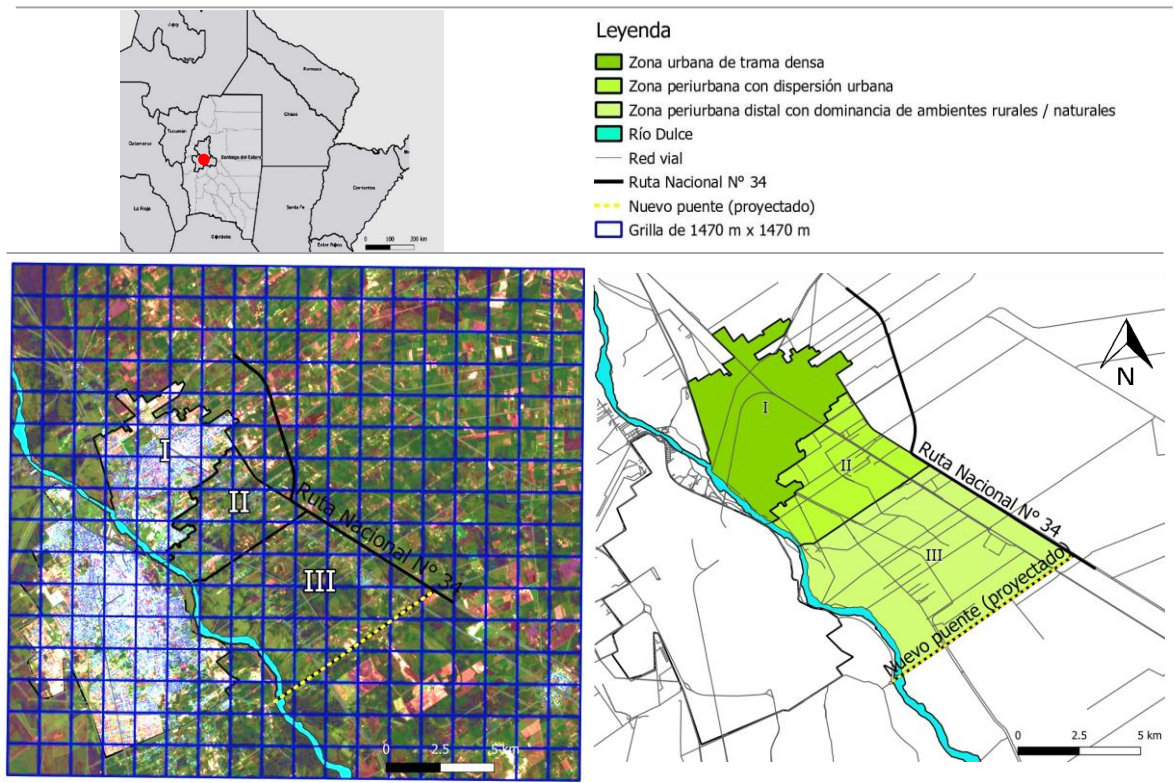


Figura 1. Área de estudio. Grilla de análisis con celdas de 1470 m x 1470 m de resolución (en azul). Subunidades del paisaje (mapa esquemático).

Metodología

A partir de la cuantificación y representación espacial de parámetros del paisaje se realizó una primera exploración de las principales unidades paisajísticas que conforman la región bajo estudio. La metodología aplicada se basó en la clasificación de coberturas/ usos de la tierra, la determinación del grado de hemerobia del paisaje, y la asociación de cada clase de coberturas/ usos de la tierra con los SE ofrecidos. El procesamiento de imágenes y análisis de los datos fue realizado utilizando el programa GRASS 7.6.1 (GRASS Development Team, 2019), y el entorno estadístico R (R Core Team, 2020). A continuación, se detallan los parámetros ambientales utilizados y la metodología aplicada para su cuantificación y mapeo:

Clases de coberturas y usos de la tierra

Para la determinación de las clases de coberturas y usos de la tierra, se utilizó un método de clasificación no supervisado sobre un conjunto de imágenes Landsat 8 (píxel de 30 m), abarcando el período 8/2018-8/2019 para captar el cambio de las coberturas por la estacionalidad. En total fueron diferenciadas 30 clases de coberturas/ usos de la tierra. Seguidamente, en base a inspección visual de imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth) y control de campo, las clases se reagruparon en 9 clases generales, adoptando la nomenclatura de Corine Land Cover (EEA, 2018).

Grado de hemerobia

Para medir el grado de interferencia antrópica en el paisaje se utilizó el grado de hemerobia (H) que es una medida integral de los impactos en los ecosistemas, para todas las intervenciones

humanas, sean intencionales o no (Walz y Stein, 2014). El análisis se realizó en base a la interpretación visual de una imagen satelital de alta resolución (Quickbird de Google Earth) sobre la cual se sobrepuso una grilla regular con celdas de 1470 m x 1470 m, la cual divide el área de estudio en 288 unidades espaciales. Los grados de hemerobia fueron obtenidos mediante una escala de hemerobia basada en el tipo de ecosistema o uso de la tierra (Blume 1990; Stein y Walz, 2012, citados en Lorenz 2016). Esta escala se organiza en 7 clases que abarca desde ambientes sin influencia antrópica alguna (H=1), hasta una biocenosis totalmente destruida y superficies totalmente selladas (H=7). Las clases de hemerobia fueron asignadas de acuerdo con la variabilidad y proporción de estructuras, coberturas y usos de la tierra representados en cada una de las celdas observadas.

Estimación del grado de provisión de SE basada en el juicio de expertos

Los mapas de provisión de SE fueron obtenidos utilizando la matriz de relaciones propuesta por Koschke et al. (2012), que asocia clases de cobertura/uso de la tierra con diversos servicios Burkhard et al., 2009; Costanza et al., 1997; de Groot et al., 2010; MA, 2005) (tabla 1). Los once SE estuvieron sujetos a una evaluación individuales. La metodología está basada en un total de once SE propuestos en la literatura cuantitativa basada en entrevistas a expertos calificados en el tema, quienes, debido a su experiencia, son capaces de tomar decisiones y juicios informados, incluso en situaciones que carecen de información (Koschke et al., 2012). La matriz asigna un valor de 0 a los SE sin una

contribución relevante, a 100 para los SE con la máxima contribución posible.

Tabla 1. Servicios ecosistémicos, basado en la metodología de Koschke (2012) y La Rosa y Privitera (2015).

Clase de Servicios	Servicios individuales
<i>Provisión</i>	(s1) Producción de alimentos y fibras (s2) Producción de madera (s3) Provisión de aire limpio
<i>Regulación</i>	(s4) Suministro de agua limpia (s5) Regulación del clima (local) (s6) Regulación del clima (global) (s7) Regulación del agua (balance) (s8) Protección contra la erosión del suelo
<i>Culturales</i>	(s9) Recreación y ecoturismo (s10) Estética
<i>SopORTE</i>	(s11) Biodiversidad

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coberturas y usos de la tierra

El mapa de las clases de cobertura / uso de la tierra (fig. 2, tabla 2) mostró una matriz dominada por bosques (42.6%), seguidos de cultivos mixtos (20.4%) y pastizales (12.4%). Los ecosistemas urbanos cubren el 11.7% del área, mientras que los arbustos (4.3%), las áreas con poca vegetación (3.17%) y los ríos y lagos (0.73%) tienen una extensión limitada. Las formaciones boscosas, arbustivas y subarbustivas se presentan como unidades remanentes de vegetación natural o parches en diferentes estadios sucesionales sobre suelos transformados por la agricultura. Un cinturón productivo bordea la ciudad, y se sitúa principalmente en torno a la Ruta Nacional N° 34.

Tabla 2. Superficie ocupada por las clases de coberturas/ usos de la tierra, para cada nivel de análisis.

Clases de coberturas/ usos de la tierra de CORINE	Región		Unidad / Subunidad de análisis					
	ha	%	I		II		III	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<i>Cursos/cuerpos de agua</i>	457.3	0.7	67.8	2.3	24.8	1.3	129.4	2.7
<i>Bosque</i>	26.549.0	42.7	115.7	3.9	806.9	42.0	2687.8	55.1
<i>Arbustal</i>	2.686.1	4.3	47.0	1.6	75.8	3.9	106.5	2.2
<i>Pastizal natural</i>	7.755.4	12.5	296.6	10.0	452.2	23.4	984.4	20.2
<i>Agricultura</i>	2.790.3	4.5	4.1	0.1	13.4	0.7	59.8	1.2

<i>Patrón complejo de cultivos</i>	1.2715.6	20.4	420.1	14.2	347.7	18.1	729.0	15.0
<i>Tejido urbano continuo</i>	4.663.3	7.5	1181.6	40.0	65.0	3.4	14.8	0.3
<i>Tejido urbano discontinuo</i>	2.645.3	4.3	655.2	22.1	92.9	4.8	60.0	1.2
<i>Banco de arena/suelo desnudo</i>	1.971.7	3.2	168.0	5.7	47.3	2.5	103.5	2.12
<i>Total</i>	62233.9	100	2956.2	100	1925.8	100	4875.1	100

(I) la zona urbana, de trama densa, (II) la zona periurbana con dispersión urbana, y (III), la zona periurbana distal con dominancia de ambientes rurales / naturales

El 90% de las áreas cultivadas no superan las 100 ha de superficie, y están asociadas principalmente a la producción frutihortícola, con destino al mercado interno, tanto local como regional. Por otra parte, se realizan cultivos extensivos, fundamentalmente maíz, algodón y alfalfa.

Las zonas urbanas de trama densa ocupan el 7.5% de la región evaluada. En la ciudad de La Banda, el 40% de su superficie está conformada por un tejido urbano continuo, constituido esencialmente por viviendas y edificios utilizados por servicios administrativos/ públicos. También, se incluye la red de carreteras de acceso y áreas de vegetación creadas para uso recreativo (espacios verdes, pequeñas plazas, zonas de césped, instalaciones deportivas y de ocio, etc.). Un parque industrial, denominado “La Isla”, se integra al ambiente urbano y cuenta industrias de diversas ramas productivas como la alimenticia, metalmecánica, textil, de servicios, de la construcción, entre otras. Los ambientes periurbanos se caracterizan por una baja densidad poblacional y una mezcla de diversos usos del suelo (La Rosa, 2018). La zona periurbana con dispersión urbana presenta una proporción significativa de superficies con vegetación y suelos. El espacio edificado está conformado por zonas residenciales, fincas, áreas de recreación y zonas comerciales (4.8%). El resto de la superficie se distribuye en lotes, pequeños parches de tierras agrícolas en uso o abandonadas, y unidades de bosques, arbustos y pastizales.

Predomina la cobertura boscosa abarcando el 42% de la superficie total.

La zona periurbana distal con dominancia de ambientes naturales/seminaturales, se distingue por la baja presencia de espacios edificados, los cuales se disponen en su mayoría sobre las principales rutas bajo la forma de barrios privados, viviendas permanentes o de veraneo. En esta subunidad de análisis se observó la mayor superficie de bosque (55.1%). Una característica relevante es la cantidad de tierras agrícolas abandonadas con un bosque en proceso de recuperación y expansión. Por otra parte, sobre la

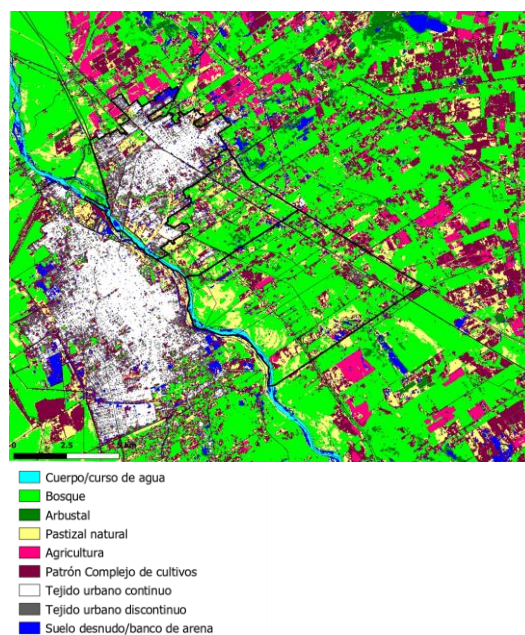


Figura 2. Patrón actual de coberturas/ usos de la tierra, periodo 2018-2019; subregión de análisis (límites en negro).

Ruta Nacional N° 34, se encuentra ubicada la localidad de Vilmer (depto. Robles), con una superficie de 30 ha y una población de 932 habitantes.

Hemerobia del paisaje

Se identificaron 6 clases de hemerobia (ver Fig. 3). El grado 1 de hemerobia no fue considerado aquí porque las regiones sin impacto humano son prácticamente inexistentes.

La zona de ribera presentó el valor más bajo (2), debido al bajo impacto humano sobre el paisaje, que aún conserva algunos de sus atributos naturales como la vegetación típica de ribera. Para los propósitos de la conservación de los ecosistemas, las áreas acentuadas por la naturaleza con un grado de hemerobia 1 a 3 son de especial interés, ya que están sujetas a intervención humana poco frecuentes (Walz y Stein, 2014).

El gradiente urbano-periurbano mostró un cambio en hemerobia que es consistente con el gradiente demográfico. Esto queda reflejado en las medianas de hemerobia (ver. tabla 3) obtenidas para cada subunidad de paisaje (urbano = 7 periurbano cercano = 6 y periurbano distal = 4).

La zona urbana de trama densa presentó el valor de hemerobia más elevado (7) al estar bajo una fuerte modificación antropogénica, que se refleja en los suelos fuertemente modificados y/o superficies totalmente selladas. La zona periurbana con dispersión urbana se visualizó como una franja que se extiende hacia el sur de la ciudad de la Banda, prolongándose a lo largo de la Ruta provincial N°1 y Ruta Nacional N° 34, con grado de hemerobia 6. Esta zona se caracteriza por presentar suelos libres de sellado y bajo condiciones cercanas a las naturales. La ocupación del espacio forma un entramado abierto conformado por casas de fin de semana, barrios privados y municipales que fueron conquistando gradualmente las áreas previamente consideradas como áreas rurales. Es posible que estos espacios reciban nuevos desarrollos que impermeabilicen el suelo y eliminen la vegetación, lo que hará que la hemerobia sea mayor.

En el resto del área periurbana, donde la densidad poblacional es menor, se observó un grado de hemeróbicos 3 en grandes unidades de bosques y arbustales con bajo impacto humano o en proceso de recuperación. Las parcelas de cultivos intensivos (5) y extensivos (4) se disponen a lo largo de las principales rutas. Muchas áreas presentan el problema de la salinización de las capas superficiales del suelo, producto de la actividad agrícola llevada a cabo en la región por décadas. Cabe mencionar que en este trabajo se utilizaron valores de hemerobia “dominantes”, es decir, se tuvo en cuenta las coberturas/ usos de la tierra más representativas de la unidad de referencia analizada (celda). Es por ello, que las estructuras pequeñas y lineales del paisaje (carreteras, líneas de árboles, canales, arroyos, etc.) presentaron una escasa influencia debido a su pequeña participación en el área total, a pesar de que puedan tener un impacto significativo en el paisaje.

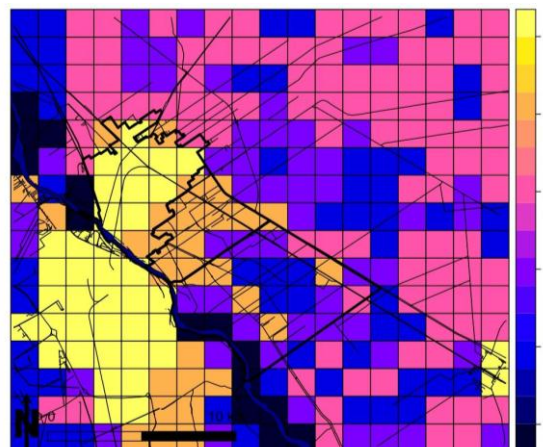


Figura 3. Mapa de hemerobia del área de estudio. Entramado vial (negro).

Valoración de los servicios ecosistémicos

Las distintas clases de SE mostraron patrones similares en la distribución espacial de la oferta de servicios, registrándose una disminución de su valor desde las zonas periurbanas hacia las zonas urbanas (Fig. 4, tabla 3).

Los mapas de SE obtenidos reflejaron una prestación significativa (> 50 %) para las clases de servicios de regulación, cultural y de soporte, en zonas periurbanas y rurales, donde el paisaje consiste en una matriz dominada por bosques y acompañada por agricultura a pequeña escala. Si bien las tierras forestales proporcionan buenos servicios de biodiversidad, de regulación y culturales (Hasan et al., 2020), mostraron un bajo grado de suministro en los servicios de provisión. Los entornos naturales que caracterizan al periurbano brindan servicios esenciales para los residentes urbanos (Huang et al., 2011). En el contexto climático local es de especial interés la capacidad de regulación térmica que proporciona el paisaje circundante. Las zonas periurbanas son capaces de prestar SE a la ciudad como la reducción del efecto de islas de calor (La Rosa, 2018), dando lugar a ambientes más refrigerados durante el verano.

La zona de entramado urbano presentó muy poca o ninguna capacidad para proporcionar SE debido al sellado del suelo. Sin embargo, la naturalidad que aún conserva, en forma de espacios verdes y recreativos, afecta positivamente a los SE de recreación, ecoturismo y estético; al igual que los servicios de regulación del clima.

El servicio de producción de alimentos y fibras presentó los valores más bajos de provisión, debido a la dominancia de coberturas boscosas en la matriz del paisaje. Por lo que respecta a los servicios de biodiversidad, protección contra la erosión del suelo, recreación, ecoturismo y valor estético, su elevado suministro destaca el gran potencial de conservación de las coberturas naturales en la zona.

Finalmente, los promedios de los SE (ver. tabla 3) mostraron una clara tendencia del aumento en la prestación de todas las clases de SE, conforme se avanza hacia las zonas del paisaje con un menor grado de alteración antrópica, como se observó en el mapa de hemerobia.

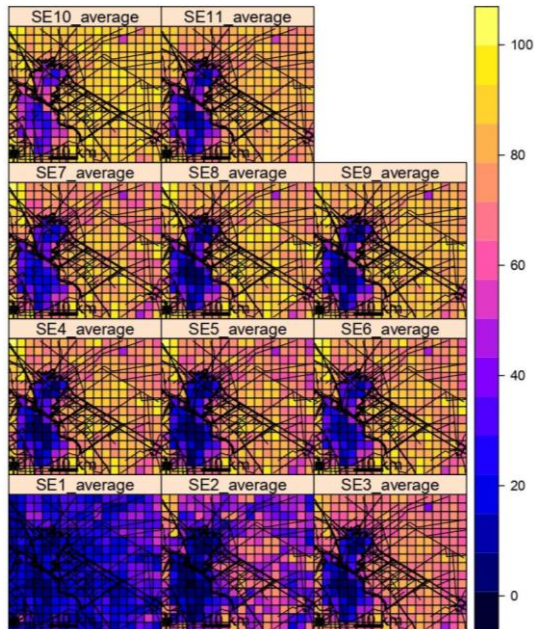


Figura 4. Grado de provisión de los servicios ecosistémicos individuales.

Tabla 3. Medidas de tendencia central para los datos de servicios ecosistémicos (promedio) y hemerobia (mediana), a nivel de subunidades de paisaje.

Servicios ecosistémicos	I	II	III
S1 alim. y fibras	15.0	22.0	20.9
S2 madera	9.8	44.0	54.3
S3 aire limpio	21.0	64.1	71.5
S4 agua limpia	24.4	72.6	81.5
S5 clima local	19.4	69.9	78.7
S6 clima global	29.1	75.8	83.9
S7 balance hídrico	30.5	74.7	82.4

S8	prot. erosión	26.4	78.8	85.3
S9	rec. y ecot.	27.6	78.6	86.0
S10	estética	47.7	84.9	89.6
S11	biodiversidad	33.4	78.5	83.2
Hemerobia		7	6	4

(I) la zona urbana (II) la zona periurbana con dispersión urbana, y (III), la zona periurbana distal

CONCLUSIÓN

Las zonas periurbanas aún conservan un nivel de naturalidad y complejidad de coberturas que las convierten en importantes prestadores de diversos SE a la ciudad. Esto brinda la oportunidad de desarrollar una planificación, basada en los principios de la ecología del paisaje, que busque dirigir el proceso de urbanización. En este sentido, el mapeo de la oferta de SE constituye una herramienta esencial para valorar las coberturas/ usos de la tierra, y para asistir en el diseño de las políticas de planificación del paisaje que logren el uso sostenible de los servicios proporcionados por la naturaleza.

REFERENCIAS

Blume, H. Anthropogene Boden. En: Handbuch des Bodenschutzes. Ed. Por H. Blume. Landsberg: Ecomed-Verlag, págs: 458-473.1990.

Bruchmann, E.T. Climatología general y agrícola de la Provincia de Santiago del Estero. Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán.1981.

Burkhard, B., Maes, J. (Eds). Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia, pp.377.2017.

Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Naeem, S.; Limburg, K.; Paruelo, J.; O'Neill, R.; Raskin, R.; Sutton, P. and van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital, Nature 387: 253-260.1997.

De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemsen, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity 7, 260–272.2010.

EEA. Updated CLC illustrated nomenclature guidelines.2018.

Forman, R., Gordon, M. Landscape Ecology, John Wiley and Sons, Nueva York. 1986.

- GRASS Development Team. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.6. Open Source Geospatial Foundation. 2019. <https://grass.osgeo.org>
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., Samie, A. Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, 100527. 2020.
- Huang, S. L., Chen, Y. H., Kuo, F. Y., Wang, S. H. Emergy-based evaluation of peri-urban ecosystem services. *Ecological Complexity*, 8(1), 38-50.2011.
- Koschke, L., Fürst, C., Frank, S., Makeschin, F. A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological indicators*, 21, pp.54-66. 2012.
- Martínez-Harms, M. and Balvanera, P. Methods for mapping ecosystem service supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), pp.17-25. 2012.
- Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005.
- Morais, R. P., de Carvalho, T. M. Cobertura da terra e parâmetros da paisagem no município de Caracaraí-Roraima. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7(1), 46-59. 2013.
- Nedkov, S., Zhiyanski, M., Dimitrov, S., Borisova, B., Popov, A., Ihtimanski, I., Bratanova-Doncheva, S. Mapping and assessment of urban ecosystem condition and services using integrated index of spatial structure. *One Ecosystem*, 2, e14499. 2017.
- La Rosa, D., Geneletti, D., Spyra, M., Albert, C., Fürst, C. Sustainable Planning for Peri-urban Landscapes. In *Ecosystem Services from Forest Landscapes*. pp. 89-126. Springer, Cham. 2018.
- La Rosa, D., Privitera, R. Evaluation of ecosystem service along urban-rural transects in southern Italy. *Acta Geobotánica*, 1(2), pp.75-82.2015.
- Lorenz, G. Guía de evaluación ecológica de suelos. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero}. Serie didáctica N° 8. Santiago del Estero, Argentina. 108 pp.2016.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.
- Stein, C., Walz, U. Hemeroby as indicator for the monitoring of land usedevelopment of methods using the example of Saxony. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 44(9), 261-266. 2012.
- Steinhardt, U., Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., Lehmann, S. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. *Environmental indices, system analysis approach*, 237-254.1999.
- Sukopp, H. Dynamik und Konstanz in der Flora der Bundesrepublik Deutschland. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 10, 9-27.1967.
- Walz, U., & Stein, C. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 279-289. 2014.

Análisis socio-ambiental de un proyecto de una planta fotovoltaica de 200 MW en Amaicha del Valle, Tucumán

Bravo, Álvaro J.¹; González, Jorge A.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*
abravo@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

En este artículo se comparte el abordaje, la metodología empleada y los resultados de la evaluación socio ambiental de un Proyecto de una planta fotovoltaica de 200 MW, a instalarse en un área de 615 ha perteneciente a la Comunidad de Pueblos Originarios de la localidad de Amaicha del Valle, Tucumán (26,604° S, 65,952° O, 1.927 m.s.n.m). En Tucumán es inexistente y en Argentina hay poca experiencia en este tipo de proyectos de gran envergadura, por lo que el Proyecto resultó inédito para la Provincia. Las consideraciones planteadas podrían tomarse como guía, con las mejoras y/o adaptaciones correspondientes, para evaluar futuros emprendimientos. Los resultados del análisis, desde la perspectiva ambiental y social, en general se pueden considerar muy positivos, aunque existen algunos impactos ambientales negativos, como el perceptual en una de las cuencas visuales y el arqueológico en una determinada área del predio, cuya mitigación y manejo son tenidos en cuenta en el Plan de Gestión Socio-Ambiental del Proyecto. La región del Valle Calchaquí presenta un enorme potencial para el aprovechamiento de la energía solar, resultando estratégico implementar políticas que promuevan estudios e inversiones en sistemas basados en Energías Renovables en el actual contexto de crisis energética y cambio climático global.

ABSTRACT

This article shares the approach, the methodology used and the results of the socio-environmental evaluation of a Project of a 200 MW photovoltaic plant, to be installed in an area of 615 ha belonging to the Community of Native Peoples of the town of Amaicha del Valle, Province of Tucumán (26,604 ° S, 65,952 ° W, 1,927 m.a.s.l.). In Tucumán it is non-existent and in Argentina there is little experience in this type of large-scale projects, so the Project was unprecedented for the Province. The considerations raised could be taken as a guide, with the corresponding improvements and / or adaptations, to evaluate future ventures. The results of the analysis, from the environmental and social perspective, in general can be considered very positive, although there are some negative environmental impacts, such as the perceptual in one of the visual basins and the archaeological in a certain area of the property, whose mitigation and management are taken into account in the Project's Socio-Environmental Management Plan. Valle Calchaquí region has enormous potential for the use of solar energy, making it strategic to implement policies that promote studies and investments in systems based on Renewable Energies in the current context of energy crisis and global climate change.

Palabras claves: Energía Solar, Planta Fotovoltaica, Evaluación de Impactos Ambientales

1 INTRODUCCIÓN

En el año 2017 la empresa francesa NEOEN SA, bajo la forma societaria ENR TUC S.A., se propuso participar en la licitación de la 2da Ronda del Programa Nacional RENOVAR (2016) con el fin de instalar una planta fotovoltaica

(PFV) de 200 MW en la localidad de Amaicha del Valle (AdV), Provincia de Tucumán. En el presente artículo se comparten las consideraciones y metodología empleada en la evaluación técnico-ambiental y social de la propuesta de aprovechamiento de energía solar de esta PFV. La experiencia obtenida, con las

lógicas mejoras y nuevas miradas, puede tomarse como guía para el abordaje de estudios socio-ambientales de proyectos de energías renovables (EERR) de este tipo de envergadura.

El Proyecto propuesto, como así también los de otras empresas, que se habían planteado en la zona de los Valles Calchaquíes, no llegaron a concretarse debido a planteos técnico-jurídicos realizados a último momento por parte de la empresa Minera Alumbraera propietaria de la Línea de transmisión de energía de Alta Tensión (LAT) de 220 kV, en donde debía inyectarse la energía generada por la PFV.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto denominado “Planta Fotovoltaica de 232 MVA con 2 plantas de 100 MW localizada en AdV, Departamento Taquí Del Valle, Tucumán”, consistía en la instalación de una PFV de generación de energía eléctrica a partir de energía solar, compuesta por un campo de 740.000 módulos fotovoltaicos totalizando una potencia de 200 MW nominales y una generación aproximada de 500 GWh/año, energía suficiente para abastecer unos 100.000 hogares durante un año Gastiarena (2017). Esta energía se inyectará en la LAT existente de Minera Alumbraera de 220 kV, por medio de la instalación de una Estación Transformadora (ET) elevadora de 33kV/220kV y de una LAT de 220 kV (esta etapa no estaba contemplado en el análisis de impacto). La PFV se planificó en un predio de 615 ha perteneciente a la Comunidad de Pueblos Originarios de la localidad de AdV, ubicado a ambos márgenes de la Ruta Provincial N° 307, a una altura promedio de 1927 m.s.n.m. y a 3 km al suroeste de la localidad de AdV. La superficie neta a ocupar por el campo fotovoltaico y sus instalaciones auxiliares proyectadas fue de 450 ha; la inversión total fue estimada en 230 millones de U\$S y la duración de las obras en 2 años, entre acondicionamiento del suelo y montaje de las instalaciones.

3 ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA EN AMAICHA DEL VALLE

Una de las fortalezas del Proyecto residía en la posibilidad de poder suministrar energía eléctrica a AdV desde la Estación Transformadora de la PFV a instalarse. Actualmente, existe una red de media y baja tensión y una central aislada con

moto-generadores diésel, a cargo de la empresa EDET S.A., que abastece la demanda eléctrica de AdV. Entre los datos más relevantes relativos a la operación de esta central, se destacan:

- La energía consumida por AdV es de alrededor de 5.230 MWh anuales.
- La cantidad de gasoil consumido mensualmente es de 120.000 lts.
- La energía de AdV es inferior al 0,18% del total provincial, mientras que el costo de abastecimiento representa aproximadamente el 4,3 % del total provincial.
- La central genera aproximadamente 23.000 tn de CO₂ anuales, en base a factores de emisión señalados en CAMMESA (2015).

4 LOCALIZACIÓN DE LA PFV

En el mapa de la Figura 1 se indica la zona de localización propuesta para la PFV (26,604° S, 65,952° O, 1.927 m.s.n.m.).



Figura 1: Imagen satelital de la localización de la PFV (en naranja) en los Valles Calchaquíes.

4.1 Condicionantes para la localización

La elección del sitio para ubicar una PFV de gran potencia (200 MW) obedece a una serie de

factores condicionantes. El predio adoptado cumplía con todos los requisitos, entre los que se destacan los siguientes:

- Recurso solar: la zona posee una alta irradiación solar (2.200 kWh/m² por año sobre superficie horizontal), con un gran potencial de generación de energía eléctrica fotovoltaica. En la Figura 2 se muestra un mapa de la distribución de la Irradiación Solar en Argentina, Solargis (2017).
- Conexión a una LAT: el sitio de la PFV se encuentra próximo a la línea de 220 kV existente de Minera Alumbreira en donde se puede inyectar la energía generada por la PFV.
- Aptitud del terreno: Se cuenta con una superficie de más de 600 ha sin desniveles abruptos.
- Accesibilidad: se encuentra a la vera de una ruta provincial con fácil acceso.
- Aspectos Jurídicos: La Comunidad Indígena de AdV cuenta con la titularidad del terreno.

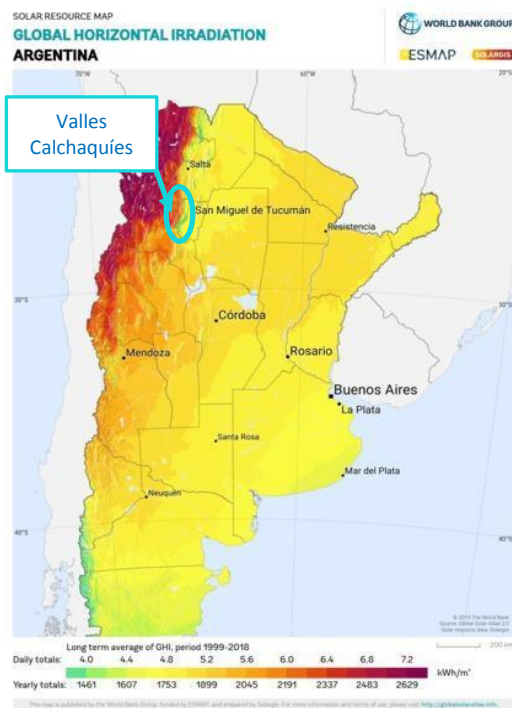


Figura 2: Mapa de la Irradiación global horizontal de Argentina en kWh/m².

5 ABORDAJE DEL PROYECTO

Proyectos de esta naturaleza deben abordarse con una mirada integral ambiental y socio cultural, resultando esta última clave por las características de la comunidad. Para realizar el diagnóstico se

participó en distintas reuniones con el Cacique y el Consejo de la Comunidad Amaichense, además de entrevistas a actores locales representativos, para conocer sus inquietudes y expectativas respecto del Proyecto.

5.1 Comunicación y participación

Teniendo en cuenta el alcance del Proyecto y la importancia para la Comunidad, incluyendo una renta por la utilización de territorios de su pertenencia, el Cacique organizó una Audiencia Pública en la que la empresa proponente; el coordinador del equipo de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) y los arqueólogos, expusieron las propuestas y conclusiones y se respondieron las dudas. Se verificó una alta participación con una concurrencia de más de 300 personas, que finalmente avalaron unánimemente el Proyecto firmando el Acta correspondiente (Figura 3). Para esta instancia se elaboró y dio a conocer preliminarmente un Documento de Divulgación con el formato de “Preguntas Frecuentes” que incluyó información General del Proyecto, conceptos de aprovechamiento de la energía solar y un resumen de los impactos ambientales.



Figura 3: Presentación del Proyecto en la Asamblea Comunitaria.

5.2 Normativas

El análisis del proyecto también debe contemplar el cumplimiento de normativa específica, Infoleg (2017):

- Ley 26.190: Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica y la
- Ley 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía

destinada a la Producción de Energía Eléctrica. El principal objetivo del régimen legal, es lograr una contribución progresiva de las fuentes de EERR hasta cubrir el 20% de la demanda de energía eléctrica en el año 2025. En 2019 estaba en 6%, Informe Anual CAMESA (2019).

Respecto de la normativa ambiental se destacan las siguientes: Leyes Nacionales N° 25.675 (Ley General del Ambiente), la ° 26.331 (Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos); la N° 24.051 (Tucumán está adherida a través de la Ley N° 6605) y las leyes Provinciales N° 6253 (de Medio Ambiente), la N° 6292 (Recursos Naturales Renovables). En lo que hace al procedimiento de EIAs, el Decreto Provincial N° 2204/3 – MP – 91. Aunque no vinculante, se incluyó también el Memorándum de Entendimiento, al que suscribieron el Gobierno de la Provincia de Tucumán, la empresa ENR TUC S.A. y la Comunidad Indígena de AdV.

El Proyecto además estaba sujeto a las Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social del Banco Mundial, ya que contaría con su financiamiento, Banco Mundial (2017).

5.3 Participación de la UNT

La empresa NEOEN S.A. encargó a la UNT, a través de su Unidad de Vinculación Tecnológica, la realización del EIA. A tal fin se constituyó un equipo de trabajo interdisciplinario de profesionales: biólogos, geólogos, arqueólogos, antropólogos, ingenieros y arquitectos con antecedentes en evaluaciones ambientales, bajo la coordinación de uno de los autores del presente trabajo.

6 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

El EIA es un proceso de análisis encaminado a identificar, predecir, interpretar, valorar, prevenir y comunicar el efecto de un proyecto sobre el medio ambiente interpretado en términos de salud y bienestar humano. Se siguió el modelo metodológico propuesto por Conesa (1997), sumado al criterio y experiencia de todo el equipo y adaptado a las características propias del Proyecto y a la zona de emplazamiento.

6.1 Área de influencia

Para definir el espacio donde las acciones del proyecto ocasionarán cambios, se hace uso de

“área cercana”, correspondiente al predio y su entorno hasta no más de 100 metros del límite y de “área amplia”, que geográficamente incluye no solo a la localidad de AdV, sino también a la provincia de Tucumán, en su contexto socio económico.

6.2 Acciones y/o impactos ambientales del Proyecto

Para tener un criterio de evaluación ajustado a la realidad es necesario conocer las características de las instalaciones de una PFV. Al momento de realizar este análisis (año 2017), en Argentina existía poca experiencia e información acerca de PFVs. Por esta razón se visitó la PFV de Ullum, en la provincia de San Juan, resultando clave para poder dimensionar las variables físicas y realizar el escalamiento del proyecto local.

En el EIA deben considerarse las etapas de construcción y funcionamiento, porque en cada una de ellas las acciones y sus impactos en el entorno, resultan diferentes. Un resumen de las acciones se presenta a continuación.

6.2.1 Etapa de construcción

Durante esta etapa se identifican las siguientes acciones:

- Ocupación del suelo. Desbroce. Movimiento del suelo y preparación del terreno para obras civiles.
- Realización de obras civiles. Montaje de paneles fotovoltaicos y otros equipos
- Excavación para montaje de paneles fotovoltaicos, transformadores, inversores, cableado subterráneo, etc.
- Movimiento vehicular y de máquinas
- Obras auxiliares. Montaje de ET.

Todas esas acciones en su conjunto generarán emisiones gaseosas, líquidas y de polvo, ruidos y distintos tipos de residuos de la construcción.

6.2.2 Etapa de funcionamiento

Durante esta etapa se identifican las siguientes acciones:

- Consumo de agua y energía eléctrica
- Movimiento vehicular.
- Generación de energía renovable. Sustitución de planta de generación diésel

En ambas etapas, los impactos socio-económicos se reflejan en la dinamización de los sectores

económicos y la aceptabilidad social, factores determinantes en la evaluación global del Proyecto.

6.3 Factores del Medio

Los Factores del Medio susceptibles de recibir impactos, son los elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por las acciones del Proyecto, Gómez Orea (1999). En la selección de estos factores se considera su representatividad y relevancia. En una primera instancia la elección de los factores se realiza sin atender la magnitud de la afectación. Una vez realizada la Matriz de identificación de impactos se pueden descartar aquellos en los que no se observan cambios de importancia. Se presenta un listado sintético de estos factores:

- Medio Antrópico
 - Medio perceptual; calidad del paisaje.
 - Desarrollo Demográfico.
 - Caract. culturales. Calidad de vida.
- Medio Geofísico
 - Aguas subterráneas y superficiales. Consumo y calidad.
 - Suelo. Estabilidad y calidad del Suelo
 - Aire. Calidad. Nivel de polvo. Nivel de olores. Nivel de Ruido
- Medio Biótico
 - Fauna
 - Especies Vegetales
 - Áreas de reserva de flora y fauna
- Medio Socioeconómico
 - Sectores económicos. Actividad económica inducida
 - Estructura ocupacional. Incorporación de mano de obra. Nivel de empleo
 - Sector Público
 - Valor del suelo
 - Aceptabilidad Social
- Sistema Rural y Urbano
 - Vías de circulación. Tránsito vehicular
 - Patrones al uso del suelo
 - Infraestructuras existentes.
 - Áreas con valor arqueológico y/o patrimonial

6.4 Evaluación de los impactos ambientales

Para realizar esta evaluación, se construyó una matriz de identificación de impactos, donde se cruzan las acciones del Proyecto con los Factores del Medio. Luego en una matriz similar, se evalúan los impactos mediante un índice simplificado. La valoración se realizó según los

criterios que se muestran en la Tabla 1, que derivan en un índice que se obtiene como el producto de las valoraciones. Finalmente, la importancia se visualiza con un sistema semáforo de colores: verde, amarillo y rojo acordes al rango del índice, lo que permite identificar rápidamente los impactos más relevantes. A modo de ejemplo, en la Tabla 2 se muestran los resultados de la matriz de evaluación en la etapa constructiva para los 4 factores del Sistema Rural y Urbano.

Tabla 1. Criterios de Evaluación de Impacto

Criterios de Evaluación	Evaluación	Símbolo	Valor
Signo	Positivo	(+)	-
	Negativo	(-)	-
Intensidad	Baja	B	1
	Media	M	2
	Alta	A	3
Probabilidad Ocurrencia	Cierta	C	3
	Posible	P	2
	Improbable	I	1
Persistencia	Temporaria	T	1
	Permanente	N	2
Extensión	Área local	L	1
	Área Cercana	R	2
	Área lejana	F	3

Tabla 2. Ejemplo de Tabla de Evaluación de Impactos, sistema rural urbano.

Acciones Etapa Construcción	Sistema Rural y Urbano			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Ocupación y movimiento del suelo. Desbroce y preparación del terreno para obras civiles.	-	+12	-	-36
Realización de Obras Civiles Montaje de PFV y otros equipos	-	+36	-	-4
Excavación para Montaje de PFV, transform, inversores, cableado subt., etc.	-	-	-	-18
Movimiento vehicular y de máquinas	-12	-	+24	-
Obras auxiliares. Montaje de ET	-	+12	-	-

7 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

La ocupación y el consiguiente cambio de uso del suelo, actualmente improductivo, es sin dudas el

factor socio ambiental más significativo, ya que para la Comunidad Indígena de AdV la tierra tiene una valoración cultural de connotación ancestral. Por esta razón, el Cacique conjuntamente con el Consejo participaron activamente en el relevamiento de la zona (Figura 4) y en el proceso de análisis de los potenciales beneficios e impactos negativos del Proyecto, proponiendo alternativas para la preservación del patrimonio cultural.



Figura 4: Relevamiento ambiental del predio.

La Comunidad, como propietaria de la tierra y beneficiaria de la renta, fue la que dio su consentimiento mediante una audiencia pública. A continuación se presenta un resumen con los resultados del EIA elaborado a partir de los distintos informes de los profesionales participantes, en donde se explicitan las respectivas metodologías y referencias bibliográficas en cada caso.

7.1 Impactos sobre la biota

El área de las instalaciones de la PFV abarca una superficie de 450 ha en la unidad llamada de los Arbustos Xerófitos. Dicha unidad posee una superficie aproximada de 50971 ha en el valle de Santa María, sector tucumano, por lo que la PFV ocuparía menos del 1% de la mencionada unidad. Esto representa una superficie muy pequeña, por lo que la ejecución del Proyecto no generará un impacto sensible en la composición específica y funcionalidad de este arbustal y su ambiente en general. El área de operación de la PFV presenta una riqueza específica baja, y las especies de flora y fauna involucradas, poseen un área de distribución mucho más amplia pudiéndolas encontrar en toda la extensión de los Valles Calchaqués. Particular interés se puso en la preservación de conjuntos de cardones presentes en el predio con reubicación de las estructuras. La extracción de la cobertura vegetal para la construcción de la PFV producirá cambios en el hábitat de un grupo reducido de la fauna. Las

especies que se verán afectadas en forma directa son algunos roedores y pequeños reptiles. También podría generar cambios en las rutas o caminos de algunos mamíferos en busca de su alimento como es el caso del zorro y el hurón menor. En el caso de las aves reduciría mínimamente la superficie de nidificación. Sin embargo; se considera que el impacto del proyecto no generará mayores alteraciones en el área circundante.

7.2 Impactos arqueológicos

De acuerdo al Informe de Impacto Arqueológico, el registro arqueológico del área se presenta aproximadamente en un 80% a nivel superficial y en un 20 % a nivel sub-superficial. El estudio de impacto sobre el patrimonio arqueológico indicó que será significativo. Para alcanzar el equilibrio o conciliación entre el interés en el crecimiento y desarrollo de la sociedad de AdV y la preservación de los objetos culturales, se propusieron medidas correctivas que incluían, redistribuir el área de ocupación de los módulos y/o adoptar una serie de medidas compensatorias previas a la ejecución de las obras, las que se describieron detalladamente en el Plan de Gestión Socio Ambiental (PGSA). La decisión sobre el futuro del sitio arqueológico denominado Rio Las Salinas 2 (RLS2), corresponde a autoridades provinciales, autoridades de la Comunidad y la empresa ENER TUC S.A. En este marco, y ante la interrupción de los proyectos de investigación vigentes en el área, se recomendó la intervención arqueológica sobre los puntos de interés, relevados en el informe arqueológico que define su Línea de Base.

7.3 Impactos sobre el medio físico

Respecto del medio físico, no se identificaron posibles afectaciones significativas. El predio está rodeado por dos cursos fluviales, río Salinas, al norte y río Salamanca al sur, ambos con régimen transitorio y con actividad en verano y no se encuentra atravesado ni por canales ni ríos. Ninguno de los cauces se verá afectado por la instalación de la PFV. En el PGSA se propusieron medidas de defensa y prevención para evitar daños ante escorrentías extraordinarias. Respecto del consumo de agua, la limpieza semestral de los paneles, con un consumo aproximado de 22.500 m³ en cada operación, se considera de un impacto no significativo.

La energía eléctrica generada por la PFV evitará generar unas 220.000 Tn de CO₂ al año (cantidad que produciría una central de generación de energía equivalente de argentina, usando factores de emisión de CAMMESA (2015).

Se valoró muy positivamente que AdV pueda vincularse al SADI y deje de depender de la central de generación aislada diésel, evitándose un consumo mensual de aproximadamente 120.000 lts. de gasoil con disminución de unas 23.000 tn de CO₂ anuales. También se evitará la generación de ruidos y emisión de fluidos y gases contaminantes de dicha central.

7.4 Impactos sobre el medio urbano

En la etapa de obras se producirá un impacto temporal en el medio urbano como consecuencia de un importante incremento en el movimiento vehicular por la zona, aunque se previó el ingreso al predio por la RP N° 357 y luego por el Acceso de La Puntilla, con lo que no interferirá en el ámbito urbano de AdV. Adicionalmente se mejorarían 3 km de camino consolidado. Respecto de las emisiones, la PFV no generará emisiones de gases ruidos o fluidos que afectan a población cercana, por lo que su impacto será nulo en este sentido.

7.5 Impactos sobre el medio perceptual

El Valle ofrece paisajes con diferentes grados de belleza, que tienen un valor intrínseco por su propia identidad. Los escenarios paisajísticos y los contrastes cromáticos cambian de hora en hora en función de la posición solar, de la estación del año y del material en suspensión producido por el viento. Teniendo en cuenta los ángulos visuales subtendidos entre el observador y el área de ocupación de la PFV, se estudiaron cuatro cuencas visuales. Analizando el contraste entre las estructuras de las nuevas instalaciones con el paisaje, se concluyó que el impacto visual es poco significativo en tres de estas cuencas. El impacto sí es significativo para aquellos observadores que circulen por la RP N° 307 sentido Amaicha - Santa María y viceversa, atravesando el área de la PFV, debido a la intrusión de estructuras y paneles en el paisaje.

7.6 Impactos socio económicos

La economía de AdV está basada en actividades primarias. El desarrollo está condicionado a las inversiones y emprendimientos productivos de

pequeña escala y de esfuerzos de particulares, lo que favorece la migración de la población joven. El impacto socio económico, considerando una inversión total de 230 millones de dólares, es altamente positivo. A nivel local se generarán puestos de trabajo, con la incorporación de mano de obra directa, hasta 300 personas durante la etapa de obras durante 2 años y unos 30 operarios que trabajarían en forma permanente durante la etapa de funcionamiento durante 20 a 30 años. Este tipo de proyectos dinamizan otros sectores tales como los servicios, logística, alimentación, salud, obras civiles, montajes y mantenimiento de instalaciones, etc.

Además, la Comunidad Indígena de AdV se verá directamente beneficiada por el pago de un canon anual por la locación del terreno por 20 años, con opción a prorrogar 10 años más. Se pautó que hasta un 60 % del dinero ingresado se destinaría al desarrollo de proyectos productivos sustentables. Finalizado el plazo de 20 años, se plantearon las alternativas de; dismantelar el parque solar y restituir la propiedad o realizar la cesión de la instalación a favor de la Comunidad.

8 PLAN DE GESTIÓN SOCIO AMBIENTAL

En función de las distintas afectaciones ambientales identificadas para la etapa de obras como de funcionamiento, se estructuró un Plan con medidas específicas para cada uno de los factores ambientales. Se puso especial atención en las medidas para mitigar el impacto visual y en el medio biótico y se incluyeron medidas de rescate y mitigación y compensación del impacto arqueológico. Se establecieron pautas para un plan de monitoreo de campos electromagnéticos, ruidos y gestión de residuos durante la etapa de funcionamiento. Finalmente, se incluyeron lineamientos para comprometer a la empresa a trabajar en áreas de interés de la comunidad: gestión del agua, gestión de residuos y formación educativa.

9 CONCLUSIONES

El proyecto de instalación de una PFV, donde se van a producir cambios significativos en el uso del suelo en un ámbito de características singulares como el del Valle Calchaquí, debe abordarse desde una perspectiva del costo-beneficio ambiental y social, donde la

participación de la Comunidad en las distintas etapas decisorias resulta fundamental, siendo la audiencia pública la principal herramienta de validación del mismo.

Los principales impactos negativos se verifican en el cambio del paisaje, la afectación de la biota y en el valor patrimonial. Entre los impactos positivos se valoran la producción de energía limpia y las oportunidades de desarrollo socio económico para la Comunidad de AdV y la provincia en general, con inversiones de gran escala, generación de empleos y posicionamiento de AdV en la región.

La metodología de evaluación ambiental empleada resultó satisfactoria y permitió advertir los impactos negativos y positivos. Se elaboró un PGSA para mitigar y compensar los impactos negativos y se plantearon lineamientos de desarrollo para la comunidad, tales como la creación de centros de educación en temáticas de EERR, interpretación arqueológica y guías de turismo con participación de la UNT.

El trabajo de los profesionales de la UNT resultó fundamental, tanto en la divulgación, discusión y participación de la Comunidad, como en el proceso de su toma de posición considerando sus propios intereses.

Debido a requerimientos técnicos-legales presentados a última hora con respecto al uso de la LAT Minera Alumbreira de 220 kV, este Proyecto, así como otros en la zona, no pudieron concretarse.

La región del Valle Calchaquí cuenta con un enorme potencial para el aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, Tucumán no ha definido aún políticas de Estado que promuevan estudios, inversiones y emprendimientos en sistemas tecnológicos basados en EERR. En el actual contexto de crisis económica y de cambio climático global, estas acciones debieran de ser prioritarias en la visión estratégica de la provincia.

10 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Unidad de Vinculación Tecnológica de la UNT y al equipo multidisciplinario de la UNT que participaron de

este trabajo, Lic. Julieta Carrizo, Lic. Cristina Perea, Geol. Elvira Guido, Lic. Yohana Jimenez, Arq. Ana Dantur, Abog. Martín Mercado, Arqueol. Soledad Gianfrancisco, Antrop. Matilde García Moritan y Lic. Silvia Pacheco y a los responsables del estudio de Impacto Arqueológico, Arqueólogos Carlos Baied y Carolina Somonte.

11 REFERENCIAS

- Banco Mundial. Estándares Ambientales y Sociales, 2017. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/projects-operations/environmental-and-social-framework/brief/environmental-and-social-standards>
- CAMMESA. Cálculo del Factor de Emisión de CO₂, 2015. Recuperado de: <https://datos.gob.ar/el/dataset/energia-calculo-factor-emision-co2-red-argentina-energia-electrica>
- Conesa, F.V. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Ed. Mundi-Prensa, 1997.
- Gastiarrea M., Fazzini A., Prieto R. y Gil S., "Uso de la energía en el sector residencial" 2017, Buenos Aires.
- Gómez Orea, D. Evaluación del Impacto Ambiental. 1ª edición. Ed. Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid, 1999.
- Infoleg. Información legislativa y documental de Argentina, 2017. Recuperado de: <http://www.infoleg.gob.ar/>
- Informe Anual CAMMESA. Principales Variables MEM, Resultados 2019. Recuperado de: <https://portalweb.cammesa.com/Pages/PgInformeAnual.aspx>
- RENOVAR. Programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, 2016. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/renovar>
- Solargis. Mapas de recursos solares de Argentina, 2017. Recuperado de: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/argentina>.

Síntesis de TiO₂. Efecto de las variables de síntesis en la actividad fotocatalítica.

Cornejo, Rosario^{1,2}, Farfán Torres, Mónica^{2,3}, Sham, Edgardo^{1,2}

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*
rochicornejo22@gmail.com, edgardosham@gmail.com

(2) *INIQUI-CONICET, CIUNSa, Universidad Nacional de Salta.*

(3) *Facultad de Cs. Exactas, Universidad Nacional de Salta.*

RESUMEN

Las propiedades fotocatalíticas del óxido de titanio sintetizado por la técnica sol-gel, fueron evaluadas en la reacción fotoasistida de degradación de un colorante artificial (tartrazina). Se estudió el efecto del orden de agregado de los reactivos en la síntesis: 1_ medio hidrolizante acidulado con ac. 4-hidroxibenzoico sobre el precursor de Ti y 2_ precursor de Ti sobre el medio hidrolizante acidulado con ac. 4-hidroxibenzoico. Los sólidos fueron calcinados a 300, 500 y 700 °C. y fueron caracterizadas por análisis térmico diferencial, difracción de rayos X y microscopía electrónica. El estudio de la influencia del orden de agregado de los reactivos y el tratamiento térmico sobre el comportamiento catalítico de los sólidos obtenidos, muestra que la mejor actividad catalítica se obtiene agregando el medio hidrolizante acidulado sobre el precursor y calcinando a 500 °C. La explicación para esta reactividad puede atribuirse a las especies formadas inicialmente, que influyen en las reacciones de policondensación secundarias, que a su vez afectan la morfología y la estructura cristalina de los sólidos resultantes.

ABSTRACT

The photocatalytic properties of titanium oxide synthesized by sol - gel, were evaluated in the photo assisted reaction of an artificial dye's (tartrazine) degradation. The reagent's order of addition effect in the synthesis was studied: 1_ hydrolyzing medium on precursor and 2_ precursor on the hydrolyzing medium. Solids were calcined at 300, 500 and 700 °C and were characterized by differential thermal analysis, X-ray diffraction and electronic microscopy. The study on the influence of reagent's order of addition and thermal treatment on the catalytic behavior of the solid, show that the best catalytic activity is obtained by adding the hydrolyzing medium on the precursor and calcining at 500 °C. The explanation to this reactivity can be attributed to the species formed initially which have an influence on the secondary polycondensation reactions, which in turn affect morphology and the crystal structure of the resulting solids.

Palabras claves: TiO₂ - Sol- gel - Fotocatálisis.

Keywords: TiO₂ - Sol- gel - Photocatalysis.

1. INTRODUCCIÓN

El dióxido de titanio (TiO₂) es un compuesto de gran interés tecnológico debido a sus propiedades ópticas, dieléctricas y catalíticas, con potencial uso en diferentes aplicaciones industriales, tales como pigmentos, recubrimientos anticorrosivos, sensor de gases, absorbente de rayos UV en productos cosméticos y en general en la industria de materiales cerámicos (Serpone 1995). En

particular está probada su capacidad para funcionar como fotocatalizador y facilitar reacciones de degradación de compuestos orgánicos con impacto ambiental beneficioso, tanto en la descontaminación de aire como de agua (Hanaor 2011).

Se ha demostrado que las propiedades fotocatalíticas del TiO₂ dependen del tamaño, la morfología y la fase cristalina de sus partículas (Mahshid 2007), por lo tanto el método de

preparación del fotocatalizador tiene una gran importancia. En particular el método Sol-gel, es una de las técnicas más exitosas para la preparación de materiales de óxidos metálicos de tamaño y morfología controlada lo que permite conseguir elevadas actividades fotocatalíticas (Sonawane 2002). Por lo general, los precipitados obtenidos por éste método son de naturaleza amorfa y requieren un tratamiento térmico adicional para inducir la cristalización.

Se ha demostrado que la concentración del precursor de alcóxido de titanio afecta en gran medida el comportamiento de cristalización y las características finales del sólido (Bischoff 1995). Por otro lado, el tamaño, la estabilidad, y la morfología del sol producido a partir de alcóxidos se ven fuertemente afectados por la relación molar de agua/titanio ($r = \text{H}_2\text{O}/\text{Ti}$) (Vorkapic 1998, Ding 1995). También, el pH de la disolución tiene una gran influencia en el tamaño final de las nanopartículas de TiO_2 (Sugimoto 2003, Zeng 1998). El control de las variables de síntesis permite obtener fase anatasa la que presenta excelente actividad fotocatalítica (Liu 2003).

En el presente trabajo se analizó el efecto que tiene el orden de agregado de los reactivos en el proceso de síntesis y la temperatura de calcinación, sobre la estructura cristalina, la morfología y la actividad fotocatalítica de la titania obtenida utilizando el método Sol-gel.

2. EXPERIMENTAL

1.1 Preparación de catalizadores

A fin de evaluar el comportamiento de la titania en función del orden de agregado de los reactivos durante la síntesis, fueron preparados por medio de la técnica Sol-gel dos catalizadores. Como precursor del TiO_2 se utilizó isopropóxido de titanio (IPT) (Aldrich 97%) disuelto en alcohol isopropílico (Cicarelli P.A) con una concentración 1 M y agua de ósmosis acidulada con ácido 4-hidroxibenzoico (Aldrich 99%) hasta alcanzar un pH 2,5 como agente hidrolizante. Se utilizaron dos procedimientos de preparación (H₂O-IPT y IPT-H₂O). En el procedimiento H₂O-IPT se fue agregando el agua de ósmosis acidulada gota a gota sobre la disolución de IPT, y en el procedimiento IPT-H₂O, se fue agregando la disolución IPT gota a gota sobre

agua de ósmosis acidulada. La relación $\text{H}_2\text{O}/\text{Ti}$ fijada fue de 4 y la velocidad de agregado de 1 mL/min bajo agitación permanente en ambos casos. La mezcla del IPT con el agua acidulada, provocó en el medio de reacción, una turbidez producto de la formación del oxohidróxido de titanio generando una dispersión de partículas sólidas finamente divididas. Las suspensiones fueron mantenidas bajo agitación 24 horas. Las fases sólidas obtenidas fueron separadas y lavadas con agua de ósmosis varias veces por centrifugación, secadas en estufa a 60 °C y finalmente calcinadas en aire estático a 300 °C, 500 °C y 700°C durante 1 hora, empleando una velocidad de calentamiento en todos los casos de 10 °C/min.

Para los estudios de actividad fotocatalítica se preparó una disolución de tartrazina (Aldrich 99 %) utilizando agua de ósmosis, para obtener una concentración de 2.10^{-5} M. La disolución acuosa se reservó en un recipiente oscuro, para evitar el contacto con luz.

1.2 Caracterización

Los termoanálisis se realizaron en aire estático a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, sobre una muestra compactada en tres capas con un peso total de 20 mg. El equipo utilizado fue un Rigaku TAS 1100. La morfología se obtuvo a partir de micrografías de microscopía electrónica de Barrido (MEB) empleando un equipo JEOL JSM6480LV. Las fases cristalinas de los catalizadores fueron caracterizadas por difracción de Rayos X en equipo un Phillips PW-1140/00 utilizando una radiación $\text{Cu K}\alpha$.

La degradación del colorante fue seguida por Espectrofotometría UV-Visible utilizando un equipo GBC 918 doble haz.

1.3 Estudios fotocatalíticos

Las pruebas fotocatalíticas fueron realizadas en un reactor de cuarzo de geometría cilíndrica de 150 cm³ de capacidad, agitado mecánicamente a 600 rpm e iluminado lateralmente con una lámpara Osram Ultra Vitalux de 300 W. Para determinar el efecto de la adsorción por parte del fotocatalizador y el de la fotorradiación, fueron realizados dos tipos de experimentos en blanco, uno sin iluminación con el agregado de 0,1 g/L de TiO_2 y otro en ausencia de TiO_2 y, solamente con iluminación, midiendo en ambos casos los cambios de concentración de la disolución de

tartrazina. Alícuotas de disolución coloreada fueron retiradas del fotorreactor, a diferentes intervalos de tiempo y filtradas con membranas de acetato de celulosa de 0,2 micras (Sartorius). El líquido filtrado se analizó por espectrofotometría UV/VIS a 427,25 nm. Antes de la exposición a la luz UV, se mantuvo el fotocatalizador-disolución coloreada en agitación durante 10 minutos en oscuridad.

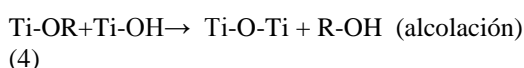
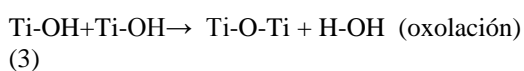
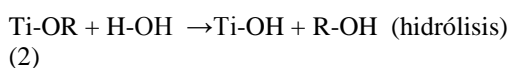
Se eligió como única respuesta del sistema al grado de degradación X que experimenta el reactivo orgánico con respecto a la concentración inicial del mismo, C_0 , y se la definió como:

$$X = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \quad (1)$$

Donde C_0 es la concentración inicial del reactivo orgánico disuelto en solución y C_f es la concentración del reactivo orgánico disuelto en la solución a un tiempo determinado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las reacciones de hidrólisis y condensación que tienen lugar cuando el isopropóxido de titanio se pone en contacto con el agua son las siguientes:



El orden de agregado del medio hidrolizante y del precursor, determina el tipo de especies formadas inicialmente, influyendo así en las reacciones de policondensación secundarias que implican la polimerización del alcóxido metálico hidrolizado en solución alcohólica. Esto a su vez afecta la composición química y la estructura de las moléculas poliméricas resultantes (Ding1995).

En la figura 1 se muestran los análisis termogravimétricos de los sólidos H₂O-IPT y IPT-H₂O. Se distingue claramente una única pérdida de peso relacionada con la eliminación del agua de hidratación y los grupos OH de la superficie del óxido de titanio en un rango de temperatura que se extiende hasta los 400 °C.

La menor pérdida de peso ocurre en la síntesis IPT-H₂O y puede atribuirse a que cuando se coloca el precursor sobre el medio hidrolizante, se favorece la reacción de hidrólisis, con lo cual la cantidad de grupos alquilo sin hidrolizar residual disminuye (Yu 2003). Por otro lado, se sabe que los grupos orgánicos son más difíciles de eliminar cuando se realiza la hidrólisis agregando el precursor sobre el medio hidrolizante. En la década de 1950, Boyd (1951) mostró que cuando la relación de hidrólisis (H₂O/Ti) es baja (0-1) se forman esencialmente polímeros lineales. Por lo tanto, se puede esperar que cuando se agrega el medio hidrolizante sobre el precursor, la polimerización lineal de lugar a una red débilmente reticulada. Por el contrario, cuando la síntesis se realiza agregando el precursor sobre el medio hidrolizante, la polimerización podría tener lugar en tres dimensiones y la red resultante es altamente reticulada. Durante el tratamiento térmico, la eliminación de agua y de compuestos orgánicos, se produce a través de un mecanismo de flujo viscoso que se produce más fácilmente en la red débilmente reticulada (Ding 1995), con lo cual los componentes orgánicos de las muestras obtenidas agregando el medio hidrolizante sobre el precursor son más fáciles de eliminar.

Los estudios de microscopía electrónica de barrido para los sólidos calcinados a 300 °C muestran en la figura 2. Se puede observar que el sólido obtenido en la primera síntesis, realizada agregando el medio hidrolizante acidulado sobre el precursor, presenta mayor distribución de tamaño de partícula. Esto sucede debido a que el tamaño de partícula y su distribución se ven afectados por las tasas de nucleación y crecimiento (Yu 2003). Cuando se agrega el precursor sobre el medio de hidrólisis, la

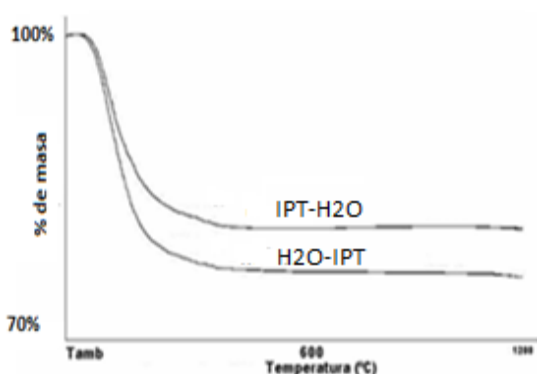


Figura 1: Análisis termogravimétricos: a) Síntesis H2O-IPT y b) Síntesis IPT-H2O

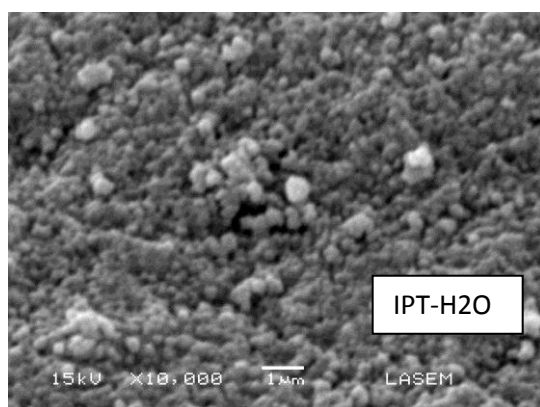
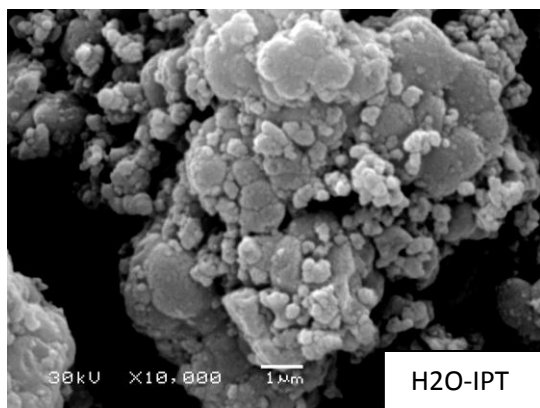


Figura 2: Micrografías de las síntesis de TiO_2 calcinadas a 300 °C: a) Síntesis H2O-IPT y b) Síntesis IPT-H2O

velocidad de nucleación es mucho más grande que la velocidad de crecimiento debido a la baja concentración del precursor. En consecuencia nucleación y crecimiento no ocurren

simultáneamente, y se obtienen partículas con una distribución de tamaño más estrecha. Por el contrario, cuando se agrega el medio hidrolizante sobre el precursor, al ser la concentración del precursor mucho más grande que la concentración límite, la velocidad de nucleación no es suficientemente alta comparada con la velocidad de crecimiento de las partículas (Yu 2003). Por lo tanto, los núcleos iniciales crecen más rápido que los núcleos más nuevos, lo que lleva a una mayor amplitud en la distribución y tamaño de partícula.

Los estudios de difracción de rayos X para las síntesis calcinadas a 300, 500 y 700°C se muestran en la figura 3. A 300 °C, ambas síntesis muestran fundamentalmente la fase titania anatasa, caracterizada por una línea de difracción (101) poco intensa y ancha, indicando baja cristalinidad y pequeño tamaño de partícula. A medida que aumenta la temperatura de calcinación de 300 °C a 500 °C, se mantiene la estructura anatasa pero la línea (101) es más aguda, indicando mayor cristalinidad y tamaño de partícula, y definiéndose aún más las líneas (103), (004) y (112) de esta fase cristalina. A 700 °C, se observa la presencia mayoritaria de fase rutilo, y en cambio para la síntesis IPT-H2O a esta temperatura todavía es detectada la fase anatasa.

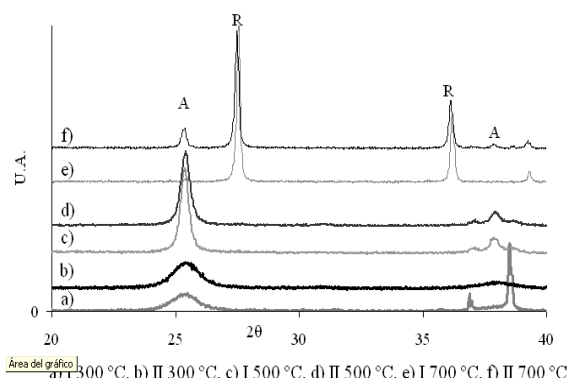


Figura 3: Estudios de difracción de rayos X de las síntesis calcinadas a 300, 500 y 700 °C, donde I:H2O-IPT, II:IPT-H2O, A: Anatasa, R:Rutilo.

En el proceso Sol-gel, el orden de agregado de los reactivos determina el grado de hidrólisis y el tipo de especies iniciales formadas, influyendo así en las reacciones de policondensación secundarias que

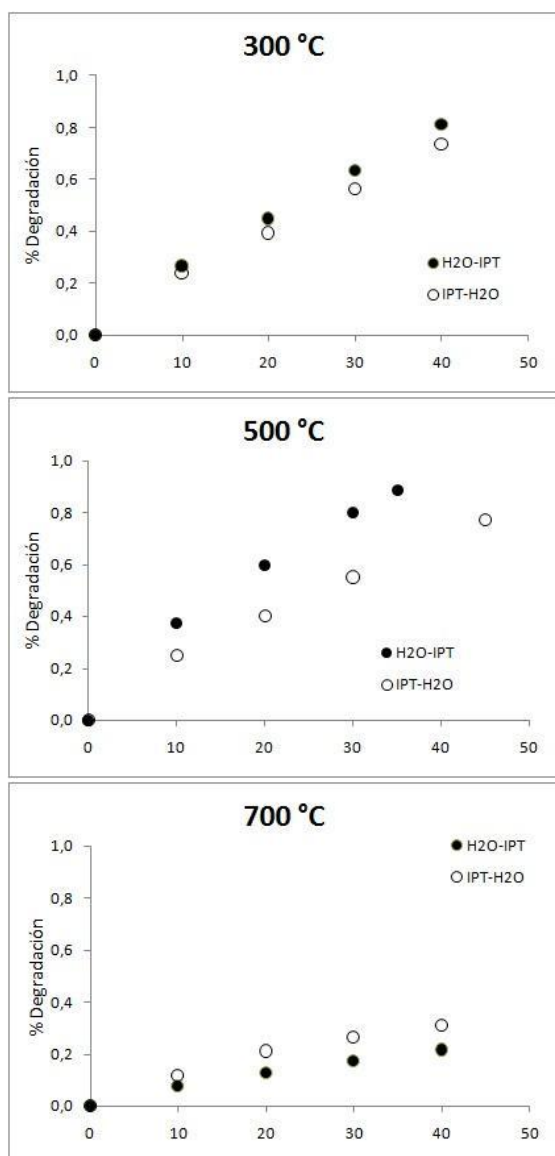


Figura 4: Efecto del orden de agregado en la síntesis de TiO_2 sobre la degradación de tartrazina para los sólidos calcinados a 300, 500 y 700 °C.

implican la polimerización del alcóxido del metal hidrolizado en solución alcohólica (Li 2004). Esto a su vez afecta a la estructura de los sólidos resultantes y puede ser responsable de la disminución en la temperatura de inicio de la transformación de fases de anatasa a rutilo.

En la figura 4 se presentan los datos experimentales de la variación de la concentración de tartrazina para las síntesis calcinadas a diferentes temperaturas. Se observa que el efecto de sintetizar el sólido agregando

H_2O acidulada sobre IPT y calcinando a 500 °C produce un sólido más activo. Así por ejemplo, cuando se utiliza la síntesis IPT- H_2O , la degradación de tartrazina a los 30 min es de 0,5, mientras que para la síntesis H_2O -IPT la degradación de tartrazina aumenta a 0,8. Los sólidos calcinados a 300 °C muestran un comportamiento similar, aunque el % de degradación es marcadamente menor. De acuerdo a los resultados de DRX, se observa que con el aumento de la temperatura de calcinación (de 300 a 500 °C), las intensidades de los picos de anatasa aumentan y disminuye el ancho a la altura media de la línea (101). Esto indica que a 300 °C hay todavía fase amorfa, mientras que a 500 °C el proceso de cristalización es mayor, obteniéndose fase anatasa altamente cristalina.

La actividad fotocatalítica de los sólidos calcinados a 700 °C es mucho menor que la de los sólidos calcinados a temperaturas más bajas. Se observa también, que los catalizadores obtenidos por la síntesis IPT- H_2O presentan mayor actividad fotocatalítica que los obtenidos por la síntesis H_2O -IPT. A esta temperatura de calcinación, la fase rutilo favorecida termodinámicamente, comienza a formarse y se convierte en la fase principal. Sin embargo, cuando se agrega el precursor sobre el medio hidrolizante, se estabiliza la fase anatasa que tiene mayor actividad fotocatalítica.

4. CONCLUSIONES

El orden de agregado de los reactivos en el proceso de síntesis Sol- gel conduce, luego del tratamiento térmico, a sólidos con reactividades fotocatalíticas diferentes. En el sistema estudiado, la mejor performance fotocatalítica se obtiene cuando se agrega el medio hidrolizante sobre el precursor con un tratamiento térmico de 500 °C. La explicación para esta reactividad puede atribuirse a las especies formadas inicialmente, que influyen en las reacciones de policondensación secundarias, que a su vez afectan la morfología y la estructura cristalina de los sólidos resultantes.

5. REFERENCIAS

- Bischoff B.L., Anderson M.A., Chemistry of Materials, 7- 1772, 1995.
 Boyd T., Journal of Polymer Science, 7- 591, 1951.

- DingX.-Z., QiZ.-Z., HeY.-Z., Journal of Materials Science Letters, 14- 21, 1995.
- Hanaor, D., SorrellC., Journal of Materials Science, 46- 855, 2011.
- LiY., WhiteT.J., LimS.H., Journal of Solid State Chemistry, 177- 1372, 2004.
- LiuH., YangW., MaY., CaoY., YaoJ., ZhangJ., HuT., Langmuir, 19- 3001, 2003.
- MahshidS., AskariM., M.S. Ghamsari, Journal of Materials Processing Technology, 189- 296, 2007
- SerponeN., Solar Energy Materials and Solar Cells, 38- 369, 1995.
- SonawaneR.S., HegdeS.G., DongareM.K., Materials Chemistry and Physics, 70- 744, 2002
- SugimotoT., ZhouX., MuramatsuA., Journal of Colloid and Interface Science, 259- 53, 2003.
- VorkapicD., MatsoukasT., Journal of the American Ceramic Society, 81- 2815, 1998.
- YuJ., YuJ.C., HoW., LeungM.K.P., ChengB., ZhangG., ZhaoX., Applied Catalysis A: General, 255- 309, 2003.
- YuJ.-G., YuH.-G., ChengB., ZhaoX.-J., YuJ.C., HoW.-K., The Journal of Physical Chemistry B, 107- 13871, 2003.
- ZengT., QiuY., ChenL., SongX., Materials Chemistry and Physics, 56- 163, 1998.

Respuesta de ensambles de macroinvertebrados bentónicos a la presencia de un dique derivador: análisis preliminar

Hurtado-Ferraté, Sara M.¹; Corona, Tomás G.¹; Pineda, Andrea L.¹; Ledesma, Ana E.²; Wottitz, Carlos A.³; Leiva, Marta⁴

(1) *INPROVE, Facultad de Ciencias Forestales (FCF). Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).*

samhfer@gmail.com; agrocan69@gmail.com; belluccia15@gmail.com

(2) *CIBAAL-UNSE-CONICET, Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT). UNSE.*

ana1ledesma@yahoo.com.ar

(3) *Departamento Académico de Química. FCEyT. UNSE.*

augusto.wottitz@gmail.com

(4) *CONICET-UNSE. INPROVE. FCF. UNSE.*

martaleiva@unse.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la influencia del dique Los Quiroga, destinado a derivación de caudales para riego, sobre la composición de ensambles de macroinvertebrados bentónicos y su relación con variables físico-químicas en el río Dulce, Santiago del Estero. Se realizaron 3 muestreos para análisis de calidad de agua (en mayo, junio y julio de 2019), y se muestrearon 1 vez los macroinvertebrados durante el mes de julio, en sitios aguas arriba y abajo del dique. Las aguas fueron alcalinas, con pH 7,8; alcalinidad total 166,4 mg.L⁻¹ de CaCO₃, dureza total 176,4 mg.L⁻¹ de CaCO₃ y conductividad de 867,8 μS.cm⁻¹. Las variables de calidad de agua mostraron valores ligeramente superiores aguas abajo del dique, con excepción de nitratos y sulfatos que disminuyeron aguas abajo. La abundancia y riqueza de los ensambles fueron superiores aguas arriba, donde la Clase Oligochaeta fue más abundante, mientras Insecta Chironomidae fue más abundante aguas abajo. Se concluye que la presencia del dique influye sobre la composición de los ensambles de macroinvertebrados. La continuidad de esta investigación permitirá evaluar el efecto del dique sobre el funcionamiento ecológico del sistema fluvial, aportando conocimiento básico necesario para el desarrollo de herramientas de biomonitoreo.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the influence of Los Quiroga weir, destined to derivation of water flows for irrigation, on composition of benthic macroinvertebrate assemblages and its relationship with physical-chemical variables in the Dulce river, Santiago del Estero. We carried out 3 samplings for water quality analysis (May, June and July 2019), and we sampled once the macroinvertebrates (July 2019), in sites upstream and downstream the weir. Waters were alkaline, with pH 7.8; total alkalinity 166.4 mg.L⁻¹ of CaCO₃, total hardness 176.4 mg.L⁻¹ of CaCO₃ and conductivity 867.8 μS.cm⁻¹. Water quality variables showed slightly higher values downstream the weir, with exception of nitrates and sulfates, which decrease downstream. Abundance and taxonomic richness of assemblages were higher upstream, where Oligochaeta Class was more abundant, while Insecta Chironomidae was more abundant downstream. It is concluded the presence of the weir influences macroinvertebrate assemblages' composition. The continuity of this research will allow assessing the effect of the weir on ecological functioning of the fluvial system, providing basic knowledge necessary for development of biomonitoring tools.

Palabras claves: macroinvertebrados - azud - integridad ecológica.

Keywords: macroinvertebrates - weir - ecological integrity.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de presas y diques modifica potencialmente una amplia gama de factores abióticos y bióticos en los ecosistemas lóticos y se considera uno de los impactos antropogénicos más importantes en los ríos a nivel mundial (Krajenbrink *et al.*, 2019). Sin embargo, los estudios en general se enfocan en las grandes presas, y por lo tanto aún es escaso el conocimiento acerca de los efectos de los diques de pequeña altura (<7 m). Aunque no tienen impactos ambientales de tanta magnitud como las grandes presas, se reconoce que presas pequeñas provocan cambios a la dinámica de sedimentación y arrastre de sólidos, modificando la granulometría aguas arriba y aguas abajo (Csiki & Rhoads, 2010); cambiando la configuración del hábitat para los invertebrados acuáticos y generando espacios de colonización para la vegetación acuática y riparia; y favorecen la acumulación de contaminantes (Rothenberger *et al.*, 2017). También pueden modificar las variables físico-químicas del agua, como la temperatura, los nutrientes y la productividad primaria (Dewson *et al.*, 2007).

Las infraestructuras hídricas tienen cada vez mayor desarrollo por la necesidad de uso del agua, y paralelamente captan el interés científico para evaluar sus efectos ecológicos a fin de aportar herramientas a la conservación y el manejo de los recursos acuáticos (Arthington *et al.*, 2010). Es fundamental que los estudios integren aspectos físico-químicos y biológicos para lograr evaluaciones integrales, tendientes a mejorar el manejo de los sistemas naturales conservando sus funciones y servicios ecosistémicos. Los macroinvertebrados bentónicos son uno de los grupos más ampliamente estudiados y aceptados a nivel mundial como indicadores de calidad ecológica de los ecosistemas fluviales (Prat-Fornells *et al.*, 2009).

El dique derivador del sistema de riego en Los Quiroga es una infraestructura de aprovechamiento que provoca discontinuidad longitudinal en el curso fluvial, con potencialidad de modificar la configuración del hábitat entre los tramos de aguas arriba y aguas abajo. Una primera aproximación a sus efectos ecológicos se

puede encontrar en Leiva *et al.* (2017, 2020), donde se detectaron modificaciones de la estructura de la comunidad bentónica, así como de la calidad del agua. Sin embargo, a los fines de proponer herramientas de evaluación ambiental adecuadamente fundamentadas, es necesario profundizar el conocimiento ecológico del sistema, con particular atención a la zona de influencia directa de la infraestructura. Este estudio tiene como objetivo caracterizar la estructura y riqueza de los macroinvertebrados bentónicos aguas arriba y aguas abajo del azud derivador conocido como dique Los Quiroga en el río Dulce, Santiago del Estero, y su relación con variables físico-químicas del agua.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Chaco Semiárido (Brown & Pacheco, 2006), con un clima cálido estacional y temperatura media anual de 21,5 °C. El balance hídrico climático es negativo, la evapotranspiración potencial es de 900 a 1100 mm por año, mientras que las precipitaciones, concentradas en verano, disminuyen de norte a sur entre 750 y 500 mm por año (Rubí Bianchi & Cravero, 2010). El río Dulce pertenece a la cuenca endorreica Salí-Dulce, que se extiende desde la región montañosa andina del norte de Argentina, y desemboca en Mar Chiquita, un lago salino dentro del territorio de la provincia de Córdoba. Las aguas del río fluyen desde el embalse de Río Hondo, gran presa situada en el centro de la cuenca sobre el límite entre las provincias de Tucumán y Santiago del Estero, utilizada como defensa contra las inundaciones, para el almacenamiento de agua y la producción de energía hidroeléctrica. El estudio se llevó a cabo en el área de influencia directa del dique derivador Ing. Carlos Michaud, el cual deriva parte del caudal circulante desde Río Hondo hacia el sistema de riego agrícola del río Dulce, y se ubica en la localidad de Los Quiroga, (27°39'04,9"S, 64°21'49,4"W), provincia de Santiago del Estero. En este trabajo nos referiremos a esta infraestructura tal como es popularmente conocida, dique Los Quiroga.

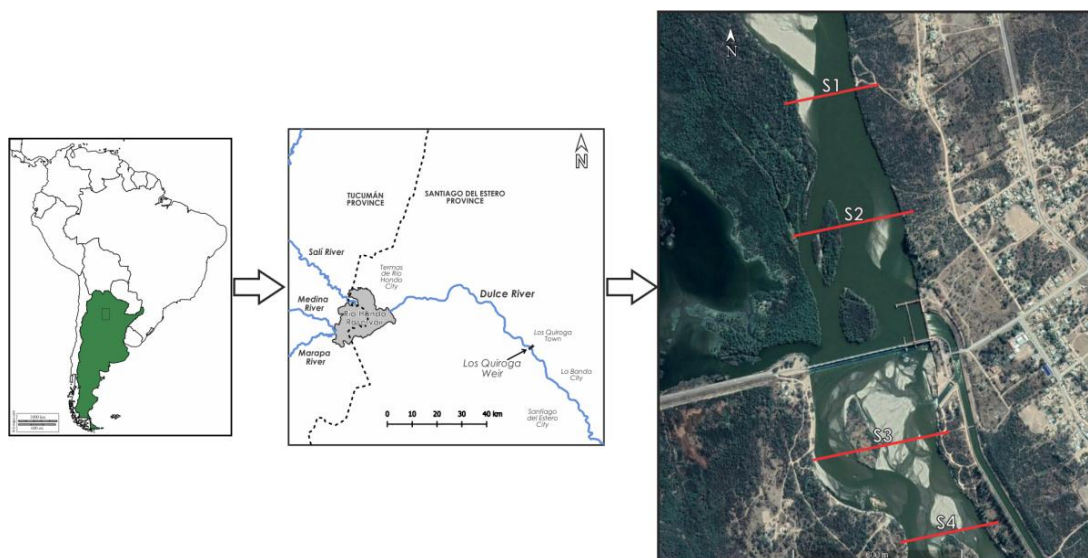


Figura 1. Localización de los sitios de estudio (S1-S4) sobre el eje longitudinal del río Dulce, en el dique Los Quiroga. Fuente de la imagen: Google Earth.

2.2. Muestras

Se realizaron tres muestreos de agua y uno de macroinvertebrados bentónicos en la temporada de invierno de 2019. Se establecieron cuatro transectas de muestro (S1-S4), dos aguas arriba del dique y dos aguas abajo, en un radio aproximado de 1000 m con respecto al dique (Figura 1). Las muestras de agua se tomaron en tres oportunidades, durante los meses de mayo, junio y julio, y de macroinvertebrados solamente un muestreo en el mes de julio. Se tomaron las muestras de agua en el centro de la corriente, y las muestras de macroinvertebrados se tomaron considerando como eje cada transecta, en el margen derecho, margen izquierdo, centro del cauce, y en los casos en que se observó un hábitat potencialmente diferente también se realizó la toma de muestra en dicho punto.

2.3. Análisis de aguas

Las variables de calidad de agua se analizaron siguiendo protocolos normalizados (Franson, 1992). Se tomaron medidas básicas de calidad de agua en el campo: pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) con equipos digitales. El oxígeno disuelto se fijó en campo y se midió por titulación por método Winkler con modificación de azida (Protocolo 4500-O). Para realizar mediciones en laboratorio se tomaron muestras en botellas de plástico previamente lavadas con HCl

10 %. Se conservaron en recipientes refrigerados para su traslado. Todas las mediciones de campo y muestras para laboratorio se tomaron por duplicado. La alcalinidad se midió en forma de iones de bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), y se determinó mediante análisis volumétrico. (Protocolo 2320), los iones de dureza, calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}), se determinaron mediante titulación con EDTA (Protocolo 2340C), los iones cloruro (Cl^-) se determinaron mediante titulación con el método argentométrico (Protocolo 4500-Cl-B), sólidos totales (ST) por secado en estufa a 103-105°C (Protocolo 2540B), el contenido de sulfatos (SO_4^{2-}) se determinó por el método turbidimétrico con BaCl por absorción a 420 nm (Protocolo 4500 SO_4^{2-} -E). Nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}) se estimaron mediante espectroscopia UV-visible en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1800 (Shimadzu Co, Japón), por absorción a 220 nm para los nitratos (Protocolo 4500B), y a 880 nm con el método del ácido ascórbico para fosfatos (Protocolo 4500-PE). El Sodio (Na^+) y el Potasio (K^+) se determinaron por fometría de llama en un ionómetro Crudo Camaño (Laboratorio Norte, Argentina).

2.4. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos

Se obtuvieron 14 muestras de macroinvertebrados en los diferentes hábitats potenciales que se pudieron identificar, desde el margen derecho al

margen izquierdo pasando por el centro del cauce, utilizando un muestreador de sedimentos tipo Van Veen (357 cm², fabricación artesanal) y un muestreador tubular tipo Corer (10 cm de diámetro). Para caracterizar los hábitats muestreados se midió profundidad y se evaluó visualmente la composición prevalente del sustrato (arena, cantos, gravas, sedimentos finos) así como la presencia de elementos de heterogeneidad (ramas, raíces). Además, se midió la velocidad de corriente promedio en el sitio, el ancho total y el ancho húmedo y se relevaron datos de caudal aguas arriba y abajo del dique Los Quiroga mediante consulta a la Superintendencia del Sistema de Riego del Río Dulce de la provincia de Santiago del Estero. Se procuró obtener en todas las muestras de bentos un volumen aproximado de 500 cm³ de sedimento. Se filtraron en campo con un tamiz de nylon de tamaño de poro de 250 µm, se guardaron en frascos plásticos de 1000 cm³ fijando con formaldehído al 10 % en volumen.

La composición taxonómica de cada muestra fue analizada por separado, a fin de evaluar la variabilidad entre los hábitats muestreados. Se agregó eritrosina para facilitar la visualización de los organismos en el sedimento por tinción, y se dejó reposar las muestras por 5 días para su fijación. Posteriormente fueron lavadas con agua corriente sobre tamiz de nylon de 250 µm y por flotación, colocando las muestras dentro de una bandeja plástica blanca y con agregado de NaCl comercial (sal de mesa) al agua, se separaron los macroinvertebrados del sedimento. A fines de evitar la pérdida de material biológico durante este proceso, el mismo se realizó con 5 repeticiones y se revisó cuidadosamente el sedimento verificando que la separación por flotación resultara efectiva, antes de descartar el mismo. El material recuperado, conteniendo los macroinvertebrados de la muestra, fue guardado en frascos de 100 cm³ con alcohol 80 %. En una segunda etapa se separó manualmente a los macroinvertebrados de los restos de materiales orgánicos y otros elementos que se recuperaron con la flotación, bajo lupa binocular y se guardaron los organismos presentes en cada muestra en alcohol 80 %. Se separaron en diferentes grupos taxonómicos a partir de la observación de caracteres morfológicos (forma del cuerpo, presencia o ausencia de patas, apéndices caudales, etc.) clasificando los organismos por su pertenencia a los siguientes

grupos: Odonata, Chironomidae, Ceratopogonidae, Collembola, Copepoda, Ostracoda, Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Nematoda y otros (en los casos en que no fue posible asignarlo a alguna clase u orden reconocible por los caracteres morfológicos más notorios) y se contabilizaron. Respecto a esta clasificación en grupos taxonómicos, cabe aclarar que se trata de un primer paso en el proceso de identificación taxonómica, y que los resultados aquí presentados constituyen un análisis preliminar de la estructura y riqueza de los ensambles recolectados.

2.5. Análisis estadísticos

Con el objeto de caracterizar ambientalmente los sitios se realizaron análisis exploratorios mediante cálculos de medidas resumen y gráficos. Ante la falta de cumplimiento del supuesto de normalidad, se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si existieron diferencias significativas para las variables ambientales entre los sitios de aguas arriba y los de aguas abajo. Se utilizó el software InfoStat versión profesional 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Los ensambles de macroinvertebrados se caracterizaron en base a la abundancia y riqueza de los grupos taxonómicos identificados. Los conteos se transformaron a frecuencia relativa porcentual (como porcentaje de cada grupo en el total de cada unidad de muestra). Con el fin de disminuir la colinearidad en el set de datos, se obtuvieron los coeficientes de correlación de Pearson para el conjunto de variables ambientales y se seleccionaron, entre aquellas que presentaran entre sí valores de correlación positiva > 0,75, las que en un Análisis de Componentes Principales presentaron los autovalores más altos. Para analizar la relación entre los ensambles de macroinvertebrados y las variables ambientales seleccionadas se realizó un Análisis de Correspondencias Canónicas utilizando el paquete vegan (Oksanen, 2018) en software R (R Core Team, 2020).

3. RESULTADOS

Las aguas fueron alcalinas con un pH de 7,82 (± 0,27); alcalinidad total 166,38 (± 10,98) mg.L⁻¹ de CaCO₃, dureza total 176,35 (± 18,52) mg.L⁻¹ de CaCO₃ y conductividad de 867,83 (± 86,79) µS.cm⁻¹. Los valores de pH y de sulfatos

mostraron diferencias significativas aguas arriba y aguas abajo del dique, en el resto de las variables analizadas las diferencias obtenidas no fueron estadísticamente significativas (Tabla 1).

Tabla 1. Media ± Desviación Estándar y el valor p de la prueba de Kruskal-Wallis para las variables medidas aguas arriba y aguas abajo del dique Los Quiroga. *Valores de $p < 0,05$ representan diferencias significativas.

Variable	Aguas arriba	Aguas abajo	p
pH	7,67 ± 0,28	7,96 ± 0,18	0,0072*
T °C	17,13 ± 3,37	17,38 ± 3,66	0,7725
CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	856,5 ± 93,36	879,17 ± 82,17	0,4188
ST mg.L^{-1}	590,33 ± 45,26	600,17 ± 43,8	0,6235
OD mg.L^{-1}	9,04 ± 0,77	9,26 ± 0,65	0,308
Alcalinidad, mg.L^{-1} de CaCO_3	164,72 ± 12,01	168,04 ± 10,11	0,2834
Dureza, mg.L^{-1} de CaCO_3	174,38 ± 19,37	178,33 ± 18,26	0,4258
HCO_3^- mg.L^{-1}	198,61 ± 14,66	203,95 ± 12,82	0,174
Ca^{+2} mg.L^{-1}	38,02 ± 3,7	39,75 ± 3,47	0,336
Mg^{+2} mg.L^{-1}	19,44 ± 5,34	19,15 ± 5,87	0,7724
Na^+ mg.L^{-1}	98,84 ± 14,98	98,84 ± 14,98	>0,9999
K^+ mg.L^{-1}	5,64 ± 0,9	5,75 ± 1,03	0,8836
Cl^- mg.L^{-1}	100,08 ± 7,56	99,98 ± 7,83	0,8846
SO_4^{-2} mg.L^{-1}	146,09 ± 15,86	134,2 ± 12,36	0,028*
PO_4^{-3} mg.L^{-1}	0,92 ± 0,13	0,89 ± 0,02	0,9768
NO_3^- mg.L^{-1}	11,82 ± 1,23	10,95 ± 1,08	0,0688
Velocidad de corriente m.s^{-1}	0,34 ± 0,00	0,39 ± 0,17	0,1230
Profundidad m	107,14 ± 77,4	34,29 ± 19,88	0,0175*
Ancho total m	312,57 ± 86,59	335,00 ± 93,54	0,3328
Ancho húmedo m	188,00 ± 0,00	292,14 ± 40,09	0,0006*
Caudal $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	129,21 ± 46,59	94,88 ± 73,38	0,0006*

Sin embargo, como se puede observar en la Figura 1, los parámetros evaluados mostraron en general valores ligeramente superiores aguas abajo del dique, con excepción de los sulfatos, fosfatos y nitratos que mostraron una tendencia

contraria. De las variables hidromorfológicas evaluadas en cada sitio, se diferenciaron la profundidad, que resultó mayor aguas arriba, el ancho húmedo que resultó mayor aguas abajo y el caudal que resultó mayor aguas arriba. Aguas arriba también se detectó presencia de ramas y raíces, aporte de hojarasca, en los hábitats de margen principalmente debido a la presencia de mayor cantidad de vegetación de ribera.

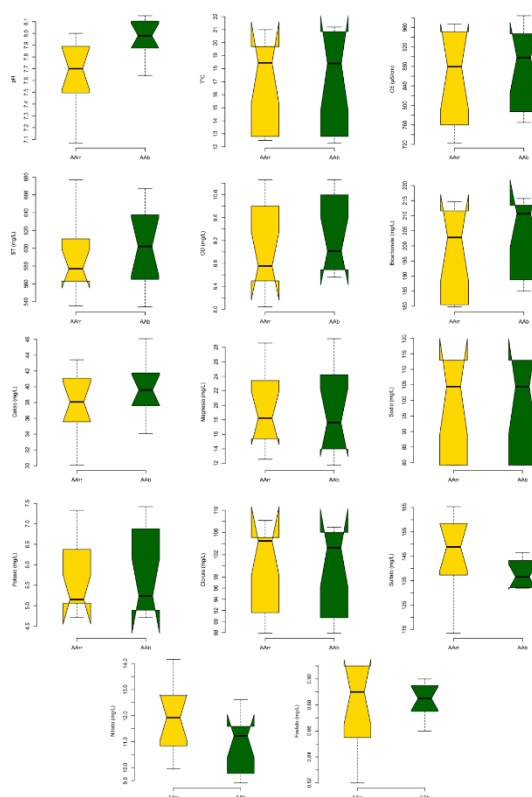


Figura 2. Gráficos de cajas representado la variación de los parámetros de calidad de aguas entre aguas arriba (AAR) y aguas abajo (AAB) del dique Los Quiroga. Las muescas en las cajas muestran el intervalo de confianza alrededor de la mediana (mediana $\pm 1,57 \times \text{IQR}/\text{cuadrado de n}$). Según los métodos gráficos para el análisis de datos (Chambers, 1983), aunque no es una prueba formal, si las muescas de dos cajas no se superponen hay "pruebas sólidas" (95% de confianza) de que sus medianas difieren. Se registró un total de 675 organismos distribuidos en siete unidades muestrales aguas arriba del dique, mientras que aguas abajo se

registraron 388 organismos distribuidos asimismo entre siete unidades muestrales.

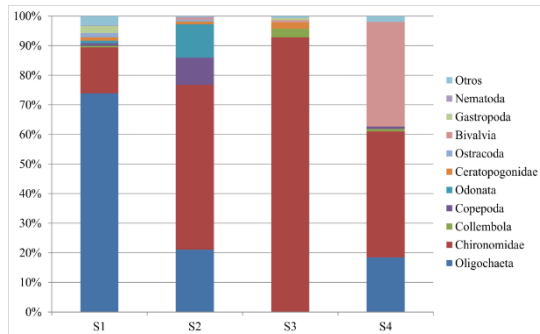


Figura 3. Distribución de los ensambles de organismos aguas arriba (S1-S2) y aguas abajo (S3-S4) del dique.

Todos los hábitats presentaron sedimentos arenosos, diferenciándose principalmente por la profundidad de la columna de agua. Además de la abundancia, también la riqueza de los ensambles resultó superior aguas arriba, donde se registraron

los 11 grupos taxonómicos, siendo más abundante la Clase Oligochaeta. Aguas abajo se registraron 8 grupos (no se registró a Odonata, Ostracoda y Nematoda), siendo más abundante la familia Chironomidae de la Clase Insecta (Figura 3).

En el Análisis de Correspondencias Canónicas (Figura 4), se observa que los sitios de aguas arriba se diferencian por un mayor caudal, presentando la mayor abundancia los taxones Oligochaeta, Nematoda y Ostracoda. Odonata y Copepoda mostraron preferencia por los hábitats con mayor profundidad y velocidad de corriente. Los sitios de aguas abajo, que mostraron un ancho húmedo mucho mayor pero una profundidad notablemente disminuida por la reducción de caudal, así como un mayor contenido de ST, estuvieron principalmente asociados a la abundancia de Chironomidae y Bivalvia. La muestra correspondiente al centro del lecho en el S1 se agrupa por su mayor abundancia de Chironomidae con los sitios de aguas abajo.

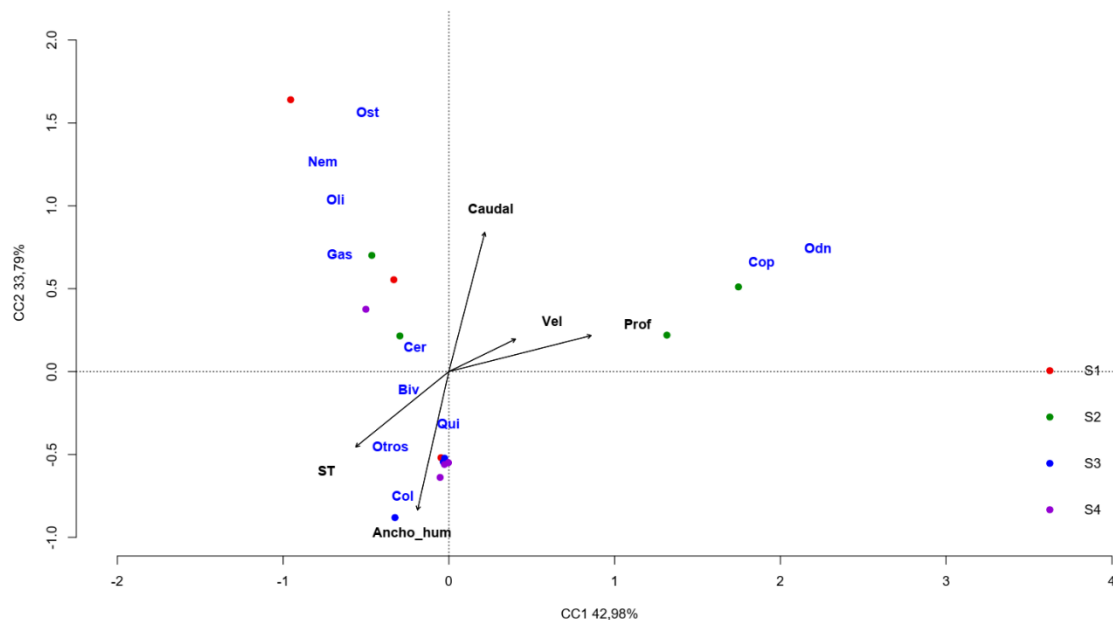


Figura 4. Análisis de Correspondencias Canónicas representando la relación entre los ensambles de macroinvertebrados y las variables ambientales.

4. DISCUSIÓN

Se puede inferir que el dique produce efectos menores sobre la calidad del agua, pero influye

marcadamente sobre la estructura y riqueza de los ensambles de macroinvertebrados bentónicos. Los valores medios de los parámetros de calidad

de aguas registrados son consistentes con lo reportado en trabajos anteriores realizados sobre el sistema fluvial (Leiva *et al.*, 2018), y en otros estudios sobre la Cuenca Salí-Dulce (Isasmendi *et al.*, 2007). Las aguas se caracterizan con una tendencia ligeramente básica que coincide también con estudios geoquímicos en la cuenca, en la cual abundan los materiales de origen sedimentario (Fernández e Hidalgo, 2011), como es el caso de la Formación Río Salí, caracterizada por limolitas, arcilitas, calizas y yeso; que pueden explicar el aumento de las concentraciones de iones sulfato, calcio e hidrógeno, en función de la disolución del yeso (Rolandi *et al.*, 2011).

Se observa una disminución en algunos parámetros de calidad de aguas abajo del dique. La reducción artificial de caudales suele causar una disminución de la velocidad de corriente, de la profundidad de la columna de agua y del ancho húmedo; aumento de la sedimentación; y cambios en el régimen térmico y la química del agua (Dewson *et al.*, 2007). La diferenciación de los ensambles de macroinvertebrados entre los sitios de muestreo aguas arriba y aguas abajo, también es consistente con numerosos estudios. Mueller *et al.*, 2011 describen como las presas y diques provocan cambios en los ensambles de invertebrados, perifiton y macrófitas; Krajenbrink *et al.*, 2019 expresan que las presas modifican una amplia gama de factores abióticos y bióticos.

Aguas abajo disminuyó el número de grupos taxonómicos, presumiblemente relacionado a la menor diversificación de hábitats entre los tramos, ya que aguas arriba hay tanto hábitats someros como profundos, y presencia de abundante vegetación de ribera que provee ingreso de materia orgánica, ramas, raíces, al curso de agua. Estudios precedentes establecieron que los quironómidos y oligoquetos son dominantes en el río Dulce, siendo la morfología del curso fluvial y la granulometría del sustrato variables determinantes para la distribución de los taxones (Leiva *et al.*, 2020). La diferenciación de la estructura, con dominancia de oligoquetos aguas arriba y de quironómidos aguas abajo también resulta coincidente con estudios anteriores donde se analiza el efecto de la sustracción de caudales en Los Quiroga, aunque sobre tramos más extensos del sistema fluvial (Leiva *et al.* 2017). Aguas abajo del dique, bajo los efectos de la sustracción de caudal que provoca hábitats con menor profundidad y mayor concentración de sólidos predominan los

quironómidos, siendo esta reconocida como una familia bentónica tolerante al estrés ecológico (Salmaso *et al.*, 2017). Bivalvos y odonatos también han sido reportados en trabajos anteriores (Leiva *et al.*, 2017, 2020), aunque siempre en hábitats específicos y no distribuidos ampliamente como ocurre con los quironómidos y oligoquetos.

Se concluye que la presencia del dique influye sobre la estructura taxonómica y riqueza de los ensambles de macroinvertebrados bentónicos, lo cual se evidencia aun a una escala muy gruesa de resolución taxonómica como la utilizada en este trabajo. Debido a la importancia que los ensambles bentónicos tienen para el desarrollo de herramientas de biomonitoreo de calidad de aguas y otros impactos, resulta de interés continuar las investigaciones para establecer con mayor precisión cómo responden a diferentes factores de estrés en el río Dulce. Los próximos estudios se enfocarán en establecer la composición de los ensambles a una resolución taxonómica más fina, y analizar la estructura en relación a la granulometría del sedimento, además de las variables de calidad de aguas.

5. AGRADECIMIENTOS

El trabajo se desarrolló en el marco del proyecto 23/B148 (FCF-UNSE) con financiamiento del Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (CICYT-UNSE) y contando la primera autora con una beca Estímulo a las Vocaciones Científicas otorgada por el Consejo Interuniversitario Nacional (Becas EVC-CIN).

6. REFERENCIAS

- American Public Health Association. *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Ediciones Díaz de Santos S.A., España. 1992.
- Arthington, A. H., Naiman, R. J., McClain, M. E., & Nilsson, C. Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: New challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55(1), 1–16. 2010.
- Brown, A., & Pacheco, S. Propuesta de actualización del mapa ecorregional de la Argentina. *La situación ambiental argentina 2005* (pp. 28–31). 2005.

- Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B. and Tukey, P. A. *Graphical Methods for Data Analysis*, Belmont, CA: Wadsworth. 1983.
- Csiki, Shane, and Bruce L. Rhoads. "Hydraulic and Geomorphological Effects of Run-of-River Dams." *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 34, no. 6: 755–80. 2010.
- Dewson, Z., James, A. B. W., & Death, R. G. A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(3), 401–415. 2007.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. InfoStat 2018. 2018.
- Fernández, D.S., Hidalgo, M. del V. Análisis geoquímico ambiental de la Cuenca del río Lules mediante el uso de muestras de sedimentos de corriente, en: Fernández, H.R., Barber, H. (Eds.), *La Cuenca Del Río Lules: Una Aproximación Multidisciplinaria a Su Complejidad*. pp. 33–46. 2011.
- Isasmendi, S. C., Tracanna, B. C., Vendramini, F. H., Navarro, M. G., Barrionuevo, M. A., & Meoni, G. S. Caracterización física y química de ríos de montaña (Tafí del Valle-Tucumán-Argentina). *Limnetica*, 26 (1): 129-142. 2007.
- Krajenbrink, H. J., Acreman, M., Dunbar, M. J., Hannah, D. M., Laizé, C. L. R., & Wood, P. J. Macroinvertebrate community responses to river impoundment at multiple spatial scales. *Science of the Total Environment*, 650, 2648–2656. 2019.
- Leiva, M., Ledesma, A., Wottitz, A., Diodato, L. Evaluación físico-química de calidad de aguas del río Dulce, Santiago del Estero. Libro de resúmenes de las XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Pp. 327. 2018.
- Leiva, M., Marchese, M., & Diodato, L. Structure, distribution patterns and ecological responses to hydrological changes in benthic macroinvertebrate assemblages in a regulated semi-arid river: baseline for biomonitoring studies. *Marine and Freshwater Research*, Online, 1–13. 2020.
- Leiva, M., Marchese, M., Diodato, L., & Tévez, H. Assessing disruption of longitudinal connectivity on macroinvertebrate assemblages in a semiarid lowland river. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 29. 2017.
- Mueller, M., Pander, J., & Geist, J. The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. *Journal of Applied Ecology*, 48(6), 1450–1461. 2011.
- Oksanen, J., G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. Mcglinn, P.R. Minchin, R.B. O'hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M. Henry, H. Stevens, E. Szoecs & H. Wagner. *Vegan: Community Ecology Package*, GitHub.R package version 2.5-2, The Comprehensive R Archive Network. <https://github.com/vegandevs/vegan>, <https://cran.r-project.org>. 2018.
- Prat-Fornells, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. *Los Macroinvertebrados Como Indicadores De Calidad De Las Aguas*. En: Domínguez, E. y Fernández, H.R. (Eds.) *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos*: pp. 631-654. Tucumán, 2009.
- R CORE TEAM. The R Project for Statistical Computing. R: A language and environment for statistical computing. <https://www.r-project.org/>. 2020.
- Rolandi, M. L., Galindo, M. C., Fernandez, H. R., & Hidalgo, M. del V. *Equilibrios de solubilidad en la Cuenca Media del Río Lules*. En: H. R. Fernández & H. M. Barber (Eds.), *La cuenca del Río Lules: una aproximación multidisciplinaria a su complejidad* (pp. 47–59). 2011.
- Rothenberger, M. B., Hoyt, V., Germanoski, D., Conlon, M., Wilson, J., & Hitchings, J. A risk assessment study of water quality, biota, and legacy sediment prior to small dam removal in a tributary to the Delaware River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(7). 2017.
- Rubí Bianchi, A., & Cravero, S. A. C. Atlas climático digital de la república argentina. *Ediciones INTA-Estación Experimental Agropecuaria Salta*: vol. 51. 2010.
- Salmaso, F., Crosa, G., Espa, P., Gentili, G., Quadroni, S., & Zaccara, S. Benthic macroinvertebrates response to water management in a lowland river: effects of hydro-power vs irrigation off-stream diversions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1). 2017.

Biomarcadores de estrés oxidativo en el líquen *Parmotrema austrosinense* expuesto a tránsito vehicular

Jalabert, Micaela¹ y Cañas, Martha Susana²

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.
mika_ja103@hotmail.com

(2) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - CITCA (CONICET – UNCA), Universidad Nacional de Catamarca.
marthacanas@tecno.unca.edu.ar

RESUMEN

Los líquenes son sensibles a la contaminación atmosférica y muy apropiados como biomonitores de calidad del aire. El objetivo de este trabajo fue identificar en *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale biomarcadores del efecto producido por polutantes de origen vehicular, mediante el análisis de un set de parámetros químicos asociados a estrés oxidativo. Para ello, se analizaron pigmentos fotosintéticos, malondialdehído, polifenoles solubles totales y ácido lecanórico en talos trasplantados a un sitio urbano de alto tránsito en San Fernando del Valle de Catamarca. Así mismo, estos metabolitos se analizaron en líquenes recolectados en ambientes poco antropizados (líquenes *in situ*), así como en talos trasplantados a los sitios de recolección. Con este diseño se evaluó la variabilidad a campo de los compuestos, así como los efectos causados por los distintos factores de estrés (trasplante y polutantes). El estudio con líquenes *in situ* sugirió varios parámetros como potenciales biomarcadores en *P. austrosinense*. No obstante, solo carotenoides y agua se vieron modificados en respuesta a polutantes vehiculares en talos expuestos al sitio urbano, pudiendo diferenciarse este efecto de aquel producido por el trasplante. Estos resultados indicarían que ambos parámetros son adecuados como biomarcadores de estrés oxidativo producido por polutantes de origen vehicular en esta especie.

ABSTRACT

Lichens are sensitive to air pollution and very suitable as air quality biomonitors. The aim of this work was to identify in *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale biomarkers of the effect produced by pollutants of vehicular origin, through the analysis of a set of chemical parameters associated to oxidative stress. For this purpose, there were analyzed photosynthetic pigments, malondialdehyde, total soluble polyphenols and lecanoric acid in thalli transplanted to a high traffic urban site in San Fernando del Valle de Catamarca. Likewise, these metabolites were analyzed in lichens collected in little anthropized environments (lichens *in situ*), as well as in thalli transplanted to the collection sites. With this design, it was evaluated the variability of compounds to field, as well as the effects caused by different stress factors (transplant and pollutants). The study with lichens *in situ* suggested several parameters as potential biomarkers in *P. austrosinense*. However, only carotenoids and water content were modified in response to vehicular pollutants in thalli exposed to the urban site, being able to differentiate this effect from that produced by the transplant. These results would indicate that both parameters are adequate as biomarkers of oxidative stress produced by pollutants of vehicular origin in this species.

Palabras claves: biomonitorio - calidad de aire – líquen – respuesta química

Keywords: biomonitoring – air quality – lichen – chemical response

1. INTRODUCCIÓN

Los líquenes son sensibles a la contaminación del aire y por lo tanto son muy apropiados como

biomonitores de calidad ambiental. Esto es debido a su gran dependencia de la atmósfera para la nutrición y a la falta de cutícula cerosa y estomas, lo que permite que muchos

contaminantes sean absorbidos por toda la superficie del talo (Bergamaschi *et al.*, 2007).

En general, la exposición de seres vivos a polutantes atmosféricos conduce, entre otros, a la formación de especies reactivas del oxígeno (ERO) en el interior de las células. Las mismas pueden causar un daño considerable mediante el ataque a los ácidos nucleicos, lípidos y proteínas. En particular, el radical oxidrilo ($\cdot\text{OH}$) puede atacar casi todas las moléculas encontradas en las células vivas (Cuny *et al.*, 2002).

En líquenes, la formación de ERO no ha sido cuantificada directamente, aunque el efecto producido (Cuny *et al.*, 2002; Valencia-Islas *et al.*, 2007) y los mecanismos de defensa que induce (Silberstein *et al.*, 1996) pueden ser utilizados como biomarcadores de estrés oxidativo.

Hay evidencias de que la oxidación del SO_2 es un proceso dominante causante de daño en líquenes. Kong *et al.* (1999) observaron un incremento en la feofitización de las clorofilas α y β ante la exposición al SO_2 . Así mismo, la disminución del contenido de clorofilas ha sido atribuida al efecto decolorante del SO_2 , siendo el fotobionte el primero en dañarse sin la protección del sistema antioxidante (Liu *et al.*, 1984). En este sentido, el contenido de clorofilas y el índice de feofitización (González *et al.*, 1996; Cañas, 2001) han mostrado ser buenos indicadores de estrés líquénico causado por polutantes atmosféricos.

Muchos autores han utilizado con éxito el contenido de MDA y otros productos de peroxidación como los hidroperoxidienos conjugados (HPCD) como biomarcadores para investigar los efectos de la contaminación ambiental en líquenes (González y Pignata, 1994; González *et al.*, 1996; Cañas, 2001; González *et al.*, 2012).

Los antioxidantes que eliminan ERO también han sido usados como biomarcadores (Weissman *et al.*, 2006; Oztetik y Cicek, 2011). Entre ellos, los carotenoides como el β -caroteno, que actúan como antioxidantes en las fases lipídicas mediante la extinción del $^1\text{O}_2$ y las moléculas con electrones excitados producidos por reacciones de fotoexcitación o de quimioexcitación (Cuny *et al.*, 2002).

Como respuesta a ERO, numerosos estudios han demostrado actividad antioxidante de los compuestos fenólicos en plantas superiores. Los líquenes contienen gran cantidad de estos

compuestos, los cuales poseen distintas actividades biológicas altamente comprobadas. Sin embargo, pocas investigaciones se han referido a la capacidad antioxidante que poseen los mismos (Kosanić *et al.*, 2011); así como a los posibles roles (Valencia-Islas *et al.*, 2007) y/o cambios en la concentración que puedan surgir como respuesta a la polución (Cuny *et al.*, 2002). Sobre la base de su respuesta química, se ha establecido que *Parmotrema austrosinense* es una especie sensible a la polución atmosférica y por tanto adecuada como bioindicadora de calidad de aire (Cañas, 2001). Por tal motivo, esta especie se ha empleado en estudios de biomonitorio urbano en Córdoba (Cañas, 2001) y en Catamarca (Córdoba *et al.*, 2012; Cañas *et al.*, 2013).

En *P. austrosinense* empleado como biomonitor, usualmente se cuantifica un set de metabolitos tales como el contenido de clorofilas y feofitinas, carotenoides, el contenido de MDA y de ácido lecanórico (Cañas, 2001; Córdoba *et al.*, 2012; Cañas *et al.*, 2013). Si bien estos parámetros reflejan en el líquen el efecto producido por la exposición a distintos niveles de calidad atmosférica, resulta necesario aun establecer cuál es la respuesta química específica de *P. austrosinense* al estrés oxidativo producido por tránsito vehicular.

En este trabajo se analiza el contenido de pigmentos fotosintéticos, MDA, polifenoles solubles totales (FST) y ácido lecanórico en talos de *P. austrosinense* trasplantados a un sitio urbano de alto tránsito vehicular en San Fernando del Valle de Catamarca (SFVC). Así mismo, estos metabolitos se analizan en líquenes recolectados en ambientes poco antropizados (líquenes *in situ* y nivel basal), así como en talos trasplantados a los mismos sitios de recolección. Con este diseño se evalúa, entonces, la variabilidad *a campo* de los compuestos, así como los efectos causados por los distintos factores de estrés líquénico (trasplante y polutantes), para estimar su potencial empleo como biomarcadores de estrés oxidativo por polución de origen vehicular en *P. austrosinense*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

Para el estudio de líquenes *in situ*, se seleccionaron seis sitios ubicados en el faldeo oriental de las sierras de Ambato, Catamarca (Fig.

1). Fitogeográficamente, esta área corresponde a la Provincia Chaqueña, Distrito del Chaco Serrano (Cabrera, 1976), el cual es el más húmedo en Catamarca, con precipitaciones que superan los 500 mm anuales.

Para el estudio con trasplante, la recolección del material liquénico se realizó dentro del área anteriormente descrita, en un sitio ubicado aproximadamente a los 27° 58' S y 65° 51' O, a una altura de 1138 m s.n.m. El sitio urbano se localizó en el área céntrica de la ciudad de SFVC, ubicada a los 28° 28' 02" lat. S y 65° 46' 51" long. O, a una altura de 545 m s.n.m. en el denominado Valle Central de Catamarca. Esta ciudad se encuentra ubicada en la Región del Chaco Árido, Provincia Fitogeográfica Chaqueña. El clima es semi-árido, con un promedio de precipitación anual entre los 300 y 360 mm y concentración estival. La temperatura media anual para la ciudad capital es de 20,2 °C. Los vientos predominantes son del NEE y del S y SO.



Figura 1: Área de estudio. SC (Sitio Control), SR (Sitio de recolección, muestra basal) y SU (Sitio Urbano).

2.2. Material liquénico y muestreo

En el estudio con líquenes *in situ* se recolectaron tres "pools" independientes de talos de *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale para cada sitio (n = 3). Los talos fueron tomados al azar en un número de 10 a 20 por forófito.

De igual manera se procedió a fin de obtener los niveles basales de cada parámetro para los estudios con trasplante. La muestra basal estuvo conformada por parte del material proveniente del sitio de recolección a partir del cual se prepararon las bolsas liquénicas.

Para el trasplante, se empleó la técnica descrita por González y Pignata (1994). Las bolsas liquénicas (unidades experimentales constituidas por varios talos incluidos en una bolsa de red de

nylon) fueron trasplantadas a 3 m de altura en el sitio de recolección y en un sitio urbano de alto tránsito vehicular (3 bolsas por sitio; n=3). Al finalizar el período de exposición fueron retiradas y preparadas para su conservación.

2.3. Determinación del contenido de agua

Dado que para interpretar procesos fisiológicos es necesario conocer el grado de hidratación de los talos liquénicos, se calculó el contenido de agua de las muestras. Para ello, 1 g de material fresco fue colocado en estufa a 60 ± 2 °C hasta alcanzar peso constante. El contenido de agua fue calculado por diferencia entre el peso fresco (P.F.) y el peso seco (P.S.) y se expresó como g/g P.F.

2.4. Análisis químicos

La cuantificación de pigmentos fotosintéticos se realizó espectrofotométricamente. Las concentraciones de carotenoides, clorofilas (Clor. a y Clor. b) y feofitinas (Feof. a y Feof. b) se analizaron según Córdoba *et al.* (2012). Se obtuvieron, además, el cociente Clor. b/Clor. a y el índice de feofitinización Feof. a/Clor. a.

La determinación de malondialdehído (MDA) se realizó mediante un método colorimétrico, de acuerdo a González *et al.* (1996).

La concentración de fenoles solubles totales (FST) se analizó mediante la metodología descrita por Kosanić *et al.* (2011), aunque levemente modificada según Acosta *et al.* (2017). La concentración de ácido lecanórico se analizó de acuerdo a la técnica espectrofotométrica propuesta por Cañas (2001).

Todas las determinaciones se realizaron mediante un espectrofotómetro Labomed UV-2502.

2.5. Análisis estadísticos

En el estudio con líquenes *in situ* y para cada sitio de recolección, las determinaciones químicas se realizaron por triplicado en cada uno de los "pools" de talos recolectados. Para los talos trasplantados, las mismas se realizaron en 3 submuestras de cada bolsa liquénica.

Se realizó análisis de la varianza (ANOVA), a los fines de estimar: (a) diferencias entre sitios (líquenes *in situ*); (b) efecto trasplante; (c) efecto exposición a polutantes.

Para las muestras de líquenes *in situ* se analizaron, además, las fuentes de variabilidad a

campo de cada uno de los parámetros químicos cuantificados. Esto se realizó a través del cálculo del cociente "señal/ruido", de acuerdo a Wolterbeek *et al.* (1996):

$$\text{Señal/ruido} = \frac{\text{varianza interpoblacional}}{\text{varianza intrapoblacional}}$$

Donde,

Varianza interpoblacional: varianza de las medias aritméticas poblacionales ($n = 6$). Estima la varianza general del muestreo.

Varianza intrapoblacional: Cuadrado Medio del Error (CME) de la Tabla de ANOVA (análisis de la varianza a un criterio de clasificación para el factor "población". Estima la varianza dentro de cada población para cada especie.

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software InfoStat (versión 2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estudio de la variabilidad natural de los metabolitos analizados en *P. austrosinense*: Estudio con líquenes *in situ*.

La estimación de la respuesta de una especie a contaminación atmosférica a través del empleo de parámetros químicos, requiere de un conocimiento previo a cerca de la variabilidad natural de los mismos. Así, el estudio químico de líquenes de ambientes prístinos permite analizar el grado de dependencia de determinados parámetros respecto de algunas características ambientales distintas a la contaminación. Esta información es de suma importancia a los fines de evitar interpretaciones erróneas al evaluar la respuesta química de una especie a los contaminantes del aire en estudios a campo y, más aún, en trabajos de biomonitorio / bioindicación a gran escala. Además, la detección de parámetros cuyos niveles sólo responden a la presencia de contaminantes atmosféricos permite su utilización como biomarcadores (Cañas, 2001). En la Tabla 1 se presentan los valores de concentración obtenidos para cada parámetro químico cuantificado en líquenes *in situ*. Así mismo, se incluyen los valores obtenidos para los cocientes entre pigmentos, usualmente empleados como biomarcadores.

En *P. austrosinense*, se observaron diferencias significativas entre sitios para el contenido de feofitina a, MDA y ácido lecanórico, lo cual estaría indicando cierta variabilidad natural para estos parámetros. Resultados similares se

obtuvieron en un estudio poblacional de *P. austrosinense* en las sierras de Córdoba (Cañas 2001), aunque en el mismo se detectó variabilidad para todos los pigmentos fotosintéticos. Tanto MDA (Wise y Naylor, 1987) como algunos ácidos liquénicos (Rundel, 1969; Hamada, 1982) son metabolitos cuyas fluctuaciones se han asociado a variaciones en la intensidad de luz y de la temperatura del ambiente donde crecen los líquenes. Probablemente, pequeñas diferencias micro ambientales entre los sitios de muestreo hayan resultado en diferentes concentraciones de metabolitos que resultan de la oxidación de membranas biológicas (MDA) o que estén involucrados en mecanismos protectivos contra diferentes estresores ambientales (ácidos liquénicos).

Tabla 1. Parámetros cuantificados en *P. austrosinense in situ*. Los valores resaltados corresponden a aquellos que mostraron diferencias significativas entre sitios de muestreo (ANOVA; $p < 0,05$). Pigmentos en mg/g P.S., agua en g/g P.F., MDA en $\mu\text{mol/g P.S.}$, PFT en mmol pirocatecol equiv./g P.S., ác. lecanórico en mg/g P.S.

VARIABLE	MEDIA (D.E.)	RANGO (min- max)
Carotenoides	0,0484 (0,0072)	0,0326 - 0,0612
Clor. a	0,1886 (0,0277)	0,1682 - 0,2427
Clor. b	0,0956 (0,0127)	0,0856 - 0,12
Feof. a	0,2468 (0,0495)	0,1984 - 0,3277
Feof. b	0,1164 (0,0466)	0,0652 - 0,1784
Clor. b/Clor. a	0,5070 (0,0413)	0,457 - 0,5784
Feof. a/Clor.a	1,3160 (0,1738)	1,115 - 1,6062
Agua	0,0850 (0,0087)	0,0743 - 0,1103
MDA	0,8260 (0,1143)	0,6476 - 1,0915
PFT	0,5924 (0,0384)	0,5383 - 0,6775
Ác. lecanórico	0,4299 0,0667)	0,3685 - 0,5516

En los estudios con líquenes *in situ*, resulta importante comparar para cada parámetro químico la variabilidad dentro de cada sitio con la variabilidad general para esta especie, estimada a partir de todos los datos obtenidos en los seis sitios de recolección. De la relación entre la variabilidad general (varianza interpoblacional o "señal") y la variabilidad intrapoblacional (varianza intrapoblacional o "ruido") surge el cociente señal/ruido como herramienta de análisis. En general, este cociente fue

relativamente bajo para todos los parámetros analizados (Tabla 2), lo cual estaría indicando que los mismos se ven poco afectados por las condiciones microambientales de cada sitio de recolección.

En concordancia con los resultados del ANOVA, feofitina a, MDA y ácido lecanórico fueron los parámetros que mostraron los mayores valores de cociente señal/ruido. Estos parámetros serían los más sensibles a las condiciones microambientales, y por tanto recomendables para biomonitorio de calidad ambiental con esta especie mediante líquenes *in situ*. Por el contrario, y de acuerdo a los menores valores del cociente señal/ruido observados, carotenoides, clorofila a, clorofila b, feofitina b, clorofila b/clorofila a, feofitina a/clorofila a, agua y PFT serían parámetros potencialmente marcadores de estrés por contaminación atmosférica en estudios con trasplante; ya que cualquier variación en sus concentraciones podría atribuirse al efecto de polutantes sobre esta especie, más que a otros factores ambientales. Estos resultados son particularmente importantes para PFT, ya que en este estudio por primera vez se analiza su variabilidad a campo en *P. austrosinense*.

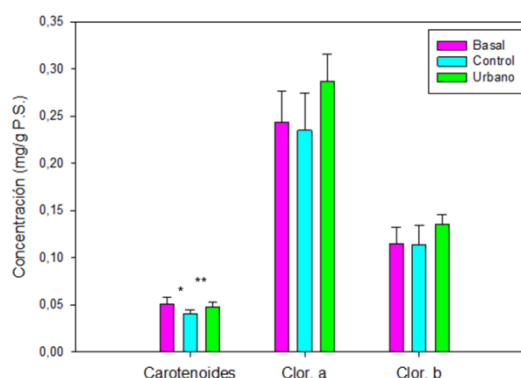
Tabla 2. Cociente señal/ruido para las variables cuantificadas en *P. austrosinense*. Var. Inter: varianza inter poblacional; Var. Intra: varianza intrapoblacional.

VARIABLE	Var. Inter $\times 10^{-5}$	Var. Intra $\times 10^{-5}$	Señal/ ruido
Carotenoides	2,1739	4,706	0,46
Clor. a	76,948	112	0,69
Clor. b	16,02	62,76	0,25
Feof. a	245,512	211	1,16
Feof. b	217,403	220	0,99
Clor. b/Clor. a	170,552	314	0,54
Feof. a/Clor. a	3625,17	5088	0,71
Agua	3,5254	6,349	$5,55 \times 10^{-4}$
MDA	978,129	627	1,56
PFT	51,861	144	0,36
Ác. lecanórico	7768,99	2090	3,72

3.2. Evaluación de la respuesta química de *P. austrosinense* al estrés provocado por trasplante y por exposición a polutantes de origen vehicular

Cuando se emplean líquenes como bioindicadores/biomonitores de calidad de aire en áreas urbanas donde están ausentes, se recurre al trasplante de talos desde su área natural hacia los sitios de monitoreo. Ello requiere de un conocimiento previo acerca de la influencia que ejerce el trasplante sobre la respuesta que se quiere medir, ya que las muestras expuestas mediante esta técnica a atmósferas contaminadas sufren simultáneamente ambos tipos de estrés.

A fin de analizar separadamente la respuesta química de *P. austrosinense* a ambos factores de estrés, se compararon químicamente, por un lado, talos trasplantados durante tres meses al sitio de recolección (muestra control) con material fresco recolectado al momento de retirar las muestras trasplantadas (nivel basal); y por otro, muestra control con talos trasplantados durante el mismo



período a un sitio de alto tránsito en la ciudad (muestra urbana).

Figura 2. Concentración de carotenoides y clorofilas en *P. austrosinense* para la muestra basal y en talos trasplantados al sitio de recolección (control) y a un sitio en S.F.V. de Catamarca (urbano). Anova: * Basal vs. Control ($p < 0,05$); ** Control vs. Urbano ($p < 0,01$).

De los parámetros analizados (Fig. 2-6), solo carotenoides y agua se vieron modificados en respuesta a los factores de estrés analizados (efecto producido por trasplante y efecto producido por polutantes atmosféricos de origen vehicular). El contenido de carotenoides fue significativamente inferior en la muestra control

respecto del nivel basal. Si bien estos compuestos forman parte del sistema antioxidante de defensa, según Asada y Takahashi (1987) pueden ser descompuestos en presencia de oxidantes producidos bajo condiciones de estrés. Al comparar las muestras trasplantadas, se observó un contenido de carotenoides significativamente superior en talos trasplantados al sitio urbano respecto de la muestra control. Esto podría interpretarse como un mecanismo protector frente a contaminantes atmosféricos en *P. austrosinense*.

Los carotenoides junto al glutatión (GSH), tocoferol (vitamina E) y ascorbato (vitamina C), son antioxidantes de bajo peso molecular. Niveles bajos de ERO a menudo dan lugar a una respuesta adaptativa que implica un aumento de la actividad celular de estos antioxidantes (Weissman *et al.*, 2006). Por tanto, el elevado contenido de carotenoides en muestras liquénicas urbanas estaría indicando una respuesta de *P. austrosinense* al estrés oxidativo producido por polutantes atmosféricos en esta área.

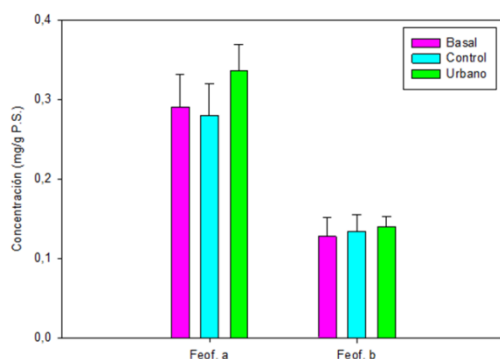


Figura 3. Concentración de feofitinas en *P. austrosinense* para la muestra basal y en talos trasplantados al sitio de recolección (control) y a un sitio en S.F.V. de Catamarca (urbano).

El contenido de agua fue significativamente mayor en la muestra control respecto del nivel basal. Un aumento en el contenido de agua producido por el trasplante de los talos ha sido observado previamente para esta especie (Cañas, 2001). El contenido de agua en talos trasplantados resulta de la combinación de diversos factores. Así, si bien las condiciones ambientales del microhábitat son más favorables para la retención de agua en los talos *in situ* (probablemente debido a condiciones de menor evaporación dentro del

mismo), el trasplante permite una hidratación más frecuente de los líquenes, tanto por la lluvia como por mayores niveles de humedad ambiental, debido a su situación de mayor exposición (Renhorn *et al.*, 1997).

Por otro lado, a manera de protección ante otras situaciones de estrés, se ha postulado que en líquenes, aunque temporariamente, las reservas hifales de agua actúan a la manera de un buffer para prevenir los cambios rápidos de humedad, y así lograr mantener la relativamente baja actividad de asimilación del alga (Blum, 1973). No se descarta que el aumento del contenido de agua en *P. austrosinense* por efecto de trasplante, se deba a un mecanismo de protección similar en los talos ante este tipo de stress.

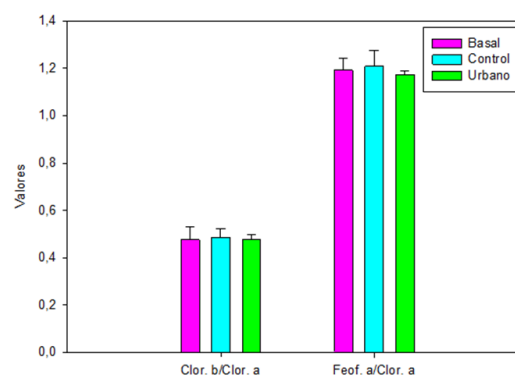


Figura 4. Valores de cocientes entre pigmentos en *P. austrosinense* para la muestra basal y en talos trasplantados al sitio de recolección (control) y a un sitio en S.F.V. de Catamarca (urbano).

En las muestras urbanas, por el contrario, se observó una disminución significativa del contenido de agua respecto de las muestras trasplantadas al sitio de recolección. De acuerdo a González *et al.* (2012) las oxidaciones que ocurren a nivel de membranas biológicas debido a la presencia de contaminantes atmosféricos resulta en un incremento en la pérdida de agua de los talos, entre otras alteraciones. Por tanto, los bajos niveles de contenido de agua en *P. austrosinense* trasplantada al sitio urbano estaría indicando cierto grado de estrés oxidativo en esta especie debido a polutantes de origen vehicular. Cañas (2001) observó en *P. austrosinense* modificaciones en el contenido de pigmentos fotosintéticos y de productos de peroxidación lipídica al ser trasplantada a sitios urbano-industriales en la ciudad de Córdoba. Así mismo,

Córdoba *et al.* (2012) observaron bajos contenidos de ácido lecanórico en esta especie trasplantada a sitios de bajo tránsito en SFVC pero con otras fuentes de polución atmosférica cercanas. Por su parte, Acosta *et al.* (2017) observaron una disminución del contenido de FST en *P. austrosinense* trasplantada a sitios de SFVC considerados de baja calidad de aire. A diferencia de los resultados anteriores, en este estudio *P. austrosinense* no mostró efecto producido por polutantes atmosféricos en el sitio urbano en SFVC para la mayoría de los parámetros analizados, a excepción del contenido de carotenoides y del contenido de agua. El estrés oxidativo en esta especie debido particularmente a la exposición al tránsito vehicular sería, por tanto, poco evidente a partir de los parámetros de respuesta analizados.

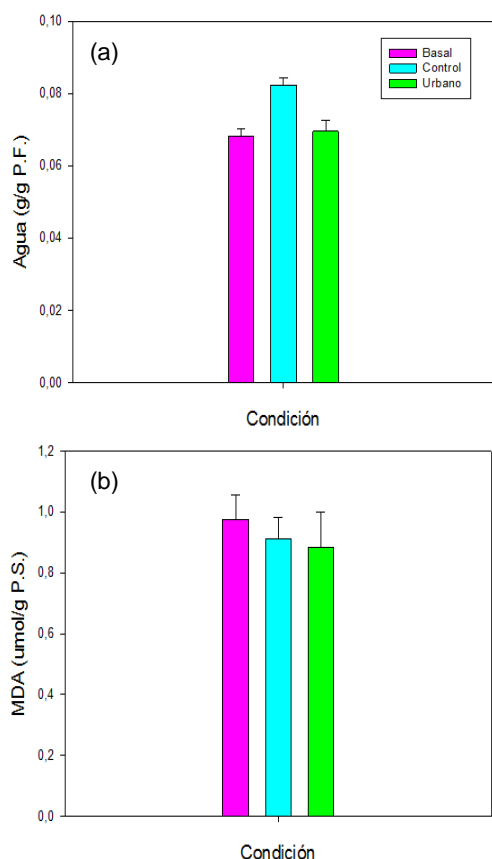


Figura 5. Contenido de agua y MDA en *P. austrosinense* para la muestra basal y en talos trasplantados al sitio de recolección (control) y a un sitio en S.F.V. de Catamarca (urbano).

4. CONCLUSIONES

El estudio con líquenes *in situ* sugirió para *P. austrosinense* varios parámetros potencialmente marcadores de estrés por polución atmosférica a ser cuantificados en estudios con trasplante. No obstante ello, solo carotenoides y agua se vieron modificados como respuesta al efecto producido por polutantes atmosféricos de origen vehicular en talos expuestos al sitio urbano.

Si bien el contenido de agua y de carotenoides en *P. austrosinense* mostró un efecto producido por el trasplante, el hecho de que el mismo operara en sentido opuesto a aquel producido por polutantes, permitió detectar cierto grado de estrés oxidativo en esta especie atribuido solo a la presencia de polutantes provenientes de tránsito.

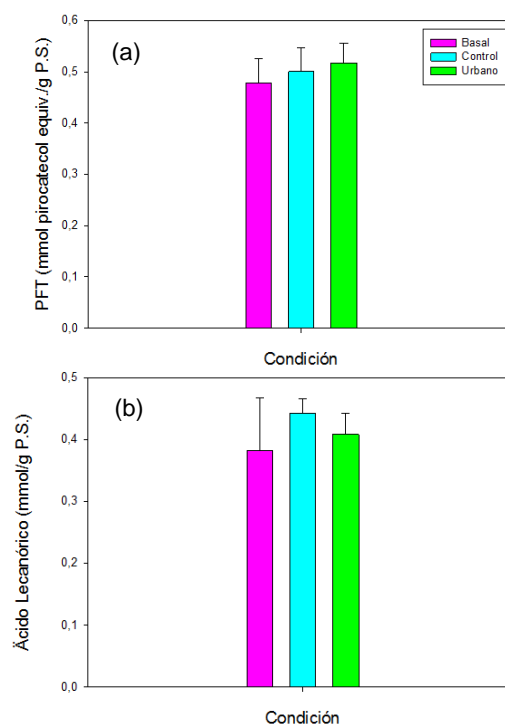


Figura 6. Contenido de PFT y ácido lecanórico en *P. austrosinense* para la muestra basal y en talos trasplantados al sitio de recolección (control) y a un sitio en S.F.V. de Catamarca (urbano).

Estos resultados, sumados a los menores valores del cociente señal/ruido observados para carotenoides y agua en su ambiente natural indicarían que ambos son parámetros adecuados como biomarcadores del efecto producido por

polutantes de origen vehicular en *P. austrosinense*.

5. REFERENCIAS

- Acosta, W.D., Hernández, J.M., Cañas, M.S. Contenido de fenoles solubles totales en el biomonitor *Parmotrema austrosinense* trasplantado a San Fernando del Valle de Catamarca, *Acta de Trabajos Completos del 11º Encuentro del "Centro Internacional de Ciencias de la Tierra"*, 10-20, 2017.
- Asada, K., Takahashi, M. Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. En: *Photoinhibition*, Elsevier, Amsterdam, 228-280, 1987.
- Bergamaschi, L., Rizzio, E., Giaveri, G., Loppi, S., Gallorini, M. Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site. *Environmental Pollution*, 148, 468-476, 2007.
- Blum, O.B. Water relations, En: *The Lichens*, Academic Press, New York, 381-400, 1973.
- Cabrera, A.L. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganadería, Tomo II, Cap. I (1), VI, ACME, Buenos Aires, 1-85, 1976.
- Cañas, M.S. Respuesta química de tres especies líquénicas a contaminación atmosférica. Selección de parámetros para bioindicación, Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Córdoba, 2001.
- Cañas, M.S., Ocampo, A.I., Mohaded Aybar, C.B., Jasan, R.C., Palomeque, L.I., Plá, R.R., Moyano, R.G., Coronel, R.J. Evaluación de la calidad del aire para el logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca: Aplicación de biosensores, ECU-UNCA, Catamarca, 2013.
- Córdoba, S. K., Ocampo, A.I., Moyano, R.G., Cañas, M.S. Análisis del contenido de ácido lecanórico y pigmentos fotosintéticos en líquenes trasplantados a San Fernando del Valle de Catamarca. En: *Producción Científica de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas-III*, ECU-UNCA, 87-94, 2012.
- Cuny, D., Pignata, M.L., Kranner, I. Beckett, R. Biomarkers of pollution-induced oxidative stress and membrane damage in lichens. En: *Monitoring with lichens – Monitoring lichens*, Wales, Kluwer Academic Publisher, 97-110, 2002.
- González, C.M., Pignata, M.L. The influence of air pollution on soluble proteins, chlorophyll degradation, MDA, sulphur and heavy metals in a transplanted lichen, *Chemistry and Ecology*, 9, 105-113, 1994.
- González, C.M., Casanovas, S.S., Pignata, M.L. Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Ramalina ecklonii* (Spreng.) Mey. and Flot. in Córdoba, Argentina, *Environmental Pollution*, 91(3), 269-277, 1996.
- González, C.M., Lingua, M., Gudiño, G.L. Evaluación de la calidad atmosférica sobre una sección de la cuenca del río Suquía (Córdoba, Argentina) mediante el empleo del biomonitor *Usnea amblyoclada*, *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(4), 311-322, 2012.
- Hamada, N. The effect of temperature on the content of the medullary depsidone salazinic acid in *Ramalina siliquosa* (lichens), *Canadian Journal of Botany*, 60, 383-385, 1982.
- Kong, F.X., Hu, W., Chao, S.Y., Sang, W.L., Wang, L.S. Physiological responses of the lichen *Xanthoparmelia mexicana* to oxidative stress of SO₂, *Environmental and Experimental Botany*, 42, 201-209, 1999.
- Kosanić, M., Ranković, B., Vukojević, J. Antioxidant properties of some lichen species, *Journal of Food Science & Technology*, 48(5), 584-590, 2011.
- Liu, F.L., Mudd, J.B., Kozłowski, T.T. Responses of Plants to Air Pollution, Academic Press, Beijing, 202-234, 1984.
- Oztetik, E., Cicek, A. Effects of urban air pollutants on elemental accumulation and identification of oxidative stress biomarkers in the transplanted lichen *Pseudovernia furfuracea*, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(7), 1629-1636, 2011.
- Renhorn, K.E., Esseen, P.A., Palmqvist, K., Sundberg, B. Growth and vitality of epiphytic lichens. I. Responses to microclimate along a forest edge-interior gradient, *Oecologia*, 109, 1-9, 1997.
- Rundel, P.W. Clinal variation in the production of usnic acid in *Cladonia subtenuis* along light gradients, *Bryologist*, 72, 40-44, 1969.
- Silberstein, L., Siegel, B.Z., Siegel, S.M., Mukhtar, A., Galun, M. Comparative studies on *Xanthoria parietina*, a pollution-resistant lichen, and *Ramalina duriaei*, a sensitive species. II. Evaluation of possible air pollution-protection mechanisms, *Lichenologist*, 28, 367-383, 1996.

- Valencia-Islas, N., Zambrano, A., Rojas, J.L. Ozone reactivity and free radical scavenging behavior of phenolic secondary metabolites in lichens exposed to chronic oxidant air pollution from Mexico City. *Journal of Chemistry & Ecology*, 33, 1619–1634, 2007.
- Weissman, L., Fraiberg, M., Shine, L., Garty, J., Hochman, A. Responses of antioxidants in the lichen *Ramalina lacera* may serve as an early-warning bioindicator system for the detection of air pollution stress, *FEMS Microbiological Ecology*, 58, 41–53, 2006.
- Wise, R.R., Naylor, A.W. *The peroxidation of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrastructure. Plant Physiology*, 83, 272-277, 1987.
- Wolterbeek, H. Th., Bode, P., Verbug, T.G. Assessing the quality of biomonitoring via signal-to-noise ratio analysis, *The Science of the Total Environment*, 180, 107-116, 1996.

Desarrollo sostenible de la actividad minera en Jujuy

Lorenzone, Verónica D.^{1,2}

(1) *Facultad de Ingeniería- Universidad Nacional de Jujuy.*

vlorenzone@fi.unju.edu.ar

(2) *Secretaría de Minería e Hidrocarburos de Jujuy – Ministerio de Desarrollo Económico y Producción*

RESUMEN

Este trabajo tiene como propósito explicar en qué consiste el desarrollo sostenible, requisitos para aplicarlo a la actividad minera y cómo se está desarrollando en Jujuy, donde tenemos dos proyectos importantes de litio y dos yacimientos metalíferos.

Se recopiló información de autores sobre el tema, se realizó encuestas en Susques, entrevistas a profesionales de esas empresas mineras y al Director de Minería y Recursos Energéticos sobre informes ambientales aprobados.

Se concluye que está encaminado al desarrollo sostenible ajustado a la normativa ambiental minera (Decreto N°5772). Sin embargo, es necesario que el Estado provincial cuente con mecanismos más sencillos y eficaces de control por ejemplo, para el seguimiento de la gestión ambiental declarada en los informes ambientales y más expertos en el tema que trabajen interdisciplinariamente. Por ello, es importante que la Universidad Nacional de Jujuy y específicamente la Facultad de Ingeniería, formen profesionales con una mirada renovada de conformidad con las nuevas exigencias a la actividad minera. Hoy, para hablar de un buen arte minero, son esenciales una explotación racional y el menor impacto posible en el ambiente o en los mejores de los casos, contribuya a optimizarlo.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to explain what sustainable development consists of, requirements to apply it to mining activity and how it is developing in Jujuy, where we have two major lithium projects and two metal deposits.

Information was collected from authors on the subject, surveys were conducted in Susques, interviews with professionals from these mining companies and with the Director of Mining and Energy Resources on approved environmental reports. It is concluded that it is aimed at sustainable development adjusted to the mining environmental regulations (Decree No. 5772). However, it is necessary for the provincial State to have simpler and more effective control mechanisms, for example, for monitoring the environmental management declared in the environmental reports and more experts on the subject who work interdisciplinary. For this reason, it is important that the National University of Jujuy and specifically the Faculty of Engineering, train professionals with a renewed outlook in accordance with the new demands on mining activity. Today, to speak of a good mining art are essentials a rational exploitation and the least possible impact on the environment or that in the best of cases, it contributes to optimizing it.

Palabras clave SOSTENIBILIDAD – MINERÍA- AMBIENTAL

Keywords: SUSTAINABILITY – MINING - ENVIRONMENTAL

INTRODUCCIÓN

¿Desarrollo sostenible o desarrollo sustentable?

Como expresa Pujadas (2011) sustentable y sostenible se pueden usar y se seguirán usando con el mismo sentido, pero en inglés hay una sola palabra *sustainable*. El citado autor considera que es el término *desarrollo sostenible* el que se va a imponer. Una razón importante es que el Diccionario de la Real Academia, que es el árbitro autorizado para ayudar a entendernos en el mundo hispanoparlante, distingue las dos palabras:

- sustentable. adj. Que se puede sustentar o defender con razones.
- sostenible. 1. adj. Dicho de un proceso: Que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace, p. ej., un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes.

Esta última definición es similar a la que toma la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987. De esto ha tomado nota la mayoría de las organizaciones e individuos en todo el mundo de habla española, bajo el liderazgo de la División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

Concepto de desarrollo sostenible

El concepto de sostenibilidad, para el investigador Rojas (2010) apareció por primera vez en el “Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo”, conocido como Informe Brundtland de 1987, que presentó a la Organización de Naciones Unidas (ONU). En tal oportunidad se definió al desarrollo sostenible como aquel que “satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Para el autor, este concepto es el más adecuado a fin de evaluar un proceso minero ya que los recursos naturales minerales son limitados, su explotación tiene implicaciones en las generaciones actuales y futuras, no sólo por la disponibilidad, sino por el manejo de desechos y estériles.

El Desarrollo Sostenible se sustenta en tres partes: en el progreso social, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo económico, que seguidamente explicamos:

- Progreso Social: distribución adecuada del Producto Bruto (PB), salud – generalmente se mide por número de servicios sanitarios, servicios energéticos, agua potable, comunicaciones, etc, disminución del desempleo, educación, vivienda.
- Cuidado del Medio Ambiente: mantener los impactos al mínimo, controlar el accionar de todos los usuarios de un territorio y sus exigencias al sistema. El ambiente natural inalterado es bueno en sí mismo, pero una área protegida de un tamaño dado no debe drenar los magros recursos de un territorio o debe procurárselos por sí misma
- Desarrollo Económico: aumento del PB regional, renta de mano de obra calificada, aumento de las inversiones globales en el área, aumento de la renta per cápita.

En forma similar Richards (2002), manifiesta que el organismo de Recursos Naturales de Canadá (2001) ve en el desarrollo sostenible, la integración de consideraciones ambientales, sociales y económicas, como la clave para asegurar el mantenimiento de la calidad de vida y continuación de la creación de empleo, sin comprometer la integridad del ambiente natural o la habilidad de generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades.

La sostenibilidad de la industria minera descansa en tres bases que incluye aspectos, sociales, ambientales y económicos (Mining Journal, 2000 como se cita en Richards, 2002). Cada uno de estos aspectos debe ser considerado por separado, aunque una solución sostenible requiere una integración global de los tres aspectos.

Además, para que la sostenibilidad sea real se requiere de una cuarta base que son las políticas gubernamentales que adecue el cambio.

Sostenibilidad social

Para Richards (2002), la sostenibilidad social involucra más que la compensación por el uso de la tierra. Debe prestarse atención al desarrollo de la sociedad que existió previamente o que creció en torno a un sitio minero durante su evolución y particularmente después del cierre de la mina. El distribuir dinero simplemente no es una solución sostenible y las compañías mineras deben invertir recursos en infraestructura social (Ej. escuelas,

hospitales, desarrollo de industria secundaria y, sobre todo, entrenamiento técnico y administrativo) para asegurar que el dinero pagado en compensación no sea desperdiciado y que persista la inversión en el futuro de la sociedad una vez que inevitablemente la mina cierre.

Sin embargo, cada cultura y sociedad local es diferente y tiene distintas necesidades y expectativas, de modo que las soluciones deben ser a la medida; las recetas generales no funcionarían.

Sostenibilidad ambiental

Las minas modernas bien manejadas tienen un bajo impacto, según Richards (2002). Por ejemplo la calidad de las aguas liberadas de las minas en muchos países por ley deben cumplir estrictos requerimientos y en muchos casos deben ser más limpias que las aguas superficiales naturales o incluso pueden ser potables (Fountain, 1994; Hawley, 1999; Snit, 2000, como se cita en Richards, 2002). A pesar de ello, la percepción pública es que la minería es una industria sucia, una reputación derivada de desastres poco frecuentes, pero muy publicitados.

Sin embargo, comparados con la agricultura forestal y la expansión urbana el sello de la minería es mínimo. Por ejemplo en Columbia Británica, Canadá, la minería ha perturbado solo el 0,1% del área de la tierra en esa zona (Mining Association of British Columbia, 2001 como se cita en Richards, 2002), comparado con el 51,5% designado como tierra forestal y que ha sido explotada por madera en un 4% desde 1981 (British Columbia Ministry of Forest, 2000 como se cita en Richards, 2002).

Medidas simples, auto-impuestas de sentido común, pueden reducir muchos de los impactos, pero se requiere de nuevas regulaciones o una nueva ética de la industria para hacer cumplir prácticas más costosas, tales como la perforación sin liberación de barros o líquidos, lo cual reduce la posibilidad de contaminación por productos de sondajes (esta práctica ya se emplea en la industria petrolífera).

El impacto ambiental causado por la minería puede verse por ejemplo en: el impacto visual de un *open pit* (rajo) abierto o botadero de escombreras, en la destrucción de hábitat o ecosistemas y el potencial impacto químico de desechos mal contenidos o tratados.

Adicionalmente, la población local puede valorizar el territorio por sí mismo y por su historia cultural y puede sentirse incómoda con cualquier cambio, aunque ellos mismos sean compensados económicamente.

Una alternativa adicional es el concepto de utilización total de los recursos por el cual se utilizan todos los materiales extraídos. Debe establecerse sinergias con otras empresas, por ejemplo las de construcción, donde las rocas estériles podrían ser usadas como agregados o rellenos.

Sostenibilidad económica

Esto, según Richards (2002) tiene que ver con las ganancias, que las mineras puedan ver que los avances tecnológicos también son mejores desde el punto de vista ambiental, más económicos, y por lo tanto más rentables.

Del mismo modo la planificación creativa durante el cierre de minas puede dejar sitios que generen ganancias como recreativas, ambientales o industriales, las cuales pueden cubrir parte o incluso dar ganancias respecto la inversión de reclamación del terreno. También hay que tener en cuenta el tiempo y las consideraciones a largo plazo, para saber los costos durante la vida de una operación minera y posterior a ella, incluyendo los costos de reclamación y responsabilidades económicas posteriores al cierre (o potenciales ganancias).

A pesar de ello, Richards (2002), dice que la Editorial del Mining Journal (2001) destacó que la rentabilidad en los ambientes de inversión típicamente se mide en una escala de tres meses, correspondiente a los informes de rentabilidad que publican las compañías mineras privadas cuatro veces al año. Esto fuerza que los costos del cierre deban ser considerados como parte del estudio de factibilidad económica, y no sean una consideración de último minuto cuando las reservas y ganancias se terminen ante el inevitable término de la vida de la mina.

Interrelación entre la equidad, sustentabilidad ambiental y el crecimiento económico

Los mayores obstáculos se encuentran en la falta de indicadores para medir el desarrollo sostenible. En principio, ninguno de los tres objetivos del desarrollo sostenible (económico, ambiental y social) se mide actualmente con parámetros compatibles. Los indicadores empleados para

cuantificar cada objetivo no tienen un denominador común ni hay fórmulas de conversión universales. El crecimiento económico se mide con indicadores económicos, la equidad se determina sobre la base de parámetros sociales y la sostenibilidad ambiental se establece en términos físicos y biológicos. En consecuencia, cada uno de los tres objetivos se encuentra en diferentes planos de evaluación. Por su parte, el desarrollo sostenible depende, teóricamente, de los tres objetivos mencionados y, por lo tanto, es imposible cuantificarlo mientras no se disponga de parámetros compatibles.

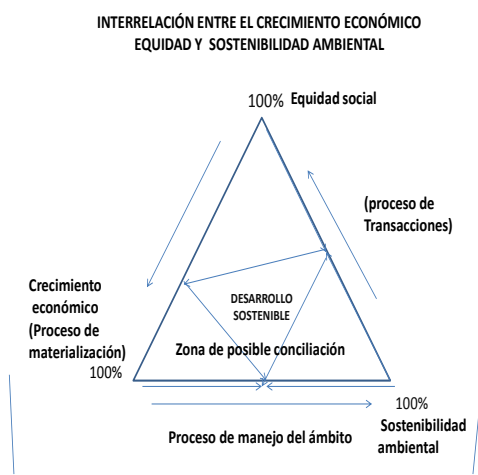


Figura. N° 1 Diagrama de Nijkamp (1990)

Esta situación se puede ilustrar con un triángulo (Fig.1) como lo hace Nijkamp (1990) con el triángulo de Möbius, en el que cada lado del triángulo representa un objetivo, las flechas ubicadas en los lados representan el sentido del logro de cada uno de los objetivos y el área central del triángulo representa la zona de posible conciliación entre éstos. Dicha zona equivale a la zona de equilibrio para el desarrollo sostenible. Al triángulo original de Nijkamp (1990) se le ha agregado en la base, el ámbito o espacio dentro del cual se pretende alcanzar el desarrollo sostenible.

Los tres objetivos pueden entrar en conflicto e influirse mutuamente, sobre todo a corto plazo. Por lo tanto, para lograr un óptimo general, hay que sacrificar los óptimos parciales. Por ejemplo, si el logro de cada objetivo se mide en una escala

de 0 a 100, el “óptimo” de logro de los tres objetivos en forma simultánea (para lograr el ansiado desarrollo sostenible) podría tener un “valor” de 60 en el caso del crecimiento económico, de 45 en el de la equidad y de 70 en el de la sostenibilidad ambiental.

La determinación de los porcentajes anteriores, que definen el área de equilibrio del desarrollo sostenible depende esencialmente de los acuerdos entre actores y, no se da automáticamente sino sobre la base de transacciones. Estas transacciones serán más equitativas en la medida en que se conozca el valor de los elementos, recursos y productos de un área, de las ventajas comparativas de distintas regiones y de los elementos y recursos naturales que se ven afectados. Este equilibrio, es además transitorio, ya que los modelos ideales de desarrollo sostenible varían constantemente debido a los adelantos tecnológicos, el descubrimiento de nuevos recursos y las cambiantes aspiraciones de los actores, por citar sólo algunas de las variables involucradas.

Datos sobre el desarrollo sostenible de la minería en Jujuy

Según Bernal, Martínez y Medina (2011), quienes realizaron un análisis del impacto económico de las actividades mineras en la economía de la provincia de Jujuy, en el periodo que abarca los años 1993-2009, concluyen que:

- Las actividades mineras aportaron a Jujuy unos 2.440 puestos de trabajo, siendo la Compañía Minera Aguilar la principal contratante de este sector, con alrededor de un 67% del empleo total del sector. Le sigue en importancia, la mina Pirquitas, que se ubica en segundo lugar.
- Los gastos inherentes a la operatoria comercial de las actividades mineras comprendieron: los salarios netos, los servicios que paga, el gasto a proveedores y otras contribuciones. Este enfoque representa, de alguna manera, las erogaciones que se introducen directamente en la economía local. En última instancia constituye una cuantificación del monto representativo en pesos que las actividades mineras aportan al mercado jujeño.

- A su vez, entre las erogaciones por impuestos nacionales y regalías, las actividades mineras transfirieron a las arcas nacionales y provinciales los siguientes montos en pesos: año 2006, 140,4 millones; año 2007, 217 millones; año 2008, 93,5 millones; y año 2009, 213 millones.
- La inversión fue creciendo a lo largo de los años, y alcanzó el máximo de unos 720 millones de pesos corrientes para el año 2009. Este incremento se explica por la introducción de la empresa Mina Pirquitas que, si bien comienza con inversiones en el año 2006, a partir del año 2007 retoma un fuerte proceso de inversiones.
- En lo que respecta a las exportaciones mineras, en la provincia hubo un aumento desde la década del noventa hasta la actualidad. En el período 1994-2009, contabilizaron unos 430 millones de dólares, La plata, el plomo y sus manufacturas, dado su aporte desde los inicios de los noventa, fueron los que más contribuyeron, con unos 130 millones de dólares. Siguió muy de cerca las ventas externas de sal, yeso, cal y cemento, con unos 110 millones de dólares y 86 millones de dólares, respectivamente.

Otro estudio económico, elaborado por Lóndero (2014) sobre el impacto de la minería en la provincia de Jujuy, resalta que:

- En la provincia de Jujuy, se impone profundizar el conocimiento de la minería. Conocer sus avances tecnológicos y la transferencia de criterios de sostenibilidad a las políticas de estado, para satisfacer la demanda de materias primas industriales.
- El incremento de la actividad minera en la provincia es inocultable. Resulta imprescindible desde el sector público y demás actores sociales, traten con responsabilidad y seriedad a esta actividad económica que si bien promete beneficiar a la provincia en su conjunto, influye en una zona geográfica cuya población subsiste y depende de la conservación del medio y de los recursos naturales.

Principales proyectos mineros en Jujuy

En Jujuy hay cuatro proyectos mineros importantes en explotación: dos de litio y dos yacimientos metalíferos (Fig.2). En el departamento de Susques se encuentran los proyectos de litio (Sales de Jujuy y Exar), en el departamento de Rinconada el de plata (Mina Pirquitas – Chinchillas) y en el departamento de Humahuaca (Mina Aguilar) de plomo y zinc. Este último con casi 90 años ininterrumpidos. Analizados esos proyectos mineros según los informes ambientales aprobados por la autoridad ambiental minera de Jujuy, la Dirección de Minería y Recursos Energéticos, la aplicación del principio de sustentabilidad está encaminada, de conformidad con el Decreto Reglamentario ambiental minero 5772/2010, con participación de superficiarios de la zona.

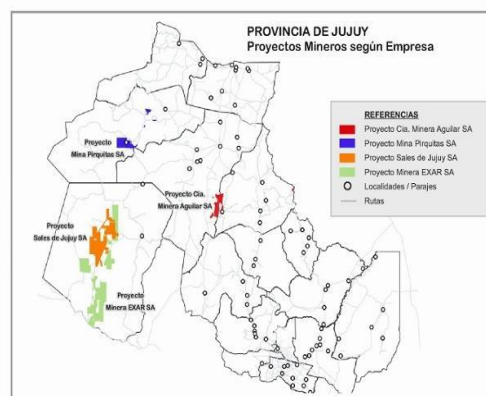


Figura N° 2 Proyectos de litio y de yacimientos metalíferos

Datos ambientales de los proyectos mineros

De las entrevistas realizadas a profesionales de los proyectos mineros: Ing. Daniel Balverde-Mina Aguilar (2019), Ing. Alicia Torés- Mina Pirquitas (2019), Abog. Silvia René Rodríguez – Sales de Jujuy (2019), Abog. Agustín Pfister – Exar (2019) y con el Director de Minería y Recursos Energéticos, Lic. Waldo Chayle (2019), se pueden sintetizar los siguientes datos ambientales: las empresas, titulares de esos cuatro proyectos mineros, cumplen con las exigencias del decreto reglamentario de protección ambiental para la actividad minera de Jujuy (Decreto 5772). Efectúan la presentación de los informes ambientales bianuales (art. 12 y 30 del Decreto 5772) y los monitoreos o controles de agua, suelo,

aire, flora y fauna, que en caso de los proyectos de litio son trimestrales y los metalíferos semestrales (art. 27 del Decreto 5772).

También se ajustan al procedimiento previsto en los art. 15 y 23 del Decreto 5772. Participan a superficiarios comunitarios y/o individuales que viven en la zona del proyecto, informándoles antes de la presentación de los informes ambientales a la autoridad de aplicación minera ambiental, Dirección de Minería y Recursos Energéticos, y después de presentado, con la consulta a los superficiarios de esos informes. Ellos, también, forman parte de la Unidad de Gestión Ambiental Minera Provincial (UGAMP) en la evaluación y en las tomas de muestras de los monitoreos periódicos.

Las titulares de esos proyectos mineros cuentan con la Póliza de Caucción Ambiental que prevé el art. 22 de la ley General del Ambiente 25675, el tratamiento de los residuos y las medidas de seguridad para tareas de exploración y explotación.

Entre las gestiones ambientales que realizan se puede destacar: las empresas metalíferas gestionan ambientalmente efluentes y residuos peligrosos y diques de cola (depósito de residuos mineros), drenajes ácidos de mina (formación de aguas ácidas, ricas en sulfatos y metales pesados) y del material particulado. Mina Pirquitas S.A. además presentó un plan de cierre parcial de operaciones y reutilizó el open pit, para las tareas realizadas en Mina Chinchillas, a partir del año 2018.

En el año 2007 la Compañía Minera Aguilar mediante un convenio con la provincia de Jujuy, se dispuso a retirar los residuos peligrosos con alto contenido de plomo de la Fundidora de Metal Huasi (Abandonada). Se extrajeron 400 toneladas de óxidos y escorias con un 40% de plomo, y se trataron en la Fundición Aguilar obteniendo una recuperación del 80%.

Por otra parte, los proyectos de litio utilizan pozos para la extracción de la salmuera y la depositan en piletas. Se concentra la salmuera mediante la evaporación solar, aprovechando las condiciones ambientales, a 3900 metros de altura y sin precipitaciones. Ambas tienen una reserva de salmuera por 40 años y aumentarán aproximadamente a 40.000 toneladas de carbonato de litio por año calidad/grado batería.

Efectúan monitoreos trimestrales de agua, suelo, aire, flora, fauna, ruido y limnología (ciencia que estudia los aspectos físicos y biológicos de los

ecosistemas de agua dulce, especialmente los lagos) acompañados de los representantes de organismos públicos y las comunidades originarias de la zona.

En el ámbito social las cuatro empresas tienen áreas dedicadas a las relaciones comunitarias, con los superficiarios principalmente comunidades originarias, con programas de proveedores locales, capacitación en oficios y cuentan con reuniones periódicas de información sobre el avance del proyecto. Realizan colaboración con obras en la zona, entre la que se puede destacar: hospital (Mina Aguilar), fondo de desarrollo comunitario (Mina Pirquitas), sala de música, laboratorio, biblioteca (Sales de Jujuy), salón de capacitación en Olaroz (Exar).

Percepción de las comunidades originarias de Susques, según encuestas en años 2015 y 2019

De encuestas efectuadas a gente de Susques, en el año 2015, la apreciación general de las comunidades originarias es buena, respecto a las políticas y actividades de las empresas mineras en lo que refiere a la colaboración en cultura, educación, salud, ambiente y en la comunicación con las comunidades.

En el año 2019, de las encuestas se destaca la ostensible consolidación de emprendimientos de servicios mineros, que son el resultado de las políticas corporativas de promoción de proveedores locales, en un trabajo conjunto con las comunidades. Se observó que varias personas nativas que habían emigrado, recientemente, regresaron para trabajar en estas empresas locales.

Acciones de la Secretaría de Minería e Hidrocarburos de Jujuy

En el año 2012, el gobierno de Jujuy mediante el Decreto N° 142- P- 2012 elevó la Dirección Provincial de Minería y Recursos Energéticos a Secretaría de Minería e Hidrocarburos. Ello permitió contar con más recursos humanos, sobre todo en el Departamento de Policía y Control Minero, que significó llevar a cabo mayores tareas de monitoreo ambiental. Así, la Secretaría se concentró en participar en el carácter de autoridad minera provincial, en eventos internacionales, provinciales e interprovinciales, como también en planificar y proponer políticas mineras al Poder Ejecutivo Provincial: por ejemplo en materia ambiental minera.

En el año 2012, se cumplió con procedimientos ambientales de los proyectos de litio, con la participación de las comunidades originarias superficiarias (aplicación del Decreto 5772). Ello culminó con la aprobación de los informes ambientales de ambos proyectos.

Se dictó norma reglamentaria sobre los formularios para presentar las Declaraciones Juradas mensuales sobre regalías mineras. Especialmente, para las empresas metalíferas y se efectuaron controles a las dos principales empresas metalíferas.

La Secretaría ha actuado en numerosas oportunidades como mediadora para mejorar la comunicación entre las comunidades originarias y las empresas mineras. También asistió a reuniones en los lugares donde se encuentra los proyectos mineros, como así también efectuando reuniones en la misma Secretaría.

Dicho organismo además participó en la reglamentación de la Ley 5750 (creación del Fondo de Quebrada y Puna con el 35% de las regalías mineras), que establece la distribución a los 30 municipios y comisiones municipales de Quebrada y Puna con la presentación de proyectos sostenibles (Decreto 3460-P-13 antecedente del Decreto 2825-DEyP-2016)

Efectuó numerosos informes a las comunidades originarias sobre la situación de proyectos mineros. A pesar de ello, en algunos casos llegaron a instancias judiciales, con resultados favorables a la actividad minera, demostrando que se respeta los derechos de consulta de las comunidades originarias en el procedimiento de otorgamiento de derechos mineros y la gestión ambiental de los recursos mineros. Entre esos casos se destaca el planteado por 33 comunidades aborígenes de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc c/Jujuy, Salta y Estado Nacional ante la Corte Suprema de Justicia de la Nación, el 28/03/2012 (Expte N° C- 1196 – XLVI caratulado “Comunidad Aborigen de Santuario Tres Pozos y otros el Jujuy, Provincia de y otros s/amparo”).

A partir del año 2016, se amplió los servicios en la página digital oficial www.mineriajujuy.gov.ar: se informa sobre la normativa aplicable para la actividad minera; formulario con los requisitos formales que deben presentar los informes ambientales ante la Dirección de Minería y Recursos Energéticos; formularios para solicitar derechos mineros de cateo, manifestación de descubrimiento de minerales, pedidos de mensura

ante el Juzgado de Minas y formularios para presentar las declaraciones juradas sobre regalías mineras para ser controladas por la Dirección de Minería y Recursos Energéticos. También, se puede acceder al Catastro Minero de Jujuy digital, herramienta valiosa para conocer el estado legal de los pedimentos mineros: cateos, minas en trámite y minas concedidas. El Juzgado Administrativo de Minas liberó 20.000 hectáreas aptas para pedimentos y exploración.

La Secretaría colaboró con la Secretaría de Política Minera de Nación, en el informe sobre el impacto de la actividad minera en Jujuy, presentado en Noviembre del 2019. En dicho documento se destaca el análisis de la gran minería exportadora de litio y metalífera que tiene un potencial transformador y de notable crecimiento su impacto en el desarrollo económico que requiere decenas de millones de dólares. También en ese informe se pone en relieve la minería de los boratos, sales, cales y rocas de construcción que abastece al mercado interno y su potencial exportador de menor escala.

CONCLUSIÓN

Hacer comprobable el desarrollo sostenible en el sector minero, requiere del fortalecimiento continuo, principalmente de las instituciones del Estado, de las provincias dueñas originarias de los recursos naturales (art. 124 de la Constitución Nacional). Es importante que diseñe planes y políticas de la actividad minera en el que se promueva proyectos mineros con sensibilidad social y eficiencia ambiental, innovando tecnologías y técnicas de explotación racional como exige el art. 41 y 75 inc. 17 de la Constitución Nacional, ley nacional del ambiente 25675 (art. 4, 22), art. 233, 246/268 del Código de Minería y Decreto 5772.

La minería posee características particulares ya que tiene una fuerte relevancia económica en aquellas zonas muy alejadas de los centros urbanos. En consecuencia, la actividad minera puede generar empleo donde otros sectores de la economía no lo consiguen. Así por ejemplo, se pueden observar mejoras en las comunidades de nuestra Puna Jujeña, mediante programas de capacitación laboral desarrollados por los proyectos mineros mencionados.

Dichos programas son importantes ya que permite que las personas de la zona del proyecto minero y

zonas aledañas, puedan acceder a tanto de tareas básicas como aquellas que requieran cierto conocimiento técnico. Por ejemplo: transporte del personal, equipo de mantenimiento edilicio, de maquinarias, de los accesos al yacimiento, caminos, vigilancia, seguridad y control de la actividad minera, transporte de minerales, lavandería, catering, etc.

El desarrollo sostenible, es exploración, explotación racional y cierre con el menor impacto ambiental. Implica un control eficaz estatal de las acciones de gestión ambiental que declaran las empresas mineras en los Informes de Impacto Ambiental (IIA), control del transporte de los minerales y de las declaraciones juradas de las regalías mineras, etc. Además es proporcionar el apoyo para la actualización y formación de expertos en el tema.

Este proceso estratégico requiere mecanismos participativos entre empresas, organizaciones privadas, comunidad en general y el Gobierno. Con divulgación de información sobre los datos certeros, relevados de los controles efectuados. En este panorama es de fundamental el papel de la Universidad Nacional de Jujuy que cuenta con una Facultad de Ingeniería, recursos humanos necesarios para la actividad minera sostenible. Es importante, que afiancen y evolucionen conforme estas nuevas necesidades: Ingenieros en Minas, Geólogos, Ingenieros Industriales y Químicos, Técnicos Universitarios en Perforación, Técnicos Universitarios en Explotación Minera y Técnicos Universitarios en Procesamiento de Minerales.

La actual actividad minera en nuestra provincia tiene importantes posibilidades de expandirse aún más. El desafío es que sean más jujeños los que exploten los minerales de nuestra provincia, con el cumplimiento de gestión ambiental y con participación de superficiarios, como exige la normativa vigente. De este modo, hacer posible el desarrollo económico- social en la provincia y poder avanzar en la industrialización de los recursos minerales. Esto requiere que la política de Estado se fortalezca en una permanente actualización en el conocimiento estratégico de la industria minera, en el que los principales beneficiarios seamos los jujeños.

REFERENCIAS

Balverde, D. Entrevista, octubre 2019.
Bernal, G., Martínez, R. G., Medina, F. *Impacto económico de las actividades mineras en la*

provincia de Jujuy, Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2001.

Chayle, W., Director de Minería y Recursos Energéticos. Entrevista, octubre 2019.

Lóndero, M. E. La actividad minera en la provincia de Jujuy en el siglo XXI, sus nuevas características productivas. *III Jornadas Nacionales sobre estudios regionales y mercados de trabajo*. Universidad Nacional de Jujuy y Red SIMEL, San Salvador de Jujuy, 2014.

Nijkamp, P. *Regional Sustainable Development and Natural Resources Use*, World Bank Annual Conference on Development Economics, Washington D.C., 26 y 27 de abril de 1990.

Pfister, A. Entrevista, octubre 2019

Pujadas, C. Desarrollo sostenible o sustentable. *ADN*, (6), 28. 2011

Rojas, C. Valoración de Recursos Minerales bajo la teoría del desarrollo sostenible. *Revista EIA*, 7(13), 65-75, 2010.

Richards, J. P. "Sustainable Development and the Mineral Industry". *SEG Newsletter, Society of Economic Geologists*, N° 48, Enero 2002, 48 (1), 8-12

Rodríguez, S. Entrevista, octubre 2019

Secretaría de Minería e Hidrocarburos, <http://www.mineriajujuy.gob.ar/site/index.php> (18/09/2020)

Secretaría de Política Minera de Nación, "Impacto Económico de la actividad minera en Jujuy" https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/impacto_economico_de_la_actividad_minera_-_pcia_de_jujuy_-_nov19.pdf (10/09/2020)

Torés, A. Entrevista, octubre 2019

La evolución del concepto huella hídrica como herramienta de gestión sustentable del agua

Mainardi Remis, Juan M.¹; Gutiérrez Cacciabue, Dolores.¹ y Rajal, Verónica B.^{1,2}

(1) *Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI)-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa); Facultad de Ingeniería, UNSa. Salta, Argentina; tinchomainardi@gmail.com; dolo83@gmail.com*

(2) *Singapore Centre for Environmental Life Sciences Engineering, Nanyang Technological University, Singapore. vbrajal@gmail.com*

RESUMEN

Desde hace varios años existe preocupación mundial por el impacto que causan ciertas actividades antropogénicas sobre los recursos ambientales. Así surgieron conceptos de “huellas ambientales” para cuantificar dichos impactos y tomar decisiones. Particularmente, la aparición del indicador huella hídrica (HH) para evaluar el uso del agua, llevó a que diferentes sectores se interesen en su cálculo. El objetivo de este trabajo fue realizar un relevamiento de publicaciones sobre la HH para analizar su evolución desde su aparición hasta la actualidad. Se recopilaron 193 publicaciones dentro del periodo 2003-2020. Cada una de ellas se clasificó según: el tema principal desarrollado, cantidad de publicaciones, método de cálculo y países de origen de las publicaciones. La cantidad de publicaciones fue aumentando con el tiempo. En primer lugar, surgieron trabajos relacionados con la aplicación de la HH en distintas regiones (19%), luego en el sector agrícola (27%), y finalmente en personas (4%) e industrias (17%). El método de cálculo propuesto por Hoekstra fue el más utilizado por los autores (43%). Holanda y China fueron pioneros en el uso del indicador. Su aplicación es de gran interés ya que permite evaluar la situación actual con respecto al agua y tender a su uso sustentable.

ABSTRACT

For several years there has been worldwide concern about the impact caused by certain anthropogenic activities on environmental resources. Thus, the “environmental footprints” concepts arose to quantify these impacts and make decisions. In particular, the water footprint indicator (HH) appeared to evaluate the use of water and made different sectors interested in its calculation. The aim of this work was to carry out a survey of HH publications to analyze the evolution since its appearance to date. One hundred and ninety-three publications were collected within 2003-2020. Each of them was classified according to: the main topic developed, number of publications, calculation method, and countries of origin. The number of publications increased over time. Works related to the application of HH in different regions (19%) appeared first, then related to the agricultural sector (27%), and finally to people (4%) and industries (17%). The calculation method proposed by Hoekstra was the most used by the authors (43%). The Netherlands and China were pioneers in the use of the indicator. Its application is of great interest since it allows evaluating the current situation with respect to water and tending towards its sustainable use.

Palabras claves: huella hídrica - relevamiento - publicaciones - uso del agua

Keywords: water footprint - survey - publications - water use

1. INTRODUCCIÓN

El Foro Económico Mundial, luego de realizar una encuesta global a representantes de empresas, unidades académicas, sociedad civil, gobiernos y organizaciones internacionales, posicionó el tema de la escasez de agua como uno de los tres riesgos sistémicos de mayor preocupación a nivel mundial (WEF, 2014). La escasez de agua dulce se incrementará en el futuro debido al aumento de la demanda y a la disminución de su disponibilidad y calidad (Ercin y Hoekstra, 2014). Se estima que para el año 2030 el planeta necesitará un 17% más de agua para llevar a cabo la producción adicional de alimentos y a su vez el consumo total del recurso aumentará en un 40% (UN-Water, 2015).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (ODS 6, agua limpia y saneamiento) reconoce que la gestión del agua no solo pretende lograr el acceso a agua potable y a servicios de saneamiento sino también implica abordar la materia en un contexto más amplio, incorporando temas como la calidad del agua y la gestión de efluentes, la escasez y el uso eficiente del agua, la gestión de los recursos hídricos, y la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados.

Con respecto al uso global del agua, aproximadamente el 70% se emplea en la agricultura, el 22% en la industria, y el 8% en uso doméstico (Aylward et al., 2010; UNESCO, 2003). Las mayores exigencias que existen actualmente a nivel internacional con respecto a la calidad del agua que se utiliza en la elaboración de distintos productos (en particular alimentos), hacen que los costos económicos sean más elevados y las políticas respecto a su uso sean mucho más restrictivas (UN-Water, 2015).

El agua en el sector agrícola se utiliza principalmente para riego, donde se estima que un 43% de la cantidad necesaria es agua subterránea (FAO, 2013). En este sentido, si una región es productora agrícola, la cantidad de agua utilizada en dicho sector será la mayor de los tres sectores.

Aunque el uso del agua por el sector doméstico es el menor, el impacto ocasionado igualmente afecta directamente sobre la calidad del recurso (Cidad E., 2020). Las personas también son responsables de su uso indebido y derroche.

Con respecto al sector industrial, no solo influyen los consumos de agua propios del proceso, sino también los involucrados en el tratamiento y la

disposición final de los efluentes residuales en los cuerpos receptores, que son la causa de la contaminación de grandes volúmenes de agua (Montalván et al., 2010). Se sabe que más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o en el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación. En consecuencia, es posible que aquellas industrias que no establezcan nuevas directrices con respecto a una gestión sustentable del agua, no puedan mantenerse en el mercado por mucho tiempo debido a crecientes presiones regulatorias.

Con el propósito de colaborar con el establecimiento de políticas para hacer frente al consumo excesivo del recurso hídrico y a la disminución en su calidad, los conceptos de agua virtual (AV) y huella hídrica (HH) han aparecido en el mercado del agua. El AV es el volumen de agua requerido para la fabricación de cualquier bien o producto agrícola o industrial (Allan, 1993). La HH, en cambio, es un indicador que se utiliza para comprobar el impacto real ocasionado por distintas actividades humanas sobre los recursos hídricos (Hoekstra y Hung, 2002). La HH permite evaluar la eficiencia del uso del agua en los sistemas productivos y disminuir impactos negativos ocasionados por el mal aprovechamiento del recurso. Lo que se busca con este indicador es obtener una mejor visión de problemas como la escasez y contaminación del recurso hídrico, de tal manera de mejorar su comprensión y posterior gestión (Hoekstra, 2003). La HH está conformada por tres componentes: verde, azul y gris. Los dos primeros hacen referencia a la cantidad y el último a la calidad. Cada una de ellas aporta información independiente por lo que deben analizarse de manera individual (Hoekstra et al., 2011). La HH azul representa el consumo de agua dulce que procede de una corriente de agua, ya sea superficial o subterránea (río, lago, acuífero). Es un indicador del agua que se consume, se incorpora a un producto, se evapora o que incluso se devuelve a otro medio que no es el original. La HH gris se relaciona con el impacto de la contaminación sobre los recursos hídricos. Se define como el volumen de agua dulce que se requiere para diluir una carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales y estándares ambientales, de tal manera que las descargas devueltas al medio ambiente, cumplan con los valores límites establecidos por la legislación.

Finalmente, la HH verde, representa el agua de lluvia que se consume con anterioridad a que se integre en corrientes de agua, pasando a incorporarse al producto o a evaporarse. Es relevante en el caso de sectores como la agricultura, y termina por ser una de las HH más elevadas en el cómputo global. A su vez, se define la HH indirecta como aquella que engloba dentro de su evaluación los tres tipos de huellas mencionadas antes. Se refiere al volumen de agua incorporada o contaminada en la fabricación de todos los bienes y servicios utilizados por quienes sean objetos en la determinación de la huella hídrica.

La HH puede aplicarse a productos, procesos, regiones, organizaciones o personas, y para poder calcularla se debe tener en cuenta tanto el uso directo como indirecto del agua. Uno de los principales motivos del cálculo de la HH es que en muchas áreas geográficas la actividad humana ha generado déficit a nivel de sostenibilidad en materia de la gestión del recurso.

Si bien el concepto de HH apareció a fines del año 2002, recién nueve años después se dio a conocer el manual oficial para su cálculo (*The Water Footprint Assessment Manual*, Hoekstra et al., 2011). Aunque fue la única herramienta para el cálculo, en el año 2014 surgió la norma ISO 14046 sobre principios, requisitos y guías para la evaluación y generación de informes sobre huella hídrica (ISO, 2014).

En distintas empresas y corporaciones, la determinación de la HH es vital para mejorar la gestión de sus productos, asegurar su sostenibilidad a largo plazo, identificar oportunidades de mejora, disminuir costos y obtener ventajas competitivas, entre otros. Marcas reconocidas como Coca-Cola (*Water Footprint Assessments Coca-Cola*, 2015), L'Oréal (L'Oréal, 2018), Heineken (CONAMA, 2016), Nestlé (Nestlé, 2015), ya han calculado la HH de sus productos, integrando así el agua como factor fundamental de su gestión empresarial, y actuando en pos del bienestar general.

Desde la aparición del concepto de HH, gobiernos, industrias y personas se interesaron en su cálculo para favorecer el uso sustentable del agua. Inicialmente, la preocupación global recayó sobre la agricultura (el mayor consumidor del recurso), pero el cálculo del indicador y su aplicación en diferentes sectores fue evolucionando con el tiempo.

Por todo lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue realizar un relevamiento de distintas publicaciones relacionadas con la aplicación del indicador huella hídrica para evaluar su evolución desde la aparición del concepto hasta la actualidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda minuciosa de información respecto al concepto de huella hídrica. Se recolectaron y analizaron textos científicos publicados desde el año 2003 hasta el presente (2020). La búsqueda se enfocó principalmente en artículos de revistas científicas, aunque también se consideraron informes provinciales y nacionales, trabajos de tesis de grado y posgrado como así también publicaciones en otras fuentes.

Para cada trabajo se identificó el año de publicación, el país de origen, el método de cálculo empleado y el tema principal.

Para el método de cálculo se consideraron cuatro tipos:

1- *The Water Footprint Assessment Manual* (WFAM, Hoekstra et al., 2011): contiene los pasos a seguir y fórmulas necesarias para el cálculo de las huellas hídricas azul, verde y gris. Puede aplicarse a naciones, empresas, cultivos, personas y procesos. Permite evaluar la sostenibilidad ambiental, social y económica de esa huella hídrica para formular una estrategia de respuesta.

2- Norma ISO 14046 (ISO, 2014): teniendo en cuenta también su actualización del año 2016. Es una norma basada en la evaluación del ciclo de vida (norma ISO 14044). Permite determinar la cantidad de agua utilizada y los cambios en su calidad, a través de la definición e identificación de potenciales impactos ambientales (índice de escasez de agua, enfermedades causadas por toxicidad, problemas de eutrofización, etc.).

3- Otro: en este apartado se incluyeron trabajos que no se inclinaron concretamente por alguno de los métodos anteriores, sino más bien realizaron una combinación de ambos o desarrollaron expresiones específicas para el objeto de análisis del trabajo.

4- No Corresponde (NC): aquí se analizaron trabajos que no incluyeron un método de cálculo oficial, debido a la inexistencia del mismo al momento de la publicación o por tratarse de

temas que englobaban una discusión general sobre la huella hídrica.

En tema principal tratado en cada publicación, se consideró el objeto de estudio del trabajo, dividiéndolo de la siguiente manera:

- Agricultura: publicaciones referidas al cálculo de la HH de productos agrícolas o ganaderos.
- Agua Virtual: publicaciones que se enfocaron principalmente en el análisis de los flujos de AV entre países.
- Ambientes acuáticos (AA): aplicación del concepto en cuerpos de agua como ser ríos, cuencas, pozos, lagos, etc.
- Industria: este ítem incluyó publicaciones sobre procesos y productos industriales.
- Personas: se tuvieron en cuenta estudios que realizaron el cálculo de la HH de personas o poblaciones.
- Regiones: en este punto se consideró el cálculo de la HH sobre regiones geográficas (países, provincias, municipios, etc.).
- Revisiones: incluyó trabajos que analizaban publicaciones sobre huella hídrica.
- Misceláneo: en este apartado se incluyó al conjunto de publicaciones que se enfocaban en más de uno de los temas principales aquí considerados (por ej. publicaciones que aplicaban la HH en ambientes acuáticos y en regiones).

A nivel mundial, en los últimos tiempos se generó una gran preocupación en la sociedad debido a los efectos negativos causados por las actividades humanas. Es así que, fueron surgiendo los conceptos de “huellas” para controlar estos impactos y conseguir un compromiso ambiental. Junto a la huella de carbono y la ecológica, a finales del año 2002 se introdujo la huella hídrica (Fig. 1).

A partir de la información recolectada, se logró relevar un total de 193 publicaciones desde el año 2003 hasta mitad del 2020. La cantidad de trabajos relevados por año se debió a la facilidad de acceso a los mismos.

Los primeros estudios encontrados se enfocaron en la aplicación del indicador para ciertas naciones, como ser China, Holanda y España, entre otras. Luego, a partir del año 2005 se iniciaron las publicaciones referidas al análisis en el sector agrícola, luego en el urbano, y por último en el sector industrial (Fig. 1).

En el año 2013, luego de 11 años de surgido el concepto, se publicaron los primeros trabajos de recopilación de información (Revisiones) sobre textos científicos cuyo tema principal era la huella hídrica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

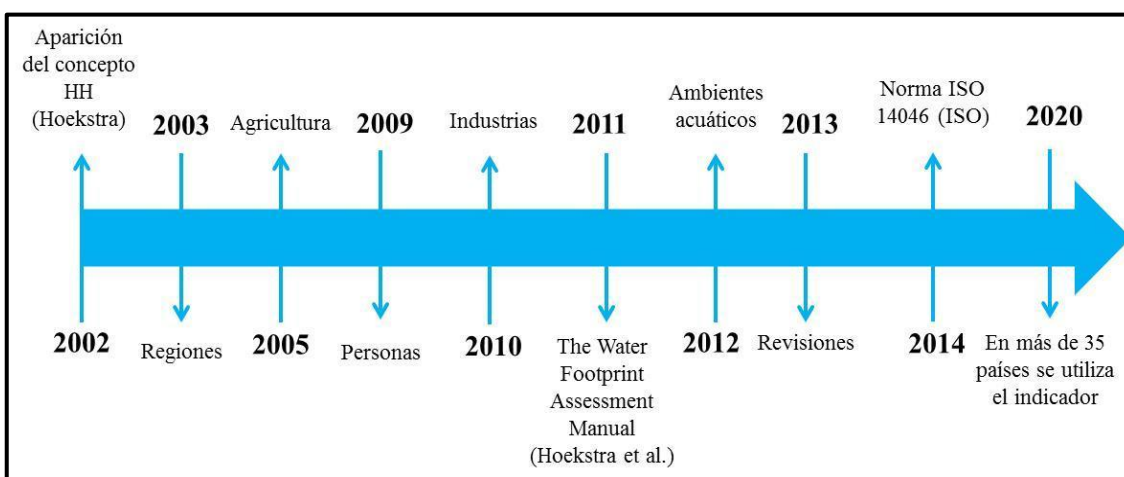


Figura 1: Surgimiento a través de los años de las primeras publicaciones sobre huella hídrica (HH) en los diferentes temas.

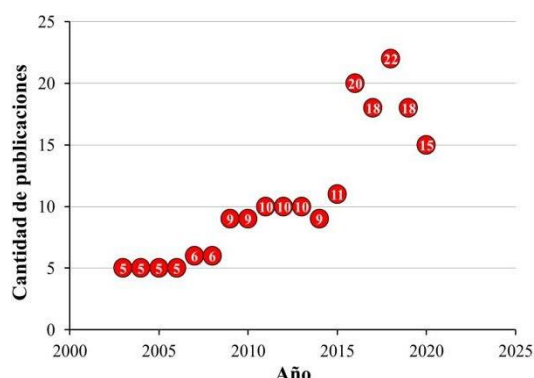


Figura 2: Cantidad de publicaciones relevadas sobre huella hídrica desde el año 2003 hasta 2020.

Así, la cantidad de publicaciones fue aumentando a través del tiempo (Fig. 2). En los primeros años, el uso de los conceptos de AV y HH como indicadores de uso y movimiento de agua entre países era muy bajo en comparación con la actualidad. En este sentido, se pudo comprobar que, específicamente en el año 2016, hubo un gran aumento en la cantidad de publicaciones (Fig. 2). Luego, esta cantidad se mantuvo aproximadamente un 80% por encima de la cantidad de publicaciones del período 2010-2015, y un 250% respecto al período 2003-2009 (Fig. 2). Esta situación pudo deberse al aumento del interés por parte de la comunidad científica en la utilización del indicador en la gestión sustentable del agua.

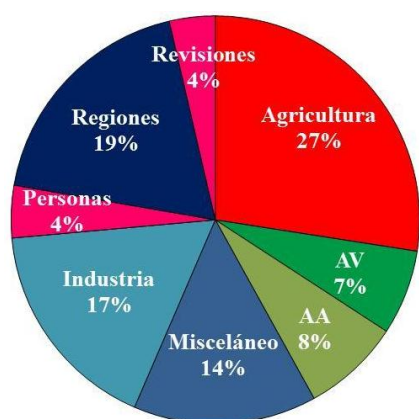


Figura 3: Clasificación porcentual de publicaciones sobre huella hídrica según la temática principal desarrollada en cada una de ellas. AV: agua virtual. AA: ambientes acuáticos.

Con respecto al tema principal, un 27% de las publicaciones se abocaron fundamentalmente al

análisis y cálculo de la huella hídrica en el sector agrícola (Fig. 3). Esto tiene sentido ya que la mayor cantidad de agua se estima que se consume en ese sector, y el indicador puede ayudar a identificar los puntos críticos y las oportunidades de mejora en su gestión. El cálculo de la huella hídrica para regiones específicas se ubicó en segundo lugar (19%, Fig. 3). Este tema abarcó trabajos que apuntaron a la determinación de la cantidad de agua consumida y contaminada dentro de los límites de ciertos lugares (países, provincias y municipios), medida principalmente en litros de agua fresca consumida por habitante del lugar. Con respecto al sector industrial, la cantidad de trabajos representaron un 17%. Estos incluyeron el cálculo del indicador en los procesos industriales de elaboración de diferentes productos: alimentos sólidos y líquidos (azúcar, harinas, carnes, agua embotellada, cerveza, vino, etc.), combustibles, energía eléctrica, textiles, productos químicos, etc. Las publicaciones que abarcaron temas de forma general, sin centrarse específicamente en un tema definido (Misceláneos), representaron un 14% del total analizado (Fig. 3).

Tabla 1. Cantidad de publicaciones por año según el método de cálculo empleado. WFAM: *Water Footprint Assessment Manual*. ISO: Norma ISO 14046. NC: no corresponde.

AÑO	MÉTODO			
	WFAM	ISO	Otro	NC
2003	-	-	-	5
2004	-	-	-	5
2005	-	-	-	5
2006	-	-	-	5
2007	-	-	-	6
2008	-	-	-	6
2009	-	-	-	9
2010	-	-	-	9
2011	6	-	2	2
2012	9	-	1	0
2013	8	-	2	0
2014	7	2	0	0
2015	6	1	3	1
2016	10	2	5	3
2017	9	3	4	2
2018	11	7	4	0
2019	11	1	5	1
2020	6	3	6	0
TOTAL	83	19	32	59

Con respecto al método de evaluación de huella hídrica, *The Water Footprint Assessment Manual* (WFAM) desarrollado por Hoekstra y colaboradores en 2011, fue el que más se destacó (Tabla 1). Éste ha despertado mucho interés debido a su gran aplicación en sectores variados. Desde su lanzamiento, fue el método más utilizado en las publicaciones sobre huella hídrica (Tabla 1). La norma ISO 14046 fue utilizada menos veces en relación con la cantidad total, pero esto puede deberse también a que su fecha de publicación es más reciente (2014). Otro factor a tener en cuenta es que a diferencia del método WFAM, la norma ISO no es de libre acceso y requiere una inversión monetaria para adquirirla. A pesar de ello, la aplicación de un método u otro dependerá de la elección de los usuarios y del enfoque que quieran otorgarle a su trabajo. Es posible que en el futuro, las empresas que decidan calcular la HH se inclinen más al uso de la norma ISO, ya que la misma incluye el análisis de ciclo de vida de los productos. Esto le otorgará además una imagen positiva con respecto al uso responsable del agua. Los estudios clasificados como NC (no corresponde) representaron el segundo lugar en esta clasificación. Éstos fueron principalmente trabajos publicados anteriormente al año 2011, donde todavía no se contaba con el manual para el cálculo. Incluyeron textos informativos sobre AV y HH, como así también trabajos de análisis y discusión.

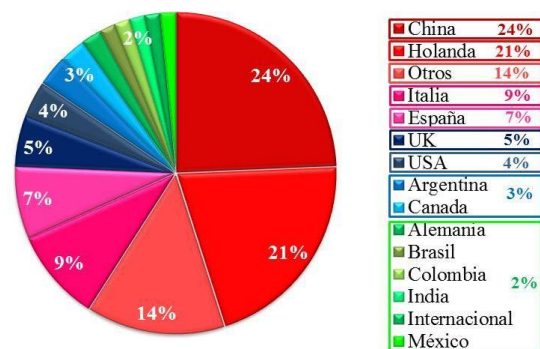


Figura 4: Clasificación porcentual de publicaciones sobre huella hídrica según el país de origen.

Finalmente, analizando las publicaciones por país de origen se pudo observar que China y Holanda son los que mayor cantidad tienen (Fig. 4). Este último se destacó por contar con la presencia de Arjen Y. Hoekstra, creador del concepto de huella hídrica. En este país, también resaltan autores como Ashok K. Chapagain y Mesfin M.

Mekonnen, quienes fueron, junto con Hoekstra, grandes pioneros en relación al cálculo y análisis del indicador para diferentes productos agrícolas, producción de energía, alimentos, naciones, ambientes acuáticos, etc.

Europa y Asia fueron los continentes que más aplicaron el concepto de huella hídrica en sus estudios (Fig. 4). Esto indica también, que, si bien en América se desarrollaron trabajos sobre el tema, aún hay un largo camino interesante por recorrer. Dentro de Latinoamérica, Argentina fue uno de los países con mayor cantidad de publicaciones referidas a HH (3%, Figura 4). Éstas se enfocaron principalmente en el sector agrícola, incluyendo el cálculo del indicador en los cultivos de maní, tabaco y caña de azúcar entre otros (Anschau et al., 2015; Brito et al., 2015; Jorrat et al., 2018).

Dentro de la clasificación “Otros” (14%, Fig. 4) se incluyeron los países cuya cantidad de publicaciones relevadas sobre el indicador fue menor a tres. Conformaron este grupo países pertenecientes a todos los continentes, como ser Tailandia, Hungría, Australia, Sudáfrica y Chile, entre otros.

Los estudios más antiguos se enfocaron principalmente en el cálculo del indicador sin contemplar otras cuestiones, pero debido al creciente interés, los trabajos recientes involucraron análisis más detallados sobre cada componente de la huella, su aplicación junto con otras huellas ambientales, debates sobre la importancia del mismo, etc.

En este sentido, muchas de las publicaciones centraron su análisis en alguno de los tres componentes (azul, verde o gris) y los relacionaron con su impacto en diferentes sectores. Por ejemplo, ciertos trabajos evaluaron la huella hídrica gris en la contaminación química del agua subterránea (Miglietta et al., 2017), en los efluentes de la industria del vino (Johnson y Mehrvar, 2019), en efluentes farmacéuticos humanos y animales (Wohler et al., 2020), entre otros. De la misma manera, algunas publicaciones se centraron en un análisis conjunto de la huella hídrica con la de carbono. Por ejemplo, se determinaron ambas huellas desde la industria del vino (Bonamente et al., 2016) hasta el sector de producción de energía eléctrica (Miller y Carriveau, 2017).

También, utilizando el indicador, se realizaron proyecciones sobre el uso de agua en un futuro. Por ejemplo, se determinó la huella hídrica de

escenarios futuros hipotéticos y se analizó cómo éstos influirían en la disponibilidad del recurso (Ercin y Hoekstra, 2014).

En conclusión, desde su aparición, el indicador de huella hídrica inculcó gran interés en la comunidad científica que fue desarrollando muchos trabajos sobre el tema a través de los años. También mediante su aplicación fue posible visualizar los problemas de escasez y contaminación del recurso hídrico en diferentes sectores, situación que quizás no era posible contemplar. Es decir, el concepto cumplió con su objetivo esencial, surgió para favorecer la toma de conciencia sobre el uso eficiente y la gestión sustentable del agua.

4. REFERENCIAS

- Allan J.A. *Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible*, ODA, Priorities for Water Resources Allocation and Management, ODA, London, 176 p, 1993.
- Anschau, R.A., Bongiovanni, R., Tuninetti, L. y Manazza, F. Huella hídrica de la cadena de maní en argentina, *Avances y estado de situación en análisis de ciclo de vida y huellas ambientales en Argentina: actas del IV Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y III Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica ENARCIV 2015*, 75, 16-20, 2016.
- Aylward B, Seely H, Hartwell R, Dengel J. *The economic value of water for agricultural, domestic and industrial uses: a global compilation of economic studies and market prices*, Report prepared for FAO, USA, 2010.
- Bonamente E., Scrucca F., Rinaldi S., Merico M.C. Environmental impact of an Italian wine bottle Carbon and water footprint assessment. *Science of the Total Environment*, 560–561, 274–283, 2016.
- Brito L.A., Iribarnegaray M.A., Salas Barboza A.G.J., Seghezzo L. Huella del agua del cultivo de tabaco en el área metropolitana del Valle de Lerma, provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 19, pp.01.01-01.11, 2015.
- Cidad E., Consumo doméstico del agua. iagua España. <https://www.iagua.es/blogs/ernesto-cidad/consumo-domestico-agua>. 28.08.2020.
- Coca-Cola Europe. *Water Footprint Assessments: Practical Application in Corporate Water*, Europa, 2015.
- CONAMA. *XIII Congreso Nacional De Medio Ambiente*, España, 2016.
- Ercin AE, Hoekstra AY. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environmental International*, Vol. 64, p. 71-82, 2014.
- FAO. *Informe sobre temas hídricos: Afrontar la escasez de agua*, Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria, Roma, 2013.
- Hoekstra A.Y. *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, Delft, The Netherlands, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 2003.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M. *The Water Footprint Assessment Manual, Setting the Global Standard*. Earthscan. London, Washington DC, 199 p, 2011.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q. *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Delft, The Netherlands, Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, 2002.
- ISO, International Organization for Standardization. *ISO 14046. Environmental Management-Water footprint-Principles, requirements and guidelines*, Suiza, Ginebra, ISO, 2014.
- Johnson M.B., Mehrvar M. An assessment of Grey WF of winery wastewater in the Niagara Region of Ontario, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 214, 623-632, 2019.
- Jorrat M., Araujo P.Z., Mele F.D., Sugarcane water footprint in the province of Tucuman, Argentina. Comparison between different management practices, *Journal of cleaner production*, 188, 521-529, 2018.
- L'Oréal, L'Oréal Paris. FÓRMULAS SOSTENIBLES Y RESPONSABLES. <https://www.loreal.es/sostenibilidad-y-rsc/detras-de-nuestros-productos/formulas-sostenibles-y-responsables>. 28.08.2020
- Maglietta P.P., Toma P., Fanizzi F.P., De Donno A., Coluccia B., Migoni D., Bagordo F., Serio F. A Grey Water Footprint Assessment of Groundwater Chemical Pollution Case Study in Salento, *Sustainability*, 9, 799-789, 2017.

- Miller L., Carriveau R. Balancing the carbon and water footprints of the Ontario energy mix, *Energy*, 125, 562-568, 2016.
- Montalván-Estrada A, Martínez Luzardo F, Veitia Rodríguez E, Brígido Flores O, Caparrós Cubeña Y. Huella Hídrica Gris en Industrias Alimenticias Camagüeyanas, *Revista Cubana de Química*, Vol. 22, p. 44-50, 2010.
- Nestlé. *Nestlé in society Creating Shared Value and meeting our commitments*, Nestlé full report, 2015.
- UNESCO. *Primer Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*, Paris, 2003.
- UN-Water. *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo*, Agua para un mundo, 2015.
- WEF, World Economic Forum. *Global Risks 2014*, Geneva, Switzerland, 2014.
- Wohler L., Niebaum G., Krol M., Hoekstra A.Y. The grey water footprint of human and veterinary pharmaceuticals, *Water Research X*, 7, 2020.

Análisis del contenido de carbono de la madera muerta en bosques del Departamento Copo, Santiago del Estero, Argentina.

Montenegro, Martín Facundo¹ y Díaz Zirpolo, José Antonio².

(1) *Becario CICyT-UNSE, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Avda. Belgrano 1912 (s) 4200 Santiago del Estero, Argentina.*

montenegromartinfacundo@gmail.com

(2) *Laboratorio de Anatomía de Madera, INSIMA, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Avda. Belgrano 1912 (s) 4200 Santiago del Estero. diazzirpolo@gmail.com*

RESUMEN

El estudio de la madera muerta (MM) y el rol que cumple en el ecosistema forestal, como reservorio de C y N y otros servicios que derivan de esta, constituyen una temática que hasta el momento no ha sido estudiada en la misma medida que los demás componentes del bosque. El objetivo es cuantificar y evaluar el contenido de carbono en la MM presente en bosques del Chaco Seco. El estudio se realizó en el Departamento Copo, Santiago del Estero. Sobre la base de 5 unidades de muestreo (UM) correspondientes al Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos, se adaptó un diseño de muestreo. Se evaluaron cinco tipos de MM mediante el método de parcela y líneas de intersección. Los resultados reflejan que el reservorio MM mostró un valor promedio de carbono acumulado de 10,5 tC/ha, siendo la MMM (MM mediana) el tipo de MM de mayor aporte al contenido total de (CTC). Mientras que los estados de descomposición 2 y 3 fueron los más representativos. El estudio sienta las bases sobre valores de referencia de C almacenado en MM para la región Parque Chaqueño, lo cual permitirá definir nuevos criterios y medidas para mitigar el cambio climático.

ABSTRACT

The study of dead wood (DW) and the role it plays in the forest ecosystem, as a C and N *pool* and other services that derive from it, constitute a subject that until now has not been studied to the same extent as the other components of the forest. The objective is to quantify and evaluate the carbon content in the DW present in Dry Chaco forests. The study was carried out in the Copo Department, Santiago del Estero. A sampling design was adopted with five sample units (SU) corresponding to the Second National Inventory of Native Forests SUs. Five types of DW were evaluated using the plot and intersection lines methods. The results reflect that the DW reservoir showed an average accumulated carbon value of 10.5 tC / ha, with Medium-sized DW being the highest contribution to the Total Carbon Content. While decomposition states 2 and 3 were the most represented. The study lays the foundations of reference values regarding C stored in DW in this region, which may define new criteria and measures to mitigate climate change.

Palabras claves: Madera Muerta-Necromasa-Carbono

Keywords: Dead Wood-Necromass-Carbon

1. INTRODUCCIÓN

La captación de CO₂ atmosférico constituye un servicio ecosistémico de gran importancia, este es el servicio de regulación del clima (Camacho, 2011). El carbono capturado por los ecosistemas forestales, mediante el proceso de la fotosíntesis,

se encuentra en la biomasa vegetal viva (aérea y subterránea), necromasa y en el suelo (De Petre, 2011). En el país, la información sobre el tema y las metodologías aplicables es escasa. Diversos autores, como Gasparri y Manghi en 2004, realizaron determinaciones de necromasa y Contenido de C mediante el uso de coeficientes usados a nivel global. En su trabajo determinaron

el volumen por ha de MM como el 14% de la biomasa aérea (obtenidas del inventario forestal de 1998) y el CTC como el 50% de la necromasa. Actualmente, a nivel mundial existe una tendencia a modificar los inventarios forestales tradicionales para complementarlos con relevamientos de nuevos aspectos relacionados a la gestión forestal sostenible y multifuncional, como ser la MM, referida a toda la biomasa leñosa muerta que no forma parte del mantillo fino como lo son los árboles muertos en pie, MM caída, las raíces muertas y los tocones de un diámetro igual o superior a 10 cm. o cualquier otro diámetro utilizado por el país (FAO, 2005).

La MM constituye un componente básico en la estructura y funcionamiento de cualquier ecosistema forestal, y una importante reserva de carbono (Baker, 2007; Chao, 2009). A su vez, representa un 14 a 40% del reservorio total en los ecosistemas boscosos, y sus flujos de productividad y descomposición de MM determinan el reciclado de carbono en el ecosistema (Zaninovich, 2017).

Durante el año 2006, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), incluyó la MM dentro de su listado, como una de las cinco reservas de carbono presente en los bosques.

Al ser un componente importante en el secuestro de carbono que ocurre en los bosques, la cuantificación de MM procedente de los inventarios forestales, se vuelve cada vez más importante debido a su fuerte conexión con el efecto invernadero y el cambio climático (Smith, 2004), tornándose un atributo esencial para el manejo forestal.

La región del Parque Chaqueño representa una gran superficie boscosa que incluye a las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero, este de Salta y Tucumán, y norte de Córdoba y Santa Fe. Esta región puede dividirse en tres distritos: Distrito Chaqueño Oriental, Occidental y Serrano. El Parque Chaqueño se caracteriza por su bosque xerófilo caducifolio acompañados por sabanas, pajonales y palmares (Mainardi, 2013).

En Argentina, el Programa Nacional ONU-REDD tiene como meta la protección de los ecosistemas forestales y mejorar la gestión de los recursos naturales para mantener los servicios ambientales, combatir el cambio climático, y llevar adelante acciones como la investigación para aportar información en dicha temática.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es cuantificar y evaluar el contenido de carbono orgánico en la madera muerta presente en bosques del Chaco Seco.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el Departamento Copo, de la provincia de Santiago del Estero, Argentina, perteneciente al Distrito Chaqueño Occidental (Figura 1).

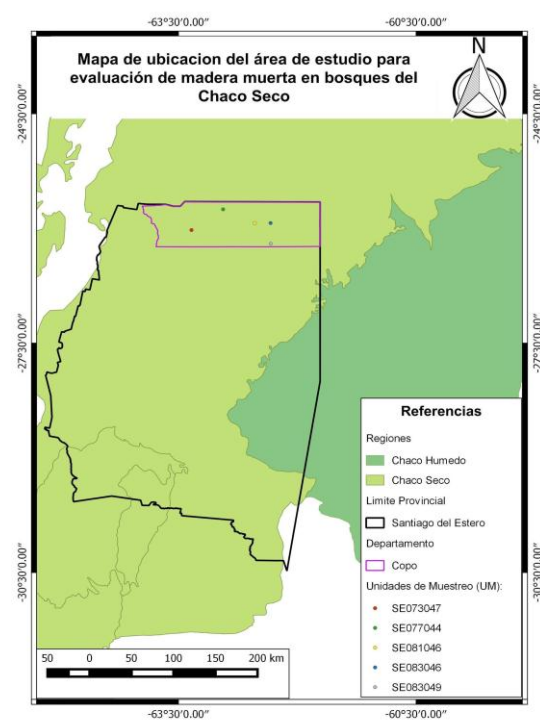


Figura 1. Ubicación del área de estudio y unidades de muestreo..

El área bajo estudio, corresponde a un bosque xerófilo típico del Chaco Occidental, (Figura 2), con una cobertura arbórea mayor al 20%. Constituido por un estrato arbóreo dominante de Quebracho Colorado (*Schinopsis lorenzii*) y Quebracho Blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), un estrato codominante formado por Mistol (*Ziziphus mistol*), Tala (*Celtis ehrenbergiana*) y Algarrobo Negro (*Prosopis nigra*), y un estrato oprimido constituido por Garabato (*Acacia praecox*), Teatin (*Acacia*

furcatispina), Tintitaco (*Prosopis torquata*), Talilla (*Celtis pallida*) y arbustos varios como jumes y cactáceas. El estrato herbáceo es bajo, menos de 50 cm de altura, con una cobertura del 25-50%, son abundantes las gramíneas y raras las hierbas. Estos bosques pueden ser considerados como la comunidad clímax del Distrito Chaqueño Occidental (Giménez y Moglia, 2003).



Figura 2. Bosque xerófilo

Sobre la base de 5 parcelas circulares (unidades de muestreo (UM)) permanentes de 1.000 m² (17,8 m de radio) instaladas durante el Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos (INBN2), se adaptó un dispositivo de muestreo, para el estudio de MM en bosques del Chaco Seco.

Parcelas muestreadas:

SE073047: Bosque aprovechado. Presencia de tocones de Quebracho Colorado.

SE077044: Bosque bajo en el cual predominan: Algarrobo Negro y Garabato principalmente.

SE081046: Sitio rogado para actividad ganadera. El escaso estrato arbóreo remanente constituido por Quebracho Blanco principalmente.

SE083046: Bosque aprovechado. Presencia de tocones de Quebracho Colorado.

SE083049: Bosque alto. Sin tocones de las especies clímax.

2.2 Muestreo y recolección de MM

Para su cuantificación, en primera instancia, se clasificó a la MM según el tipo, tamaño y estado de descomposición:

- Clasificación de MM según tipo:
 1. Madera muerta en pie (MMP).

2. Madera muerta tocones (MMT).
3. Madera muerta caída (MMC).
 - Clasificación de MMC según Tamaño:
 1. Madera muerta gruesa (MMG): $\phi > 7,5$ cm.
 2. Madera muerta mediana (MMM): $2,5 \text{ cm} < \phi < 7,5 \text{ cm}$.
 3. Madera muerta fina (MMF): $\phi < 2,5 \text{ cm}$.
 - Clasificación de MM según estado de descomposición:
 1. Estado de descomposición 1: Corteza adherida, ramas presentes, gran parte del tronco está en el aire, pudriciones no superan el tercio del total, dureza de la albura o duramen no permite penetrar el cuchillo más de 1 centímetro.
 2. Estado de descomposición 2: Corteza rajada con pérdidas, ramas ausentes, en parte apoyada sobre el suelo, pudriciones no superan el tercio del total, dureza de la albura y duramen no permiten penetrar el cuchillo más de 1 centímetro.
 3. Estado de descomposición 3: Sin corteza, ramas ausentes, mayor parte apoyado en el suelo, mantiene la sección transversal aproximadamente cilíndrica, pudriciones superan el tercio del total, dureza de albura y duramen permiten penetrar el cuchillo más de 1 centímetro.

Para cada uno de estos reservorios se establecieron criterios específicos de muestreo dentro del área de la parcela (Figura 3).

La MMP y MMT se midieron en toda la superficie de las 5 parcelas, registrándose su altura (m), diámetro (cm) y estado de descomposición.

Para MMC se utilizó la técnica Line Intercept Sampling - LIS de Van Wagner (1982), registrando en el punto que interseca a la línea de medición (2 transectas, una en dirección norte y otra en dirección sur) de acuerdo a la siguiente clasificación en base a su tamaño definido por el diámetro:

- Fino ($\phi \leq 2,5 \text{ cm}$): frecuencia en los últimos 6 m de la transecta para cada estado de descomposición.

- Mediano ($2,5 \text{ cm} < \phi < 7,5 \text{ cm}$): frecuencia en toda la transecta para cada estado de descomposición.
- Grueso ($\phi \geq 7,5 \text{ cm}$): frecuencia, diámetro y estado en toda la transecta.

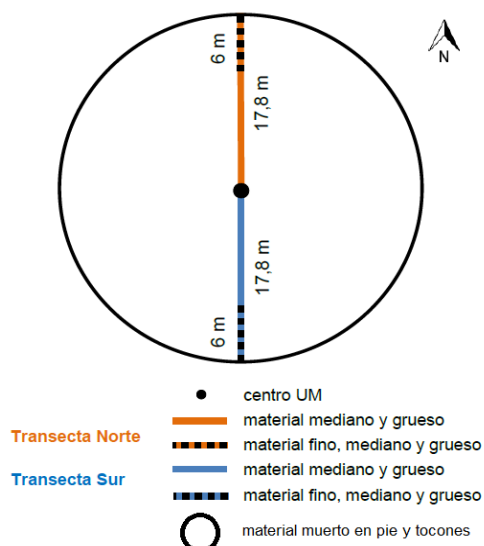


Figura 3. Dispositivo de muestreo de MM. Fuente: Adaptado del Manual de Campo de la Región Forestal Parque Chaqueño, 2018.

A su vez, en uno de los transectos de la parcela (17,8 m) se realizó la colecta y evaluación del material leñoso caído en sus tres grados de descomposición para cada tamaño según características observables *in situ* (Díaz Zirpolo, 2017).

Se colectó un disco (torta) de madera de 3 cm de alto en el punto de intersección medido, utilizando sierra y motosierra según el diámetro. Cada muestra fue pesada en fresco a campo y colocadas en una bolsa rotulada para su posterior análisis en laboratorio.

2.3 Procesamiento de muestras en laboratorio

La determinación de la densidad básica del material recolectado se realizó mediante el método de desplazamiento de volumen de agua (Coronel, 1994). Las muestras fueron secadas en estufa a $75 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante (48-72 horas aproximadamente) y con el peso y el volumen se calculó la densidad básica (1) de cada muestra.

$$r_0 = \frac{p_0}{V_v} \quad (1)$$

siendo:

r_0 : Densidad básica (g/cm^3)

p_0 : Peso seco (g)

V_v : Volumen saturado (cm^3).

Luego se procedió al molido de las muestras mediante el uso de un molino de seis cuchillas de 50 a 6.000 rpm con tamices metálicos de 0,2 a 6,0 mm. Finalmente se realizó la determinación del porcentaje de carbono mediante el método de combustión total en seco con un analizador elemental (IPCC, 2003).

2.4 Procesamiento de datos

La determinación de volumen se hizo en función de las fórmulas presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Fórmulas para cálculo de volumen.

V : volumen, h : altura, g : sección y L : longitud de la transecta.

Tipo de MM	Cálculo de Volumen
MMP	$V_p = h * g$
MMT	$V_T = h_T * g_T$
MMC	$V_C = (\pi^2 * \sum d^2) / 8 * L$

Una vez obtenidos los volúmenes para cada tipo de MM según estado de descomposición se procedió a realizar el cálculo de la necromasa siguiendo la metodología (2) de Rüginitz, (2009).

$N_{MM} =$

$$(V_{M1} \times r_{01}) + (V_{M2} \times r_{02}) + \dots + (V_{Mn} \times r_{0n}) \quad (2)$$

Donde:

N_{MM} : necromasa de madera muerta (según tamaño y estado de descomposición) (tMM/ha).

V_{MM} : Volumen de madera muerta. Los subíndices 1,2,...,n corresponden a las combinaciones tamaño-estado de descomposición.

r_0 : Densidad.

Finalmente se determinó el contenido total de carbono, el cual fue estimado de acuerdo a la metodología (3) de Pearson, (2007).

$$CTC = N_x \times CF \quad (3)$$

siendo:

CTC: Contenido total de carbono de la necromasa (tC/ha).

N_x : Necromasa de madera muerta (tMM/ha) para cada categoría tamaño-estado de descomposición..

CF: Fracción de carbono (tC/tMS) determinada mediante el método de combustión seca.

3. RESULTADOS

3.1 Necromasa total de MM.

El promedio de necromasa y desviación estándar fueron de 21,8 y 4,6 tMM/ha respectivamente.

Los valores de necromasa obtenidos mostraron un comportamiento uniforme, a excepción de la UM SE083046 (Figura 4).



Figura 4. Valores de Necromasa de madera muerta.

3.2 Contenido total de carbono en MM.

El valor promedio y la desviación estándar de CTC (tC/ha) fueron de 10,5 y 2,0 respectivamente.

En correspondencia con los valores de necromasa, el contenido total de C reflejó un comportamiento similar (Fig. 5).



Figura 5. Valores de Carbono Total de Madera muerta..

3.3 Contenido total de carbono según el estado de descomposición de la MM.

En cuanto al contenido total de C almacenado en la MM (52,3 tC/ha), la mayor parte correspondió a los estados de descomposición 2 y 3 (23,8 y 24,9 tC/ha, respectivamente) representando similares proporciones, lo cual refleja que la mayor cantidad de MM muestreada, se halla en estados avanzados de descomposición. Mientras que la MM en estado de descomposición 1 fue la menos representada (3,5 tC/ha) (Fig. 6).

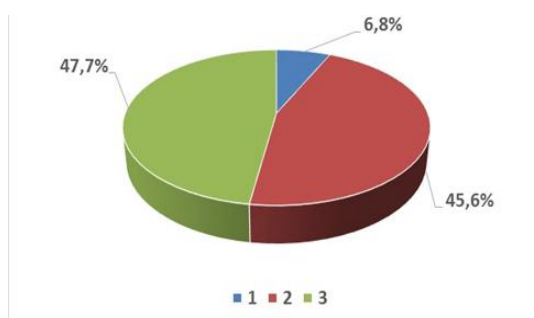


Figura 6. Contenido total de carbono según el estado de descomposición 1, 2 y 3 de la madera muerta.

3.4 Contenido total de carbono discriminado por el tipo de MM.

El CTC con respecto al tipo de MM, refleja que la MMC representó aproximadamente el 90% del CTC, e incluso dentro de esta categoría, la mayor parte correspondió a la MMM. El tipo de MM que menos aporte realizó al total de C fueron los tocones (2,1%).

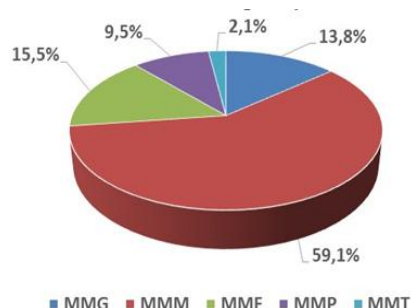


Figura 7. Contenido total de carbono según el tipo de madera muerta, siendo MMG: Madera muerta gruesa, MMM: madera muerta mediana, MMF; madera muerta fina, MMP: madera de árboles muertos en pie y MMT: madera muerta de tocones.

3.5 Fracción de carbono según estado de descomposición.

El promedio de la fracción de carbono fue menor en el estado de descomposición 3, siendo este igual a 0,47, que en los estados 1 y 2 (0,49 y 0,50 respectivamente).

4. DISCUSIÓN

Como mencionan Conti (2014), los bosques subtropicales de Sudamérica, incluyendo los bosques del presente trabajo, no se encuentran tan estudiados como otros tipos de ecosistemas en lo referente a almacenamiento y emisiones de carbono.

Las tres unidades muestrales (SE083049, SE081046 Y SE073047) que presentaron los valores de carbono total más altos fueron las pertenecientes a sitios con alta intervención del hombre, denotado por presencia de tocones y rolado intensivo.

La información previa sobre el tema tratado en este trabajo es escasa, sin embargo, existen algunas referencias respecto a los reservorios de C en MM como las que presentan Gasparri y Manghi (2004), quienes determinaron el valor de necromasa media de madera muerta y su contenido de carbono de 13,83 y 6,92 t/ha respectivamente para la región del Parque Chaqueño. Estos resultados fueron obtenidos mediante el muestreo de 57 UM a lo largo de todo el Parque Chaqueño (en el año 1998) y el empleo de coeficientes generales usados a nivel global.

Dichos resultados son menores que los valores de C determinados en las UM del presente trabajo (21,8 y 10,5 t/ha para necromasa y CTC respectivamente) debido probablemente a la diferencia de escala espacial en estudio.

Varios estudios (Barbosa, 2008; Chao, 2009; Alves, 2010; Díaz Zirpolo, 2017) demuestran la existencia de una disminución en la densidad básica de la MM a medida que avanza la descomposición, lo cual pudo corroborarse. A su vez, en concordancia con Harmon (2013), resultó conveniente evaluar la MM, caracterizando el material en diferentes estados de descomposición, puesto que el contenido de carbono en la MM varía de acuerdo con su grado de descomposición, pudiendo ser menor en las etapas avanzadas en comparación con la madera recientemente caída en el caso de angiospermas.

5. CONCLUSIÓN

El presente estudio sienta las bases sobre valores de referencia de C almacenado en la MM para la región Parque Chaqueño, mediante la utilización de metodologías adaptadas específicamente para el objetivo propuesto, algo que hasta el presente no se había realizado con este nivel de detalle.

La cuantificación y análisis de la biomasa y el CTC de MM son fundamentales para definir criterios de manejo de ecosistemas forestales debido a la gran importancia de los servicios ecosistémicos que prestan.

6. REFERENCIAS

- Alves, L. F., Vieira, S. A., Scaranello, M. A., Camargo, F. A., Santos, M. Joly, C. A. and L. A. Martinelli. *Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil)*. Forest Ecology and Management 260 (5): 679-691. 2010.
- Baker T.R., Coronado, E.N.H., Phillips, O.L. *et al.* *Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest*. *Oecologia*. 152: 495-504. 2007
- Barbosa, R. I., Silva, L. F. y C. O. Cavalcante. *Protocolo necromassa: estoque e produção de liteira grossa*. Boa Vista: INPA - Programa de Pesquisa em Biodiversidade. 24 p. 2008.
- Camacho, V., Ruiz, L. *Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos*. Bio Ciencias. Sinaloa, México. 1(4): 1-15 p. 2011

- Chao K.J., Phillips, O.L., Baker, T.R. et al. *After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia*. *Biogeosciences Discuss.*, 6, 1979–2006 <http://biogeosciences-discuss.net/6/1979/2009/bgd-6-1979-2009.pdf> (access 09/09/2010). 2009.
- Conti, G., Pérez-Harguindeguy, N., Quétier, Gorné, L., Jaureguiberry, P., Bertone, G., y Díaz, S. *Large changes in carbon storage under different land-use regimes in subtropical seasonally dry forests of southern South America*. *Agriculture, ecosystems & environment*, 197, 68-76. 2014.
- Coronel, E. O. *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades, y sus aplicaciones*. 1º.Parte. Editorial El Liberal, Santiago del Estero. 1994.
- De Petre; A, Karlin, U., Ali, S., Reynero, N. *Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal; Área Captura de Carbono*. PIARFON. Argentina. 15 p. 2011
- Díaz Zirpolo, J. *Madera muerta como factor para la gestión de los recursos forestales en bosques del Chaco Semiárido, Argentina*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. 1a ed. Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales. 141 p. ISBN 978-987-1676-70-5. 2017.
- FAO. *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales*. 2005.
- Gasparri, I. y E. Manghi. *Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de la Regiones Forestales de Argentina*. SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). Informe final. 2004.
- Giménez, A. M. y J. G. Moglia. *Árboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Desarrollo Social, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. ISBN: 987 95852-9-1. 310 p. 2003.
- Harmon, M. E., Fasth, B., Woodall, C. W., Sexton, J. *Carbon concentration of standing and downed woody detritus: Effects of tree taxa, decay class, position, and tissue type*. *Forest Ecology and Management*, v. 291, p. 259–267. 2013.
- International Panel on Climate Change - IPCC. Penman, J.; M. Gytarsky; T. Hiraishi et. al. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Vol. 177. FAO. (2000). Informe sobre los Recursos Forestales Mundiales 2000. 2003.
- International Panel on Climate Change - IPCC. Eggleston H.S.; L. Buendia; K. Miwa; T. Ngara and K. Tanabe. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japón*. 2006.
- Mainardi, V. (2013). *Regiones fitogeográficas de argentina y de tucumán*. Facultad de Agronomía y Zootecnia. 8-9.
- Pearson, T. R. H., Brown, S. L., Birdsey, R. A. *Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon*. General Technical Report NRS-18. Delaware: United States Department of Agriculture - Forest Service. 42 p. 2007.
- Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales* - 1. ed. - Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p. 2009.
- Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos Región Forestal Parque Chaqueño. *Normativas para las mediciones a campo. Manual de campo*. Área Inventario Forestal Dirección Nacional de Bosques Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2018.
- Van Wagner, C. E. *Practical aspects of the line intersect method*. *Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service*. Ontario, Canadá. 11 p. 1982.
- Zaninovich, S. C. *Dinámica y almacenamiento del carbono en la necromasa y el suelo de ecosistemas forestales: efecto de la degradación del bosque nativo y su reemplazo por plantaciones de Pinus taeda L. en el NE de Argentina*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. 2017.

Evaluación técnica de la lixiviación de pilas alcalinas agotadas con solución de ácido sulfúrico de baterías usadas

Moyano, Roberto R¹; Farfán, Norma B¹; Sajama, Guillermo^{1,2} Iglesias, Abud O^{1,2}; Humana, Rodrigo E¹; Fernández Albornoz, Marlene L¹; Cruz, César A¹; Gutiérrez, Ramón¹; Rodríguez, Griselda V¹; Urbina, Belén¹; Giménez, Eduardo A¹; Pillco, Gustavo L¹; Sánchez Daniel G¹; Gregorio, Eliseo¹; Medina, Yanina G¹

(1) *Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Jujuy (FI UNJu)*

ricardomoyano_679@hotmail.com ; nbfarfan@gmail.com; guillexxii@gmail.com ; oiabud@yahoo.com.ar;

(2) *Instituto de Investigaciones Mineras e Industriales – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Jujuy (INTEMI UNJu)*

lqci@yahoo.com.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo es recuperar metales presentes en pilas agotadas, utilizando el ácido de baterías en desuso con la finalidad de reducir la contaminación ambiental. El análisis químico del barro de las pilas alcalinas (Zn 25% y Mn 30%, pH 13) y del ácido de las baterías en desuso (pH: 1,32; H₂SO₄ total: 24,32 g/L) permitieron definir las condiciones del ensayo. El estudio comprende las etapas de clasificación y análisis de las pilas alcalinas usadas, estudio de la cinética de la lixiviación con distintas soluciones de ácido de baterías en sistemas estáticos. Se realizó la molienda y lixiviación del barro con agua destilada y el secado del mismo. Posteriormente se lixivió la torta, en condiciones de temperatura ambiente, con disoluciones de concentraciones crecientes de ácido sulfúrico en un intervalo de 2 h, con distintas relaciones sólido-líquido. Se observó el progresivo aumento de acidez y de porcentaje de recuperación de Zn y Mn. Se concluyó que es posible la lixiviación de los componentes de las pilas y la recuperación de los metales desde la fase líquida, siendo la relación sólido/líquido 1/10, la más eficiente para la extracción.

Palabras clave: recuperación, metales, pilas, ácido, baterías.

ABSTRACT

The objective of the work is to recovering metals present in exhausted batteries, using the acid from disused batteries in order to reducing environmental pollution. Chemical analysis of the mud from alkaline batteries (Zn 25% and Mn 30%, pH 13) and acid from disused batteries (pH: 1.32; total H₂SO₄: 24.32 g / L) allowed defining the conditions of the essay. The study includes the stages of classification and analysis of used alkaline batteries, study of the kinetics of leaching with different battery acid solutions in static systems. The mud was grinding and leaching with distilled water and it was dried. Subsequently, the cake was leached, under ambient temperature conditions, with solutions of increasing concentrations of sulfuric acid in an interval of 2 h, with different solid-liquid relationships. The progressive increase in acidity and recovery percentage of Zn and Mn was observed. It was concluded that the leaching of the heap components and the recovery of metals from the liquid phase is possible, with the solid / liquid ratio 1/10 being the most efficient for extraction.

Keywords: recovery, metals, cells, acid, batteries.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los componentes químicos de las pilas resultan alterados en el proceso químico de óxido reducción de generación de energía eléctrica utilizada para el funcionamiento de diferentes tipos de elementos o equipos. Los mismos comprenden ácidos, álcalis, sales y metales pesados como el mercurio, cadmio, níquel, litio, cinc, manganeso y plomo. Al finalizar el ciclo de vida útil de las pilas, éstas son desechadas y en el proceso de descomposición, pierden la cobertura protectora de metal por corrosión interna o externa de las carcasas, permitiendo la liberación de los constituyentes de alto riesgo para la salud de la población y el ambiente. Esta situación se agrava frente a una inadecuada gestión de las mismas, a pesar de representar un bajo porcentaje de los residuos sólidos urbanos (<http://educativa.catedu.es>).

Cuando se produce el derrame del electrolito contenido en las pilas, éste arrastra también los metales pesados que la conforman. Estos metales pueden ser lixiviados en su interacción con el suelo y fluir por cursos de agua y acuíferos, contaminando el ambiente en general y afectando la salud de la población, o bien al ser ingeridos por animales.

Los efectos sobre la salud humana tales como el cáncer, daños en el cerebro, los riñones, el hígado, los pulmones y al feto, retraso mental, falta de coordinación, ceguera y convulsiones, son entre otras, las causas que motivan la necesidad de una adecuada gestión responsable de las pilas y baterías según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). Ministerio de Salud Pública del Paraguay.

Un estudio de la Unión Europea desde el punto de vista ambiental, afirma que la recolección selectiva y reciclaje de pilas y baterías agotadas genera varios beneficios.

- Menos baterías son arrojadas a los rellenos sanitarios, o a incineradores.
- Reducción del uso de metales vírgenes en la producción de baterías, con la consiguiente reducción del impacto ambiental de la actividad minera.
- Aumento del uso de materiales reciclados, en consecuencia, menor consumo de energía.

- Menor polución de aire y agua, causada por la disposición final de las pilas y baterías en rellenos sanitarios comunes.

En Francia y Alemania existen procedimientos para el tratamiento de todas las pilas y baterías con procesos de separación y tratamiento específico para cada tipo, incluyendo pirolisis, separación por membranas selectivas y recuperación electroquímica. Los subproductos de estos tratamientos son utilizados en la industria metalúrgica (el hierro aleado con manganeso), fundidores de cinc (los polvos de la fusión que contienen hasta un 50 % de cinc), fábricas de abrasivos (lodos conteniendo sílice y alúmina), fundiciones de acero inoxidable (níquel), fábricas de pilas y baterías (cadmio puro – destilado y condensado), fábricas de alabes de turbina (aleaciones níquel-cobalto), fábricas de cerámicos para alta temperatura (óxidos de tierras raras), refinación de plomo (plomo), y en la industria de metales preciosos, fábricas de catalizadores (litio y plata) (residuosprofesional.com).

En Argentina, según el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), las importaciones de pilas primarias en 2015 alcanzaron 6245 ton/año, de pilas secundarias, 22416 ton/año. Según el mismo, el porcentaje medio de pilas y baterías agotadas que componen los residuos sólidos urbanos (RSU) de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires es del 0,0123% del total, representando 323 kg/día, lo que equivale a 117 toneladas anuales de pilas y baterías desechadas. El 69% corresponden a las categorizadas como primarias, mientras que el resto son secundarias. Dentro de las pilas primarias el 1,69 % son pilas botón (INTI).

Los procesos de tratamiento comprenden trituración, separación gravitatoria de la fracción gruesa (compuesta por papeles, plásticos y metales ferrosos y no ferrosos) de la fracción fina (polvo de pilas) que es la que contiene los contaminantes y posteriores procesos, como hidrometalurgia y pirometalurgia para la recuperación de los metales de interés (EBRA).

Los métodos hidrometalúrgicos consisten en la disolución parcial o total de metales en agua con ácidos o bases fuertes y extracción selectiva de metales para su uso como materia prima en la industria metalúrgica. Los procesos generan efluentes líquidos, barros y emisiones que deben

controlarse y gestionarse de acuerdo con sus características (ESTRUCTPLAN).

El método pirometalúrgico comprende un tratamiento térmico del residuo en medio reductor (combustión con coque) y separación de los metales volátiles. Los procesos pirometalúrgicos consumen grandes cantidades de energía en comparación con las técnicas hidrometalúrgicas.

El INTI sugiere que la Argentina debe implementar medidas de gestión, a largo plazo, sobre el tratamiento de pilas y disponer de los recursos, infraestructura y normativa necesarios para prevenir o minimizar la generación de residuos de pilas y baterías.

El objetivo del trabajo es recuperar metales presentes en pilas agotadas, contribuyendo a disminuir la contaminación debida a la migración de iones provenientes de pilas alcalinas agotadas, realizando la disolución de los barros con agua destilada, la separación de los iones por lixiviación con ácido sulfúrico de baterías en desuso y el posterior tratamiento de los mismos para obtener sales de iones metálicos de interés.

2.2 Materiales y métodos

Se realizaron ensayos en pilas alcalinas del tipo AA, siendo éstas individualizadas, caracterizadas y separadas por su marca comercial.

Se seleccionó el tipo de pilas de mayor cantidad correspondiente a una de las marcas observadas y se procedió a:

- La extracción de la cubierta metálica.
- La extracción del barro constituyente.
- Determinación del pH y porcentaje de humedad del barro contenido.
- Determinación y cuantificación de los iones constituyentes por vía espectrométrica (espectrofotómetro de absorción molecular), gravimetría, volumetría ácido base y complejometría.
- Lixiviación de los iones constituyentes del soporte acuoso de la pasta electrolítica de las pilas (hidróxido de potasio) con agua para su posterior utilización en la recuperación de los iones metálicos solubilizados.
- Lixiviación de los iones metálicos a partir de los barros previamente lixiviados con solución de ácido sulfúrico diluido,

utilizando una columna de percolación construida para tal efecto.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1. Contenido porcentual (% m/m) de componentes de pilas alcalinas y pH.

Placa de acero	22,65
Cobertura plástica	0,91
Humedad	5,82
pH	11
Cinc	25
Manganeso	30

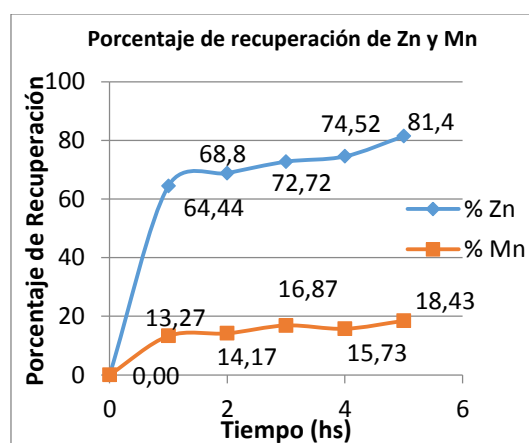


Figura 1: Porcentaje de recuperación de Zn y Mn del barro extraído de pilas alcalinas en función del tiempo.

Se observa una muy buena recuperación de cinc desde los barros constituyentes de las pilas agotadas. Sin embargo, es necesaria una optimización de la recuperación de los iones Mn, en forma conjunta o separada, en este tipo de pilas.

En esta experiencia se realizaron los siguientes ensayos, a escala de Laboratorio

1-Clasificación de las pilas recolectadas según el tipo de construcción: alcalinas (en base cinc, bióxido de manganeso e hidróxido de potasio, neutras (en base a cinc, bióxido de manganeso y cloruro de amonio), recargables (pilas de níquel, cadmio) y pilas de litio e ión litio.

2-Se construyeron tres columnas de percolación (Figura 2) y se las rellenó con tierra de cultivo según la Norma ASTM E2242-02 (2012), una de ellas se utilizó como columna testigo. Se seleccionaron las pilas alcalinas, siendo las de

mayor disponibilidad. Se partió de 3,7 kg de barro obtenido de pilas alcalinas.

3-Evaluación de la variación de la conductividad y pH en el suelo durante el proceso de degradación de un tipo de pilas alcalinas.

Primera columna testigo; en la segunda se colocó una pila alcalina cerrada (Figura 2); y en la tercera una pila alcalina abierta (Figura 2), agregando en cada una de ellas 335 mL de agua destilada una vez a la semana por un lapso total de 20 semanas. En los líquidos lixiviados de las mismas se realizaron las mediciones de la conductividad y de pH. Se utilizaron conductivímetro Hanna HI 98311 y pHmetro Hanna HI 98108.



Figura 2: Columnas de percolación según Norma ASTM E2242-02 (2012).

Los ciclos de irrigación con agua destilada, de acuerdo a Casas (2003), simulan un proceso de precipitación, visto desde una perspectiva meteorológica, la cual es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve o granizo. Por otro lado, las cantidades de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre son llamadas pluviosidad o monto pluviométrico. El volumen empleado de agua destilada buscó simular condiciones pluviométricas equivalentes a 1300 mm por año, teniendo en cuenta la máxima pluviosidad registrada en la provincia de Jujuy.

4-Análisis de una muestra de ácido sulfúrico de baterías de automóviles agotadas.

Se utilizaron técnicas de densimetría, pHmetría, acidimetría con solución de hidróxido de sodio 0,5 M; y gravimetría según Vogel, (1960).

5-Ensayos y evaluación de los parámetros cinéticos implicados en la lixiviación de las pilas alcalinas utilizando soluciones de progresivas concentraciones de ácido sulfúrico de baterías en desuso.

Se partió de las pilas desmanteladas (Figura 3), se continuó con su molienda (Figura 4), estableciendo como parámetro superior de partículas de 2 mm y armado de la columna de percolación (Figura 5) para la disolución del electrolito soluble (KOH) y posterior secado. El objetivo es obtener una muestra homogénea, fraccionarla para su posterior análisis químico de los iones constituyentes



Figura 3: Componentes de pilas alcalinas



Figura 4. Molienda del barro.

En una segunda columna (Figura 6), se realizaron las lixiviaciones en fracciones del barro seco con soluciones de ácido sulfúrico de baterías a fin de establecer los parámetros cinéticos.

Las variables controladas fueron: concentración de ácido en la solución lixiviante (1 a 100%); relación Sólido/Líquido (de 5, 8 y 10); tiempo de lixiviación (de 1 a 5 horas); número de lixiviaciones a una concentración preestablecida (1 a 5), manteniendo constante tamaño de partículas (2 mm), la temperatura (ambiente) y la presión (presión ambiental).



Figura 5. Columna de percolación



Figura 6: Columna de percolación recuperación de Zn y Mn.

Para las valoraciones cuantitativas se utilizó hidróxido de sodio 0,1 M, las determinaciones de cinc y manganeso con solución de EDTA 0,1 M por complejometría y manganeso por espectrofotometría de absorción molecular Metrolab (RC 325) a longitud de onda de 520 nm Vogel (1960) Skoog (2005).

En la figura 7, se muestra el procedimiento seguido para obtener los iones Zn y Mn.

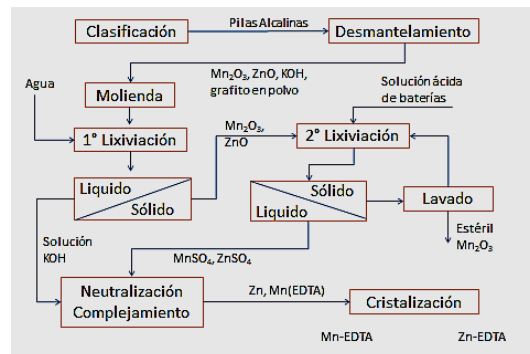


Figura 7: Procedimiento de recuperación de los metales a partir del barro de pilas alcalinas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1-Clasificación de las pilas según su construcción y determinación del tipo de pilas a considerar.

Como se observa en la Tabla 2, la mayor proporción corresponde a las pilas alcalinas.

Tabla 2. Tipos de pilas y cantidades relativas encontradas

Tipo	Cantidad	Porcentaje
Alcalinas	1085	60,78
Zn-C	585	32,77
Recargables	50	2,80
Litio	7	0,39
Varias	58	3,25
Total:	1785	100

Se observa que el porcentaje de pilas alcalinas y Zn-C constituyen el 93,5 % del total de pilas recolectada, de las cuales es preponderante el porcentaje de pilas alcalinas (60,78%), siendo ellas las más agresivas hacia el medio ambiente. Por lo tanto, los ensayos se orientaron a la recuperación de iones metálicos contenidos en las mismas, considerando además los ensayos preliminares. Se destaca la existencia de 59 marcas distintas de pilas al momento de iniciar el trabajo de investigación.

2-Evaluación de la variación de la conductividad y pH en el suelo durante el proceso de degradación de un tipo de pilas alcalinas
Los valores de pH, se representan en la Figura 10. Se representa el pH del lixiviado en función del

número de semanas de riego para cada columna de suelo, desde la semana 1 hasta la semana 20.

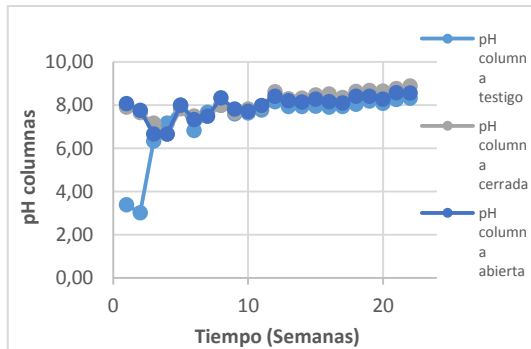


Figura 8: pH del lixiviado de suelo contenido en las columnas de percolación a distintas semanas
 ● Columna testigo ● Columna pila cerrada
 ● Columna pila abierta

Los resultados muestran que los valores de pH se mantuvieron dentro de un rango de 7,5 y 9 a partir del 6° día de ensayo en las columnas que contienen pilas que han sufrido un proceso de degradación acelerada y natural (columna pila cerrada), alcanzando valores alcalinos superiores al pH ligeramente neutro del agua destilada con que se realizaron los riegos.

Se observa que los niveles de pH alcanzados luego de 20 semanas de lixiviación, son ligeramente superiores cuando las mismas han sufrido un proceso de degradación acelerada (columna con pila abierta) en relación a aquellas que se degradan de forma natural. Esto se debe, según Moreno (2003) y Cordero y otros (2007), a la posible disolución rápida del electrolito en el medio, en cuanto a sólidos disueltos y a la concentración de los iones hidronio u oxhidrilos en el medio, que se encuentran mayormente disponibles, arrojando valores de pH bajos o altos, de acuerdo sea el caso y a las condiciones en que se realice la experiencia.

De acuerdo a Vincent (1999) y Besenhard (1999), el electrolito empleado en las pilas de tipo alcalina, es una solución acuosa concentrada de KOH (30-45% en peso de KOH), seleccionada principalmente por su alta conductividad eléctrica. El valor bajo de pH de los lixiviados del suelo (columna testigo) durante las primeras semanas de drenaje, se pudo deber a residuos de componentes ácidos en el material usado.

3-Análisis de una muestra de ácido sulfúrico de baterías en desuso

Del análisis químico del ácido de baterías en desuso, se obtuvieron los resultados dados en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis químico de ácido sulfúrico de baterías agotadas de automóviles.

Determinación	Valores
Densidad	1,018 g/cm ³
pH	1,32
Ácido sulfúrico libre	24,94 g/L
Sulfato total	19,08 g/L
Residuos oxidados totales	1,73 g/L
Hierro	0,73 g/L

De los valores observados se concluyó que es factible el usar este ácido, debido a su elevada concentración de iones hidrógeno y bajo pH.

4-Ensayos y evaluación de los parámetros cinéticos implicados en la lixiviación de las pilas alcalinas

4.1. Ensayos de variación de pH vs agregado de concentraciones progresivas de solución de ácido de sulfúrico de efluentes de baterías

En la Figura 9, se observa la variación de pH, según se agregan concentraciones crecientes del disolvente, manteniendo constante la relación sólido líquido 1/10 a temperatura y presión ambiente por el tiempo de lixiviación de 2 h.

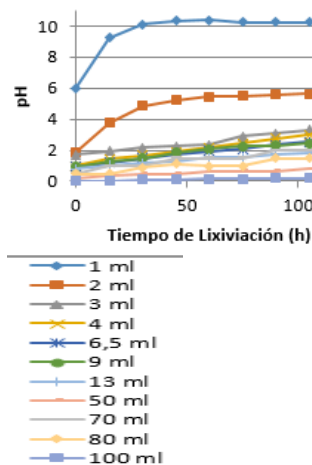


Figura 9: pH vs. tiempo de lixiviación a concentraciones creciente de ácido de baterías.

4.2. Ensayos de determinación del porcentaje de material soluble vs agregado de concentraciones

progresivas de solución de ácido sulfúrico de efluentes de baterías

En el Figura 10, se observa la variación del porcentaje de material soluble, según se agregan concentraciones crecientes del disolvente, manteniendo constante la relación sólido líquido 1/10, a temperatura y presión ambiente por el tiempo de lixiviación de 2 horas.

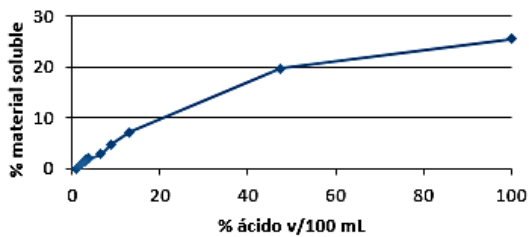


Figura 10. Porcentaje de material soluble de la torta vs. concentración de ácido de baterías.

4.3. Ensayos de determinación de la acidez libre y consumo de ácido vs. agregado de concentraciones progresivas de solución de ácido de sulfúrico de efluentes de baterías

En la Figura 11, se observa la variación del consumo de ácido de baterías y la acidez libre de las soluciones, según se agregan progresivas concentraciones del disolvente, manteniendo constante la relación sólido líquido 1/10 a temperatura y presión ambiente por el tiempo de lixiviación de 2 horas:

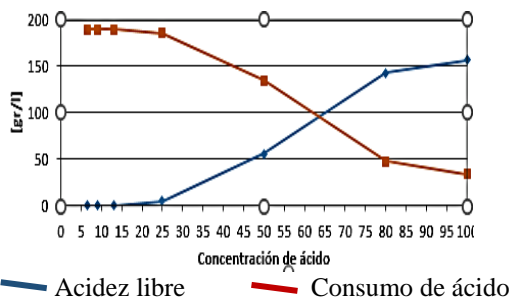


Figura 11: Variación de acidez libre y consumo de ácido de baterías

4.4. Ensayos de determinación de la recuperación de cinc y manganeso vs. agregado de concentraciones progresivas de solución de ácido de sulfúrico de efluentes de baterías

En la Figura 12, se observa la variación de la recuperación de cinc y manganeso respecto a la muestra de barro seca, según se agregan concentraciones crecientes del disolvente, manteniendo constante la relación sólido líquido

1/10 a temperatura y presión ambiente por el tiempo de lixiviación de 2 horas:

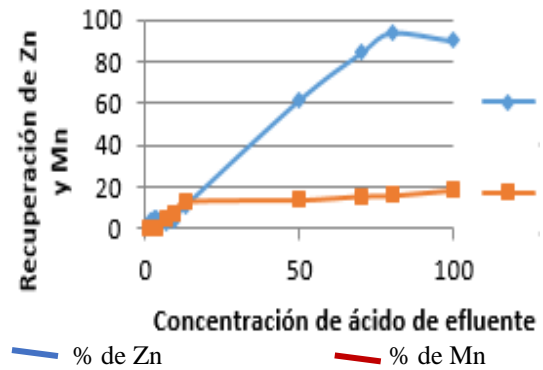


Figura 12: Porcentaje de recuperación de Zn y Mn según diferentes concentraciones de ácido

4.5. Ensayos de determinación de la recuperación de cinc y manganeso vs. tiempo de lixiviación.

En la Figura 13, se observa la variación de la recuperación de cinc y manganeso respecto a la muestra de barro seca, según se varía el tiempo de lixiviación a concentración constante de 50 % del disolvente, manteniendo constante la relación sólido líquido 1/10 a temperatura y presión ambiente.

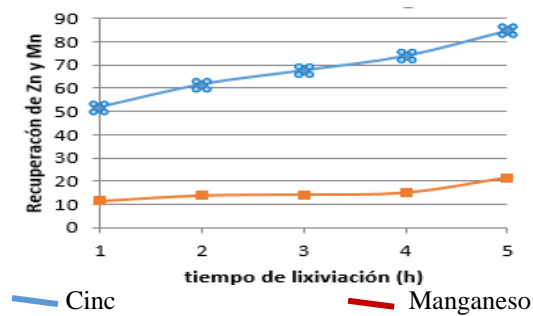


Figura 13. Porcentaje de recuperación de Zn y Mn vs. tiempo de lixivación

4.6. Ensayos de determinación de la recuperación de cinc y manganeso vs distintas relaciones sólido/líquido de ácido de sulfúrico de baterías

En Figura 14, se observa la variación de la recuperación de cinc y manganeso respecto a los contenidos de estos iones en la muestra de barro seca, según se varían las relaciones líquido/sólido a la concentración de 50 % de disolvente respecto a la solución lixivante, a temperatura y presión ambiente. Puede observarse el beneficio que se provee para una mejor recuperación de los iones cinc, en forma diferenciada a los iones

manganeso, al aumentar las relaciones sólido/líquido. Ello proveería a una mejor separación de los mismos.

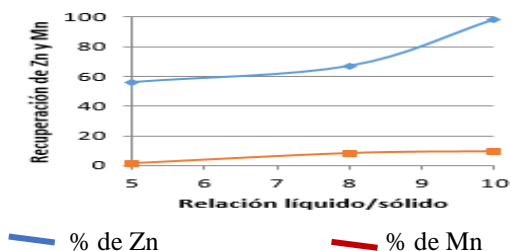


Figura 14. Porcentaje de recuperación de Zn y Mn vs. relación líquido/sólido (solvente/torta).

4.7. Ensayos de determinación de la recuperación de cinc y manganeso vs sucesivas lixiviaciones de ácido de sulfúrico de efluentes de baterías

En la figura 15, se observa la variación de la recuperación de cinc y manganeso respecto a la muestra de barro seca, cuando se varía la cantidad de lixiviaciones a concentración constante de 50 % del disolvente, manteniendo constante la relación sólido líquido 1/10 a temperatura y presión ambiente.

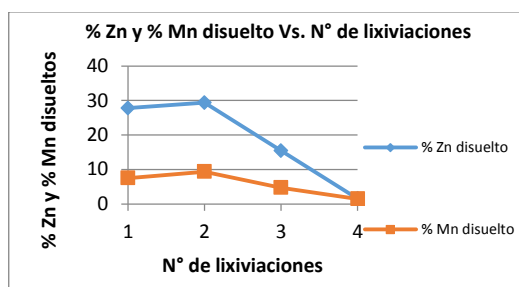


Figura 15: Porcentaje de recuperación de Zn y Mn vs. cantidad de lixiviaciones

En general, se observa que soluciones diluidas del ácido efluente de baterías, provocan una disminución importante del pH, de modo que soluciones muy diluidas en contacto con las pilas provocan la disminución del pH, también el incremento de las sales solubles hasta un tiempo máximo de 2 h.

De la Figura 11, se deduce que a partir de una concentración de 63 % de ácido en una relación líquido sólido de 10/1, la concentración de ácido de baterías se encuentra en exceso respecto a la muestra lixiviada.

Además, de la figura 13, no se observa un incremento de la recuperación luego de las 2 h de

lixiviación manteniendo constante las mismas relaciones citadas.

Así mismo se observa en la Figura 14, que la mejor recuperación se obtiene para una relación líquido/sólido de 10/1.

Según la figura 15, se observa que se podría realizar hasta dos lixiviaciones consecutivas de un mismo sustrato para incrementar su recuperación.

CONCLUSIONES

La experiencia realizada permite decir que se puede realizar la lixiviación de las pilas alcalinas agotadas con soluciones de ácido efluentes de baterías en desuso, siendo la mejor relación encontrada 10/1 (líquido/sólido).

La recuperación de iones Zn y Mn, se maximiza si se realizan lixiviaciones a una concentración de 50% de ácido en agua, realizando hasta 2 lixiviaciones.

También este trabajo nos permite concluir que debido a la elevada solubilidad de los iones cinc, y en menor grado los iones manganeso, al estar en contacto con soluciones de ácido sulfúrico, si estas reacciones se producen en vertederos serían fuentes potenciales de contaminación de suelos y cuerpos acuíferos circundantes.

REFERENCIAS

http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4861/html/1_produccion_de_corriente_elctrica_por_reacciones_redox_pilas.html

Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC)

<https://www.mspbs.gov.py/portal/13563/mala-gestion-de-pilas-y-baterias-impacta-en-la-salud-y-el-medio-ambiente.html>

<https://www.residuosprofesional.com/app-reciclar-pilas-cualquier-pais-europa/>

[www.inti.gob.ar/pilasybaterias2016%20\(7\).pdf](http://www.inti.gob.ar/pilasybaterias2016%20(7).pdf)

<https://www.ebra-recycling.org/>

<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Impacto-pilas-2014.pdf>

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=168>

ASTM (2012) ASTM E2242 - 12e1 Standard Test Method for Column Percolation Extraction of Mine Rock by the Meteoric Water Mobility Procedure. [Página Web en línea] Disponible en:

- <http://www.astm.org/Standards/E2242.htm>
[Consultado: 2012, Diciembre 31]
- De Souza, C.C.B.M., De Oliveira, D.C., Tenório, J.A.S., (2001). Characterization of used alkaline batteries powder and analysis of zinc recovery by acid leaching, *Journal of Power Sources*, 103 n°1 120–126
- EPBA, (2006) <http://www.epbaeurope.net>
- EU Battery Extended Impact Assessment, (2003). <http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/>
- Moreno D. (2003) *Toxicología ambiental*. Madrid: McGraw-Hill Norma para la Clasificación y el Control de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto No. 883). (1995, Diciembre 18).
- Skoog D. (2005). *Principios de química analítica*. (8a ed). México: McGraw Hill
- Vincent, C. y Scrosati, B. (1997). *Modern Batteries – An Introduction to Electrochemical Power Sources* (2da. ed.) Oxford: Butterworth-Heinemann
- Vogel, A. I. (1960). *Química Analítica Cuantitativa*. Ed. Kapeluz. Buenos Aires, Argentina.

Los “boldos” y “buscapinas” empleados en medicina doméstica en Santiago del Estero (Argentina)

Palacio, Manuel¹; Roger, Enrique¹

(1) Jardín Botánico “Lucas D. Roic”, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

mopalacio@gmail.com; eroger@unse.edu.ar

RESUMEN

En Santiago del Estero los saberes etnomedicinales involucran tanto especies nativas como exóticas. Si bien el recurrir a plantas para tratar afecciones de la salud humana en una práctica frecuente entre poblaciones rurales, también los habitantes de ambientes urbanos recurren a ellas con este fin, involucrando en las acciones especies introducidas con otros fines, como el ornamental. El objetivo del este trabajo es informar sobre el uso popular para tratar afecciones de la salud de especies del género *Plectranthus* –sensu lato- entre los habitantes de la ciudad de Santiago del Estero, Argentina, además de registrar otros destinos de uso. La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas, aplicadas a personas mayores de edad de distintos barrios de la ciudad. En forma previa a la aplicación de las encuestas, se procedió a relevar la presencia de especies de *Plectranthus* tanto en domicilios particulares como en espacios públicos. Un total de 6 especies de *Plectranthus* son cultivadas en la ciudad de Santiago del Estero, de las cuales *P. barbatus* y *P. neochilus* tienen aplicaciones medicinales. Las especies mencionadas, se emplean principalmente para tratar afecciones del sistema digestivo y hepático. Todas las especies relevadas se cultivan como ornamentales.

ABSTRACT

Ethnomedical practices involve both native and exotic species, which are incorporated into popular knowledge about the plants used to cure in Santiago del Estero, Argentina. Although the use of plants to treat human health conditions is more frequent among rural populations, the inhabitants of urban environments also use them for this purpose, involving in their practices species introduced for other purposes, such as the ornamental. The aim of this work is to inform the popular use to treat health conditions of some species of the genus *Plectranthus* -sensu lato- among the inhabitants of the city of Santiago del Estero, Argentina and to register the species that are cultivated for other purposes. Ethnobotanical data were obtained through semi-structured interviews, applied to elderly people from different neighborhoods of the city. Before the application of the surveys, the presence of *Plectranthus* species in different neighborhoods of the city, both in private gardens and in public spaces, was surveyed. There are six species of *Plectranthus* cultivated in the city, of which *P. barbatus* and *P. neochilus* have medicinal applications. The mentioned species are mainly used to treat disorders of the digestive and hepatic systems. All the surveyed species are cultivated as ornamentals.

Palabras claves: *Plectranthus*, medicina popular, exóticas, cultivadas

Keywords: *Plectranthus*, folk medicine, exotic plants, cultivated

1. INTRODUCCIÓN

En la composición de la “flora” de una región o de un país intervienen todas las especies vegetales que están presentes en esa área, tanto las que se consideran “nativas” (originaria de esa zona y que crecen sin cultivo alguno) como las exóticas, es decir, aquellas que siendo originarias de otras regiones fueron introducidas por distintos factores entre ellos el antrópico, y que, en un proceso dinámico, vienen a enriquecer al conjunto de la flora. Muchas de estas especies consideradas exóticas son incorporadas por sus propiedades orientadas a distintos fines o usos, como por ejemplo ornamentales, medicinales, etc., y en función de estas propiedades dichas plantas adquieren una singular importancia que hace que sean cultivadas en forma permanente y difundidas entre la población de la región.

El uso de plantas con fines medicinales en ámbitos domésticos es una práctica de larga data entre los habitantes de la provincia de Santiago del Estero, tanto en ámbitos rurales como urbanizados, situación que ha sido registrada por diversos autores, entre ellos Paz (1941), Togo *et al.* (1990), Roic *et al.* (1999), Roic y Villaverde (2007), Carrizo y Palacio (2002, 2013). Estas prácticas no son de carácter estático, sino que, por el contrario, van enriqueciéndose con nuevos aportes que acrecientan el conocimiento etnobotánico sobre las plantas de uso medicinal. Este dinamismo que caracteriza el conocimiento popular, entendido como el cúmulo dinámico de saberes empíricos y prácticas culturales de los pueblos acumulado a través de generaciones, obliga a una frecuente revisión sobre la incorporación de nuevas especies útiles y los saberes generados en determinados contextos o grupos sociales. En el caso de las plantas empleadas en medicina folk, muchas son introducidas y cultivadas con otra finalidad (ej. ornamentales) y una vez conocidas sus propiedades para curar en otros ámbitos, se incorporan al saber local, como sucede con algunas especies del género *Plectranthus* en la ciudad de Santiago del Estero.

La familia de las Labiadas (Lamiaceae, Labiatae) incluye a unos 230 géneros y unas 3000-7200 especies, ampliamente distribuidas en todo el mundo (Orfila y Farina, 1996; Harley *et al.*, 2004; Valverde, 2018), muchas de ellas conocidas y valoradas desde la antigüedad por sus usos medicinales y aromáticos (Puentes *et al.*, 2020)

como así también por su utilidad como ornamentales o melíferas, por lo que numerosas especies son cultivadas en centros urbanos de todo el mundo, incluso en regiones áridas y semiáridas.

Entre los géneros de Labiadas se encuentra *Plectranthus* L’Herit. (Nepetoideae, Ocimae), constituido por arbustos, subarbustos o plantas suculentas, aromáticas, que incluye unas 300 especies, en su mayoría originarias de regiones tropicales y subtropicales de Oceanía, África y Asia, ampliamente cultivadas alrededor del mundo (Harley *et al.*, 2004; Rice *et al.*, 2011; Waly y El Gayed, 2012; Musila *et al.*, 2017), por su valor medicinal y ornamental.

En la Argentina se cultivan numerosas de especies de Labiadas, principalmente del género *Salvia* L. (Boelcke, 1981; Dimitri, 2004; Cantero *et al.*, 2019). En la flora santiagueña el escaso número de especies cultivadas hace que la familia sea de poca importancia (Roic y Villaverde, 1999; Roger *et al.*, 2016).

En cuanto a *Plectranthus* L’Herit., en la provincia de Santiago del Estero, se ha citado hasta el momento la presencia de *Plectranthus barbatus* Andrews (Roger *et al.*, 2016). Este género, que incluye numerosas especies, muchas de ellas representando casos nomenclaturales sin resolver, ha sido tratado por autores como Paton *et al.* (2018 & 2019) que, al estudiar además géneros afines, proponen importantes cambios nomenclaturales de algunas de las especies en ellos incluidas.

El objetivo de este trabajo es informar sobre el uso popular para tratar afecciones de la salud de especies del género *Plectranthus* –sensu lato– entre los habitantes de la ciudad de Santiago del Estero, Argentina, además de registrar otros destinos de uso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es la ciudad capital de Santiago del Estero, Argentina (aprox. 27°47’17” S, 64°15’42” O), que se encuentra en la región chaqueña occidental o Chaco semiárido (Cabrera, 1971). El lugar se caracteriza por su clima cálido con precipitación media anual de 695 mm y temperatura media anual de 21,5 °C respectivamente. La temperatura máxima absoluta se registra en verano (47 °C) y la mínima absoluta en invierno (-5 °C), con ocurrencia de heladas entre mayo y agosto (Figura 1).

Mediante recorridos a pie por diferentes barrios de la ciudad, elegidos al azar, se registró la presencia de especies de *Plectranthus* L'Herit. cultivadas en jardines privados, espacios verdes públicos, ornatos de veredas y caminerías. En el caso de los jardines privados se solicitó el consentimiento de los propietarios, sobre los cuales además se aplicaron encuestas. Los registros se efectuaron en distintas épocas del año. Se recolectaron muestras botánicas que fueron herborizadas y acondicionadas, las que, una vez determinadas, se depositaron en el herbario del Jardín Botánico de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Las especies con aplicaciones medicinales se incorporaron a las colecciones del Jardín Botánico en el Sector de Plantas Medicinales.

Para el relevamiento del estado del conocimiento etnobotánicos sobre el uso de especies con fines medicinales, se realizaron entrevistas semiestructuradas a vecinos de los barrios seleccionados al azar y en cuyos domicilios se cultivaban alguna de las especies de *Plectranthus*. Se indagó sobre los nombres locales asignados, los usos medicinales, el tipo de afecciones que se trataba, las formas de uso y los órganos o partes vegetales empleados en las prácticas etnomedicinales, además de requerir información sobre la procedencia de los ejemplares cultivados. La exploración incluyó un total de 35 informantes, en su mayoría mujeres (74 %), todos mayores de edad, con un rango de edad promedio de 45 años.

La identificación botánica se hizo a nivel de especie, empleando bibliografía específica y comparación con muestras digitales de herbarios disponibles en portales web especializados como Jstor (2020) y Trópicos (2020). En algunos casos, y debido a la complejidad taxonómica del género, se recurrió a la consulta especialistas para resolver problemas con taxa de dudosa identificación. Para la asignación de los nombres científicos se utilizó la base de datos The Plant List (2020) y Trópicos (2020).

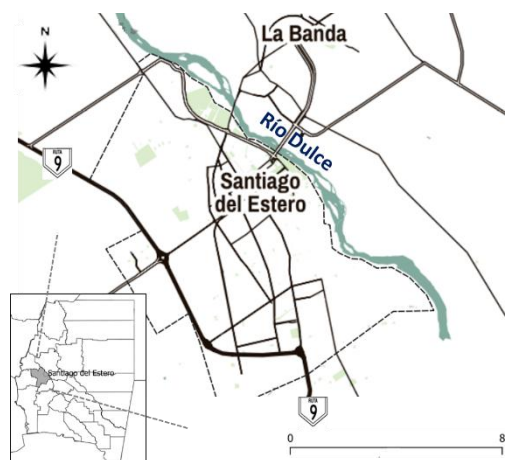


Figura 1. Área de estudio. Ciudad de Santiago del Estero (Argentina)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es conveniente señalar, al momento de presentar las especies relevadas en oportunidad de este trabajo, que recientes estudios filogenéticos han tratado el género *Plectranthus* y otros géneros afines (Paton *et al.*, 2018, 2019), de los que surgieron significativos cambios nomenclaturales de las especies originalmente incluidas en el género *Plectranthus*. Y debido a la dinámica de estos cambios, que los mismos no han sido incluidos en la base de datos botánicos empleada para el tratamiento nomenclatural de las especies relevadas. Por este motivo, las mismas con incluidas en el género *Plectranthus* –sensu lato– y para cada una se indicarán las respectivas sinonimias.

Se relevaron 6 especies del género *Plectranthus* que son cultivadas en Santiago del Estero tanto en jardines privados como espacios verdes públicos (plazas, paseos y veredas), sea por sus cualidades ornamentales o bien como plantas medicinales

De las especies de *Plectranthus* presentes son 2 las mencionadas por sus aplicaciones en la medicina doméstica: *P. barbatus* y *P. neochilus*, que además de ser las más difundidas en la ciudad, se cultivan también como plantas ornamentales. Los principales destinos de uso medicinal de estas especies tienen que ver con tratamientos de afecciones relacionadas con el aparato digestivo (empacho, purgativos, protector hepático, antiflatulento), también para resfriados, bronquitis, infecciones bucales y como diuréticos y para el insomnio. A continuación, se describen las especies relevadas, indicándose para cada una,

nombres científicos aceptados en la base de datos de referencia, las denominaciones locales, una breve descripción botánica, origen botánico y referencias a sus usos medicinales y otras referencias de uso en Santiago del Estero.

- 1- *Plectranthus barbatus* Andrews (= *Coleus barbatus* (Andrews) Benth. ex G.Don; *Coleus forskohlii* (Willd.) Briq.;) (Figuras 2 y 3)

Planta perenne, de porte arbustivo o sub-arbustivo, de hasta 2,5 (raro 3) m de altura. Tallos de sección cuadrangular y hojas opuestas a decusadas, ovado-oblongas, succulentas, pilosas. Muy aromática, con olor característico, y tallos de notable sección cuadrangular. Hojas succulentas, opuestas a decusadas, ovado-oblongas, pecioladas, pilosas, con bordes dentados, de 2,5-5 cm de ancho \times 4-12,5 cm de longitud. Flores de color azul-violáceo (raro blancas), corola labiada, dispuestas en racimos terminales, con verticilastros espaciados donde se insertan las flores en grupos de 2-5.

Especie nativa de bosques marginales de África e India, cultivada en varias partes del mundo, e incluso naturalizada en algunos sitios (Codd, 1975). Cultivada en el noroeste argentino, en particular en la región chaqueña. Introducida al cultivo en Santiago del Estero desde hace algunos años. Se utiliza localmente como medicinal (digestivo “para el empacho”, purgativo, problemas intestinales, infecciones estomacales en general, también para resfriados, bronquitis, e infecciones bucales); ornamental (en jardines, patios y veredas) y alimenticio (en infusiones como el mate). Recientemente, los organismos estatales de gestión urbana la han incorporado al arbolado de la ciudad, principalmente en paseos peatonales.

Nombres locales: “boldo paraguayo”, “buscapina”, “boldo de la India”, “boldo brasileiro”.

Material de Referencia: Díaz, 100; Roger, 948.



Figura 2. *Plectranthus barbatus*, cultivada en vereda y formando parte del arbolado público. Barrio Independencia, Santiago del Estero



Figura 3. *Plectranthus barbatus*. Ejemplar cultivado en un jardín privado. Barrio Los Flores, Santiago del Estero. A- vista del porte de la planta; B- Detalle de hojas, C- Detalle de inflorescencia.

- 2- *Plectranthus neochilus* Schltr. (= *Coleus neochilus* (Schltr.) Codd) (Figuras 4 y 5)

Hierba succulenta, rizomatosa, aromática, prostrada a erecta, de hasta 60 cm de altura. Tallos succulentos, normalmente de sección circular, que se entrelazan densamente. Hojas succulentas, opuestas, pecioladas, glabras o provistas de una fina pubescencia. Láminas elíptico-ovadas de 2-4,5 \times 1,5-3,5 cm, y márgenes dentados hacia el

ápice. Flores reunidas en cimas trímeras, dispuestas en racimos terminales de 7 a 17 cm. Núculas aovadas, glabras.

Nativa del sur de África, cultivada en diversas partes de mundo (Codd, 1975).

Junto con *Plectranthus barbatus* es la especie más difundida en el área de estudio. Su empleo conlleva diversos fines: medicinal (diurético, digestivo, protector hepático, antiinflamatorio, indigestión, insomnio, antiséptico); como ornamental es cultivada en jardines y patios, como matas o para formar cercos vivos). También posee carácter simbólico, ya que los entrevistados mencionan que sirve para ahuyentar perros, evitar la envidia, o atraer la fortuna.

Nombres locales: “buscapina”, “boldo rastro”, “boldo de la China”, “sertal”.

Material de Referencia: Roger, 974.



Figura 4. *Plectranthus neochilus*, cultivada en un jardín privado. Barrio Belgrano, Santiago del Estero

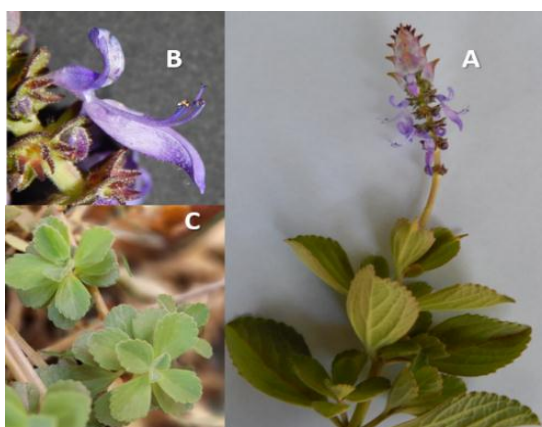


Figura 5. *Plectranthus neochilus*. A- Detalle de rama florífera; B- Detalle de flor, C- Detalle de hojas.

3- *Plectranthus madagascariensis* (Pers.) Benth. (= *Coleus aliciae* (Codd) A.J.Paton) (Figura 6)

Hierba aromática perenne, de hasta 45 cm de altura, con tallos procumbentes o erectos, tetragonos, provistos de fino indumento piloso. Los tallos pueden generar raíces adventicias al contacto con el suelo, facilitando su multiplicación. Hojas simples, ligeramente succulentas, pecioladas, variegadas, con tonalidades blanquecinas y a veces algunos leves matices rosados. Ápice foliar obtuso a redondeado, base truncada a cuneada y margen dentado con 3-7 pares de dientes. Flores de corola blanca, en cimas sésiles de 3-8 flores que forman verticilastros de 6-16 flores.

La especie es originaria de de los bosques marginales y secos de de Asia tropical y Australia (Codd, 1975).

Se emplea localmente como planta ornamental, para decoro de jardines. En ocasiones se observa en macetas de altura. Además, se utilizan sus ramas cortadas como repelente de insectos.

Nombres locales: “incienso”

Material de Referencia: Roger, 930.



Figura 6. *Plectranthus madagascariensis*, detalle de hojas. Barrio Cabildo, Santiago del Estero.

4- *Plectranthus scutellarioides* (L.) R.Br. (*Coleus scutellarioides* (L.) Benth. var. *scutellarioides*). (Figura 7)

Hierba perenne, aromática, erecta o decumbente de 50 a 90 cm de alto. Tallos succulentos tetra-angulados, finamente tomentosos. Hojas muy variables en tamaño, forma y color, pecioladas, membranáceas, oval-deltoides a oval-oblongas, de colores brillantes, manchados de rojizo, amarillento, y márgenes aserrados. Flores con coralo bilabiada, de color azul o blanquecino, en dicasios sésiles, agrupados en inflorescencias racimosas terminales, simple o apenas ramificado.

Originario de Asia oriental y Malasia, en donde se forman numerosos híbridos. Ampliamente difundido en jardines en los trópicos donde se cultiva como planta de macetas (Codd, 1975)

En Santiago del Estero es escaso su cultivo, aunque creciente. Se utiliza como planta ornamental en macetas de jardines privados, y se la observó esporádicamente como decoro en parques públicos.

Nombres locales: “coleo”, “plectantus”, “amaranto”, “cretona”

Material de Referencia: Roger, 1973.



Figura 7. *Plectranthus scutellarioides*, cultivado en maceta en un jardín privado. Barrio Siglo XXI, Santiago del Estero

5- *Plectranthus verticillatus* (L.f.) Druce. (Figura 8)

Hierba aromática, perenne, semisuculenta; tallos prostrados a ascendentes, apenas succulentos, tetragonos, subglabros a estrigosos con fino indumento de pelos cortos. Hojas simples, pecioladas, aovadas a redondeadas, succulentas (a veces semi succulentas), por lo general brillantes en el haz y púrpuras en el envés. Ápice agudo a

redondeado; base truncada a cuneada, y margen generalmente con 3-6 pares de dientes. Corola blanca (a veces con algunas manchas violáceas en el labio superior) dispuestas en cimmas sésiles de 1-3 flores que forman verticilastros de 2-6 flores, que finalmente se agrupan en inflorescencia terminal, simple o con un par de ramas en la base, de 5-22 cm de largo.

Originaria del sudeste de África, en bosques secos o marginales. Naturalizada en varios puntos del planeta. (Codd, 1975).

Se cultiva en jardines, con fines simbólicos, pues la creencia es que su cultivo “atrae la fortuna”, por lo que se suele colocar en los accesos de las viviendas. También citado como alimenticio.

Nombres locales: “dólar”, “dólar negro”

Material de Referencia: Roger, 1970.



Figura 8. *Plectranthus verticillatus*. Ejemplar cultivado en un jardín privado. Barrio Los Flores, Santiago del Estero. A- vista del porte de la planta; B- Detalle de hojas.

6- *Plectranthus zuluensis* T.Cooke. (Figura 9)

Hierba corpulenta, erecta, de 1-1,5 metros de altura, tallos subleñosos tetragonos, finamente tomentosos. Hojas pecioladas, simples, aterciopeladas, pubescentes; lámina ovada de 3-7 x 2-5 cm, con puntos glandulosos en el envés. Ápice agudo, base truncada a poco cuneada; margen con 7-12 pares de dientes. Corola azul pálido casi blanco, generalmente con veteado llamativo en el labio superior. Flores en cimmas sésiles de 3 flores que forman verticilastros de 6 flores. Inflorescencia terminal, simple o raramente ramificada cerca de la base, de 3,5-8 cm de largo.

Es nativa de bosques semicosteros, a lo largo de riberas de ríos, y bosques de Sudáfrica (Codd, 1975).

Especie de muy reciente introducción, por lo que es poco frecuente en su cultivo. Es utilizada como ornamental por la vistosidad de sus flores.

Nombres locales: “plectantus”, “flor espuela”

Material de Referencia: Roger, 945

Obs.: en una ocasión se registró el nombre de “insulina”, aunque se descarta que tenga relación con su uso medicinal.



Figura 9. *Plectranthus zuluensis*, detalle de rama con flores. Barrio Belgrano, Santiago del Estero.

En Santiago del Estero, el género *Plectranthus* ha sido introducido recientemente, y hasta el momento, solo se había reportado la presencia de una sola especie (Roger *et al.*, 2016). De las 300 especies que pertenecen al género, se conoce que 62 de ellas se utilizan con fines medicinales, ornamentales, alimenticios, condimenticios y forrajeros. (Lukhobaa *et al.*, 2006), muchas de ellas utilizadas en algunos países de Latinoamérica con esos fines, principalmente el caribe y Brasil (Ascensao *et al.*, 1998; Bennett y Prance, 2000; Costa, 2006; Arredondo Gómez *et al.*, 2012; Rijo *et al.*, 2012; Rojas *et al.*, 2012; Martínez-Gordillo *et al.*, 2013; Toth *et al.*, 2013; Salinas, 2015; Caro Ramírez, 2016; Méndez Santos y Rifá Téllez, 2016).

Otra de las particularidades de la información presentada en este trabajo tiene que ver con la asignación de los nombres locales. Los nombres vulgares o nombres locales tienen arraigo entre la población que los usa y se originan en el ingenio popular en relación a plantas útiles (Palacio y Roger, 2016). En el caso de las especies de *Plectranthus* que se utilizan con fines medicinales, se asocia el nombre con productos comerciales que poseen efectos curativos similares. Denominaciones como “boldo”,

“sertal”, o “buscapina”, son un claro ejemplo, aunque no es exclusividad de este género.

Siempre es importante mantener actualizado el listado de las especies que se introducen al cultivo en las ciudades (Roger *et al.*, 2016), por los riesgos ambientales que se pueden generar. Debido a su facilidad para multiplicarse agámicamente, las especies de *Plectranthus* podrían escaparse de cultivo e incluso naturalizarse, lo que no ha sido estudiado hasta el momento en Santiago del Estero, pero que ha sido mencionada para la vecina provincia de Tucumán (Pastoriza *et al.*, 2017).

4. CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta la importancia que ha tomado en los últimos tiempos el uso de plantas para tratar afecciones de la salud humana, resulta significativa la información aportada por este trabajo en relación a los usos medicinales de *Plectranthus* en Santiago del Estero, el primero que deja constancias de estos saberes etnomedicinales.

Adquieren singular importancia los saberes sobre plantas medicinales y su uso en ámbitos urbanos, ya que pone en evidencia el dinamismo que lo caracteriza en cuanto se incorporan tanto especies vegetales nuevas como nuevas prácticas etnomedicinales, algunas de ellas oriundas de otras regiones, además de la circulación de este tipo de conocimientos.

Se pone en evidencia el valor de especies como las que se mencionan en este trabajo, que, si bien son cultivadas por su impronta ornamental, tienen una doble finalidad en cuanto son incorporadas a las prácticas de medicina doméstica. Estas especies exóticas, consideradas como tal teniendo en cuenta su origen geográfico, pasan a integrar la etnoflora de Santiago del Estero.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Isidro Méndez, por su colaboración en la identificación de algunas especies.

6. REFERENCIAS

Arredondo Gómez, A., Ávila Ayala, R., Muñoz Gutiérrez, L. *Fichas descriptivas de 52 plantas ornamentales que se comercializan en la*

- Huasteca Potosina*. San Luis Potosí, INIFAP. 2012.
- Ascensao, L., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G., Schripsema, J., Deans, S.G., Scheffer, J.J.C. *Plectranthus madagascariensis*: morphology of the glandular trichomes, essential oil composition and its biological activity. *International Journal of Plant Sciences* 159, 31–38, 1998.
- Bennett, B.C., Prance, G.T. Introduced plants in the indigenous pharmacopoeia of Northern South America. *Economic Botany* 54: 90–102, 2000.
- Boelcke, O. *Plantas vasculares de la Argentina, nativas y exóticas*. Buenos Aires, Argentina, Fundación para la Ciencia, la Educación y la Cultura. 1981.
- Cabrera, A. L. Fitogeografía de la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 14 (1-2), 1-42, 1971.
- Cantero, J. J., Núñez, C. O., Mulko, J., Amuchástegui, A., Palchetti, M. V., Brandolín, P., Iparraquirre, J. Virginil, N., Bernardello, G. y Ariza Espinar, L. *Las plantas de importancia económica en Argentina*. Río Cuarto: UniRio Editora, 2019.
- Caro Ramírez J. Y. Estudio fitoquímico de los compuestos mayoritarios de las hojas frescas de la especie *Plectranthus neochilus* Schlechter y evaluación de su toxicidad aguda y actividad analgésica. 2016
<http://saber.ucv.ve/handle/123456789/15142>
- Carrizo, E. V., Palacio, M. O. Las plantas de uso medicinal en la flora de los alrededores de Santiago del Estero. *Dominguezia*, 18, 2002.
- Carrizo, E. V., Palacio, M. O. Empleo de plantas nativas en poblaciones rurales de Santiago del Estero. En Casenave, E. (Ed.), *Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial: de la FAyA al NOA* (págs. 269-284). Santiago del Estero, Argentina: Magna Publicaciones, 2013.
- Codd, L. E. *Plectranthus* (Labiatae) and allied genera in Southern Africa. *Bothalia* 11 (4):371-442, 1975.
- Costa, M. C. Uso popular e ações farmacológicas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae): revisão dos trabalhos publicados de 1970 a 2003. *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu* 8 (2): 81-88, 2006.
- Dimitri, M. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo 1, Vol 1° y 2°*. 3° Edición ampliada y actualizada. Buenos Aires, Acme Agency. 2004.
- Harley R.M., Atkins S., Budantsev A.L., Cantino P.D., Conn B.J., Grayer R., Harley M.M., De Kok R., Krestovskaja T., Morales R., Paton A.J., Ryding O. & Upson T. Labiatae. En: Kadereit J.W. (ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants. Flowering Plants. Dicotyledons: Lamiales (except Acanthaceae including Avicenniaceae)* 7: 167–275. Springer, Berlín. 2004.
- Jstor. 2020. <https://www.jstor.org/>
- Lukhobaa, C. W., Simmondsb M. y Patonb, A. J. *Plectranthus*: A review of ethnobotanical uses. *Journal of Ethnopharmacology* 103: 1–24, 2006.
- Martínez-Gordillo, M., Fragosó-Martínez, I., García-Peña, M. R., y Montiel, O. Géneros de Lamiaceae de México, diversidad y endemismo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 30-86, 2013.
- Méndez Santos, I. E., y Rifá Téllez, J. C. Dos especies de *Plectranthus* (Lamiaceae) de reciente introducción en Cuba. *Bouteloua* 26: 92-96, 2016.
- Musila, F. M., Lukhoba, C. W., Nguta, J. M., y Dossaji, S. F. Phylogeny of Ten Kenyan *Plectranthus* Species in the Coleus Clade Inferred from Leaf Micromorphology, Rbcl and MatK Genes. *Journal of Botany* 2017: 1-16. 2017.
<https://www.hindawi.com/journals/jb/contents/yeah/2017/https://doi.org/10.1155/2017/4369029>
- Orfila, E. N., Farina, E. L. Lamiaceae. En: Novara, L. (Dir) *Flora del Valle de Lerma* 4(2): 1-77 p. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. 1996.
- Palacio, M. O., y Roger, E. *Árboles autóctonos de Santiago del Estero. Guía para su reconocimiento en el Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic"*. Santiago del Estero, Argentina: EDUNSE., 2016.
- Pastoriza, A., Nasif, A., Martínez Pulido, L., Budeguer, C. J., y Andrada Mansilla, B. Análisis citogenético de *Plectranthus barbatus* Andrews naturalizado en la provincia de Tucumán, Argentina. *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 37 (1): 19-23, 2017.
- Paton, A., Mwanyambo, M., Culham, A. Phylogenetic study of *Plectranthus*, *Coleus* and allies (Lamiaceae): Taxonomy, distribution and medicinal use. *Botanical Journal of the Linnean Society* 188(4): 355–376., 2018.

- Paton, A.J., Mwanyambo, M., Govaerts, R.H.A., Smitha, K., Suddee, S., Phillipson, P.B., Wilson, T.C., Forster, P.I., Culham, A. Nomenclatural changes in *Coleus* and *Plectranthus* (Lamiaceae): a tale of more than two genera. *PhytoKeys* 129: 1-158., 2019.
- Paz, V. *Flora Santiaguense*. Santiago del Estero, Ed. El Liberal, 1941.
- Puentes, J. P., P. M. Arenas, J. A. Hurrell. Lamiaceae medicinales y aromáticas comercializadas en el Área Metropolitana de Buenos Aires, Argentina. *Bonplandia* 29(1): 5-20. 2020
- Rice, L.J., Britsb, G.J., Potgieter, C.J., y Van Staden, J. *Plectranthus*: A plant for the future? *South African Journal of Botany* 77: 947-959. 2011.
- Rijo, P., Fernandes A. S., Simões, F. y Pinheiro, L. Evaluation of diterpenoids from *P. ornatus* as potential COX-1 inhibitors. *Biomedical and Biopharmaceutical Research* 9 (1): 111-118, 2012.
- Roger, E., Palacio, M. O., Coria, O., Díaz, R. A. Notas sobre la flora urbana cultivada en la ciudad de Santiago del Estero, Argentina. *Multequina* 25: 1-13, 2016.
- Roic, L. D., Carrizo, E., Palacio, M., Sosa, M., Villaverde, A., Togo, J. Catálogo de plantas de Santiago del Estero silvestres y cultivadas utilizadas en medicina popular. *Rev. de Ciencia y Tecnología. UNSE.*, 1999.
- Roic, L. y A. Villaverde. Árboles y arbustos cultivados en la ciudad de Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho* 7: 79-88, 1999.
- Roic, L. D., Villaverde, A. *Flora Popular Santiaguense: aporte preliminar*. Santiago del Estero, Ed. El Liberal, 2007.
- Rojas, L. B., Cordero de Rojas, Y., Carmona Arzola, J., Usubillaga, A. Componentes volátiles de *Plectranthus coleoides* Benth. (Lamiaceae). *Revista de la Facultad de Farmacia* 54 (1): 17-20, 2012.
- Salinas, P. J. Plantas tóxicas comunes en el estado Mérida, Venezuela. *MedULA Revista de Facultad de Medicina* 24 (2): 89-97, 2012.
- The Plant List (2020). Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/>
- Togo, J.; M. A. Basualdo y N. Urtubey. Aprovechamiento socioeconómico de la flora autóctona de Santiago del Estero. *Indoamerica* 1-161, 1990.
- Toth, M.G., Burgos A.M., y Cenóz P.J. Multiplicación agámica de *Plectranthus ornatus* por medio de estacas. *Horticultura Argentina* 32(79): 25-31, 2013.
- Trópicos. Trópicos.org. Missouri Botanical Garden. 2020 <http://www.tropicos.org>
- Valverde, R. M. 2018. Las labiadas (Lamiaceae) de Chile. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 75 (1): 1-74.
- Waly, N. M., El Gayed, A. H. Botanical and biological studies of *Plectranthus tenuiflorus* (Vatke) Agnew. (Lamiaceae) growing in Saudi Arabia. *International Journal of Life Science and Pharma Research* 2(2): 52-64. 2012.

Relevamiento de precios y corrientes de residuos sólidos urbanos demandados por el mercado del reciclaje en Santiago del Estero

Pintos Soledad¹, Bravo Julio² Sarmiento Miguel³

(1) *Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
soledadmpintos@gmail.com

(2) *Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Católica de Santiago del Estero.*

(3) *Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
migui@unse.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo forma parte de un avance de la beca Estímulo a las Vocaciones Científicas (EVC-CIN) bajo la investigación “Servicios ambientales generados por la gestión de residuos sólidos reciclables por parte de recuperadores informales en la ciudad de Santiago del Estero. El propósito del estudio es obtener una información más amplia de las corrientes y precios de residuos sólidos urbanos recuperados por el mercado de reciclaje de la ciudad capital para el año 2018. La información se obtuvo bajo los siguientes pasos: (i) Reconocimiento del Mercado de Reciclaje Nacional, (ii) Entrevista a recuperadores informales locales, (iii) Reconocimiento del Mercado de Reciclaje Local. Se diseñaron y aplicaron por un lado entrevistas semiestructuradas a 10 familias de recuperadores informales y por otro, se aplicaron encuestas semiestructuradas a cinco dueños de las estaciones de acopio. Bajo este primer relevamiento del mercado de reciclaje local, se pudo identificar 5 estaciones de acopio. Una lista de 19 residuos sólidos urbanos, los mismos se distribuyen bajo cinco corrientes: papel, cartón, metales, plásticos y vidrios. Con esta información, se expone la existente posibilidad de valorizar y conducir al circuito productivo una diversidad de residuos sólidos urbanos provenientes de diferentes fuentes a nivel local.

Palabras claves: mercado-reciclaje-recuperadores-relevamiento

ABSTRACT

This work is part of a preview of the Stimulus to Scientific Vocations (EVC-CIN) scholarship under the investigation “Environmental services generated by the management of recyclable solid waste by informal waste collectors in the city of Santiago del Estero. The purpose of the study is to obtain more comprehensive information on the currents and prices of urban solid waste recovered by the recycling market of the capital city for the year 2018. The information was obtained under the following steps: (i) Recognition of the Market of National Recycling, (ii) Interview with local informal recyclers, (iii) Recognition of the Local Recycling Market. On the one hand, semi-structured interviews were designed and applied to 10 families of informal reclaimers and, on the other, semi-structured surveys were applied to five owners of the collection stations. Under this first survey of the local recycling market, it was possible to identify 5 collection stations. A list of 19 urban solid waste, they are distributed under five streams: paper, cardboard, metals, plastics and glass. With this information, the existing possibility of valuing and leading to the productive circuit a diversity of urban solid waste from different sources at the local level is exposed.

Keywords: market-recycling-reclaimers-survey

1. INTRODUCCIÓN

La actividad económica de la ciudad capital de Santiago del Estero genera residuos sólidos que

no son manejados según criterios de otras ciudades más desarrolladas. La disposición final de residuos se realiza a través de rellenos sanitarios, basurales semicontrolados o basurales

a cielo abierto. Solo dos municipios poseen como sitio de disposición final un relleno sanitario en la provincia. La tasa municipal referida a la recolección y tratamiento de residuos es de bajo costo y es muy común que la mayoría de los ciudadanos no la abonen. Por lo tanto, las partidas presupuestarias son insuficientes para generar una gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) como sucede en muchas provincias de Argentina (González, 2010).

Esta situación ha generado que otras personas ajenas al servicio de recolección domiciliaria de residuos realicen actividades paralelas de recolección y reciclado de residuos de la ciudad dando lugar al desarrollo de un circuito de reciclables (Pintos et al., 2019) conformando un mercado de reciclaje con más de 40 años de actividad (Pintos et al., 2018).

El mercado de reciclaje opera como cualquier otro mercado de bienes y servicios, donde existen consumidores y ofertantes (Meléndez Ábalos, 2006). A nivel local e internacional funciona a través de intermediarios (en pequeño o grande) que facilitan los acopios para los recolectores y consumidores.

Este mercado es una industria pujante en varios países. La importancia económica, social y ambiental se ha comprendido en aras de un menor impacto en la capacidad de carga. Esto es, una baja en la presión que la actividad del ser humano realizada sobre la naturaleza, ya que los recursos naturales tienen un límite para su recuperación, y en algunos casos no son renovables (Amado et al., 2016).

Debe subrayarse que la actividad recicladora en Argentina está siendo desarrollada a través de emprendimientos que responden a necesidades de la sociedad, el mercado y la promoción del reciclado por parte de la normativa internacional, nacional y provincial y municipal. Estas acciones colaboran con el objetivo de resolver algunos de los problemas más acuciantes de nuestro tiempo como el impacto negativo del uso intensivo de recursos naturales escasos (Devia, 2013).

Conocer el mercado del reciclaje, es ampliamente aceptado y recomendado por los organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través del Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA) y de la Agenda 21, que esta actividad debe de estar presente en las acciones que se

empresan para que la preservación del medio ambiente sea sustentable (Amado et al., 2016).

Con el fin de generar información base que aporten al mejoramiento de la gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad, es que se desarrolla el siguiente estudio.

Este trabajo forma parte de un avance de la beca Estímulo a las Vocaciones Científicas (EVC-CIN) bajo la investigación "Servicios ambientales generados por la gestión de residuos sólidos reciclables por parte de recuperadores informales en la ciudad de Santiago del Estero.

La finalidad del estudio es obtener información de la dinámica y organización del mercado de reciclaje de la ciudad capital de Santiago del Estero.

2. OBJETIVO

El objetivo perseguido en este estudio fue relevar precios y los principales residuos sólidos urbanos demandados por el mercado de reciclaje en la ciudad capital de Santiago del Estero.

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Materiales

Los instrumentos empleados en este estudio para la recolección de datos comprenden dos tipos:

a) Entrevista semiestructurada aplicada a 10 familias de recuperadores informales; b) Encuesta semiestructurada aplicada a los dueños de las estaciones de acopio. Las mismas fueron aplicadas durante el año 2018.

Los recuperadores informales son personas que recogen a diario material reciclable del flujo de los residuos sólidos urbanos en la ciudad y comercializan con el mercado de reciclaje local (Pintos et al., 2018). En dicho mercado se pudo identificar a cinco estaciones de acopio.

Las estaciones de acopio (EA) son los establecimientos dedicados a la compra-venta de los Residuos Sólidos Reciclables (RSR) proporcionados por los recuperadores/cartoneros, empresas o particulares para luego vender al por mayor a las plantas recicladoras.

3.2 Método

La recopilación de la información para esta investigación, se realizó bajo los siguientes pasos:

(i) Reconocimiento del Mercado de Reciclaje Nacional. Este estudio permitió identificar los precios y una lista de residuos sólidos reciclables demandados por la industria recicladora en el país. Se tomó como referencia el estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, denominado “Relevamiento de precios de materiales reciclables. Febrero de 2017”, (MAyDS, 2017) basado en solicitar a los responsables de las plantas de selección gestionadas por municipios, cooperativas o consorcios en distintos puntos del país que completen una planilla con precios y cantidades de su última venta.

(ii) Entrevista a recuperadores informales locales. A estos actores clave se los entrevisto en diferentes zonas y horarios de la ciudad, como zona céntrica, zona barrial y zonas cercanas a las estaciones de acopio. La entrevista comprendió: Sección I) datos personales, sección II), Material recuperado y procesos de recuperación (fuentes, transporte, acondicionamiento, etc.), sección III): datos sobre sitios de disposición final o venta. Acompañado de un registro fotográfico que permitió registrar las etapas y herramientas que intervienen durante la recuperación y acopio de los residuos sólidos reciclables.

(iii) Reconocimiento del Mercado de Reciclaje Local. En función de la información suministrada por los recuperadores informales, informantes clave de esta etapa, se identificaron cinco estaciones de acopio. A partir de esta información, se procedió a la elaboración de una encuesta semiestructurada, destinada a quienes se dediquen a la compra y venta residuos sólidos reciclables. La encuesta tuvo como objetivo principal conocer la dinámica del mercado de reciclaje de la ciudad Capital de Santiago del Estero.

La encuesta estuvo compuesta por veinticinco preguntas, distribuidas en cuatro secciones. Sección I) Datos de la estación, sección II) Reciclables y procesos productivos, sección III) Relación con recuperadores informales y sección IV) Costos y estrategias de compra-venta. De lo cinco sitios identificados, todos aceptaron ser encuestados, aunque no todos contestaron la totalidad de preguntas.

4. RESULTADOS

4.1 Mercado de Reciclaje Nacional

Tras investigar el mercado de reciclaje nacional, se resume en la Tabla N° 1 una lista de residuos sólidos reciclables comercializados para febrero del año 2017. Se identificaron 33 tipos de residuos distribuidos en ocho categorías o corrientes: papel, cartón, plásticos, vidrio, metal, textil, Cuero y aceite.

Tabla 1. Lista de residuos que recupera el mercado de reciclaje nacional.

N°	Residuo Reciclable
1	Papel Mezcla
2	Papel Blanco
3	Papel Diario
4	Papel Revista
5	Cartón 1°
6	Cartón 2°
7	Tetrabrick
8	Polietileno de Tereftalato Cristal
9	Polietileno de Tereftalato Verde
10	Polietileno de Tereftalato Azul
11	Polietileno de Tereftalato Mezcla
12	Polietileno de Tereftalato Aceite
13	Plástico Duro
14	Soplado Natural
15	Soplado Blanco
16	Soplado Amarillo
17	Soplado Tuti
18	Nylon
19	Telgopor
20	Tapitas
21	Vidrio transparente
22	Vidrio mezclado
23	Botellas
24	Cobre
25	Aluminio
26	Bronce
27	Hierro
28	Plomo
29	Latas de Acero
30	Trapo Mezcla
31	Aceite usado
32	Goma y Caucho
33	Cuero

4.2 Recuperadores informales locales

Según la información de los resultados de las entrevistas a las 10 familias de recuperadores locales se identificaron cinco estaciones de acopio. La información proporcionada permitió elaborar posteriormente una encuesta semiestructurada destinada a los dueños de las EA.

4.3 Reconocimiento del Mercado de Reciclaje

Local:

El estudio de MAyDS (2017) reporta 33 tipos de material reciclable. En Santiago del Estero nuestro estudio permitió identificar una primera lista de 19 residuos sólidos reciclables recuperados por las estaciones de acopio. Los mismos se distribuyen en 5 corrientes: papel, cartón, plástico, metal y vidrio. La Tabla 2 lista los residuos recuperados, a diferencia del mercado nacional (Tabla 1) que recupera 33 tipos de residuos reciclables.

La procedencia de los residuos que ingresan a las estaciones de acopio, puede ser del tipo pos-consumo, cuyas fuentes principales de generación son domiciliaria, institucional y/o comercial. Por otro lado, los residuos que derivan como *scrap*s industrial, proveniente de empresas que fabrican o envasan productos del ámbito local.

Tabla 2. Lista de residuos que recupera el mercado de reciclaje local. 2018

N°	Residuo Reciclable
1	Papel Blanco
2	Papel Diario
3	Papel Revista
4	Cartón
5	Polietilentereftalato Cristal
6	Polietilentereftalato Verde
7	Polietilentereftalato Azul
8	Plástico Duro
9	Soplado o pomo Blanco
10	Soplado o pomo Amarillo
11	Soplado o pomo Tuti
12	Nylon
13	Vidrio
14	Cobre
15	Aluminio
16	Bronce
17	Hierro
18	Plomo
19	Chatarra

En la categoría papel se recupera el papel blanco, revistas y diarios. En el caso de cartón se recupera tanto liso como corrugado. En cuanto al plástico, se recuperan botellas de Polietilentereftalato (PET) en colores cristal, verde y celestes/azules, mientras que las marrones no son comercializadas

por ninguna estación de acopio. Otro tipo de envases plásticos son las botellas de polietileno de alta densidad (PEAD) usadas en productos de limpieza e higiene (botellas de lavandina, detergentes, shampoo, etc) en colores variados. También se presenta en esta categoría el film de PEAD usado en los envoltorios de electrodomésticos, alimentos o packs de bebidas. Para el caso de los metales se informó que se recuperan aluminio, plomo, cobre, bronce y chatarra. Con respecto al vidrio, se recuperan botellas para ser reutilizadas como envase, aunque también se recupera vidrio roto. Se destacó además que para esta corriente de reciclables su demanda es baja y su manipulación es riesgosa y costosa.

4.4 Precios de los Residuos Reciclables

La Tabla N° 3 muestran los precios promedio para la compra por las 5 estaciones encuestadas. Se observa que en promedio el papel blanco tiene una mayor valoración siendo de \$ 2,00 por kg, dentro de la categoría plástico el PET cristal sobresale con \$ 3,10 por kg, y finalmente para la categoría de metales el cobre es el mejor valorado con \$ 67,60 en cambio la chatarra presenta una valoración baja de \$0,80 por kg. Para el caso del vidrio la valoración es muy baja, siendo está de \$0,30 por kg.

Cabe resaltar que los dueños de las estaciones de acopio destacaron que el precio del vidrio es muy bajo en comparación al resto del material reciclable. Explicaron que se debía a que, en el momento, el mercado del vidrio se encuentra poco o nulo demandante o dada la complejidad de su manejo y la falta de herramientas impiden la compra por algunas de estas.

Tabla N° 3: Precios promedio por tipo de residuos reciclable ofrecido por las estaciones de acopio. Junio 2018. A un tipo de cambio de US\$1 dólar= \$28,40 pesos.

N°	Residuos Reciclable	Precio Promedio por Kg en pesos \$	Precio Promedio por Kg en Dólares US\$

1	Papel Blanco	\$ 2,00	0,07
2	Papel Diario	\$ 1,50	0,05
3	Papel Revista	\$ 1,00	0,03
4	Cartón	\$ 1,44	0,05
5	Polietilentereftalato Cristal	\$ 3,10	0,1
6	Polietilentereftalato Verde	\$ 1,80	0,06
7	Polietilentereftalato Azul	\$ 1,80	0,06
8	Plástico Duro	\$ 1,80	0,06
9	Soplado Amarillo	\$ 2,40	0,08
10	Soplado Blanco	\$ 2,40	0,08
11	Soplado Tuti	\$ 2,40	0,08
12	Nylon Strich	\$ 0,80	0,02
13	Nylon Cristal	\$ 1,60	0,06
14	Vidrio	\$ 0,32	0,01
15	Cobre	\$ 67,60	2,38
16	Aluminio	\$ 12,20	0,4
17	Bronce	\$ 43,80	1,54
18	Plomo	\$ 18,80	0,66
19	Chatarra	\$ 0,80	0,02

5. CONCLUSIONES

Bajo este primer relevamiento del mercado de reciclaje local, se pudo identificar una lista de 19 residuos sólidos con potencial reciclable. Los mismos se distribuyen en cinco corrientes: papel, cartón, metales, plásticos y vidrios.

Cabe destacar que de todos los materiales, el polietileno de alta densidad (PEAD) denominados bajo su nombre vulgar como nylon cristal y nylon strich es comercializado y reciclado a nivel local, aunque no es solicitado por todas las estaciones de acopio. Se trata de un material directamente reciclado en la provincia. Mientras que el resto

del material es comercializado con el mercado nacional y/o internacional de reciclaje.

A pesar de que el vidrio es 100% reciclable la baja o nula demanda por parte del mercado nacional, sumado el costo y el esfuerzo del tratamiento impide que este material sea recuperado a nivel local para ser reciclado por la industria.

Esta primera identificación del mercado de reciclaje local permitió identificar nichos potenciales a explotar como lo es el mercado textil o de aceites vegetales, ya que no son comercializados por las estaciones de acopio identificadas.

En relación a los precios promedios del material reciclable el vidrio, la chatarra y el nylon strich son los que presentan menor valor. Para el caso de los metales como el cobre, bronce, aluminio y plomo son los materiales mejores pagados.

Con este estudio preliminar, se expone la posibilidad de valorizar y conducir al circuito productivo una diversidad de residuos sólidos urbanos provenientes de diferentes fuentes a nivel local, evitando que estos lleguen a los sitios de disposición final de la ciudad para ser colocados en el relleno sanitario o destinados a su incineración.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las familias de recuperadores informales y a los dueños de las estaciones de acopio por la valiosísima información brindada, aportando a este trabajo y a la comunidad Santiagueña en general.

7. REFERENCIAS

- Devia, L. 2013. Núcleo Socio-productivo Estratégico Reciclado de Distintas Corrientes de Residuos. Documento de referencia. Pág 1-12.
- González, G. 2010. Residuos Sólidos Urbanos. Argentina. Tratamiento y Disposición Final. Situación actual y alternativas futuras Área de pensamiento estratégico diciembre 2010.
- Meléndez Ábalos, C. Estudio sobre el mercado potencial del reciclaje en el Salvador. Informe Final Proyecto Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador SLV/B7-3100/98/0232 UE-GOES El Salvador. 2006
- Pintos, M.; Bravo J.; Sarmiento, M. 2018. Mercado del Reciclaje: Relevamiento de precios y Residuos sólidos reciclables, en la

- ciudad Capital de Santiago del Estero, Argentina. XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología del NOA Organizado por CODINOA Facultad de Ciencias Forestales UNSE. (Poster) DOI: 10.13140/RG.2.2.26234.95681
- Pintos, M. Bravo J. y Sarmiento M. 2019. Tipos de procesos productivos del mercado de reciclaje en la ciudad de Santiago del Estero, Argentina. XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología - Facultades de Ingeniería del NOA. 5 y 6 de septiembre en la Universidad Nacional de Tucumán. Argentina (poster) DOI: 10.13140/RG.2.2.19954.12483
- MAyDS. 2017. Relevamiento de precios de materiales reciclables. Febrero. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2017
- Romero Amado, J.; López Toache, V.; Toache Bertolini, G. 2016. Características del mercado de reciclaje en Guerrero. Aproximación a las empresas. Revista Delos Vol 9, N°27, pág. 5-19

Conocimiento popular de epífitas y parásitas forrajeras en Santiago del Estero, Argentina

Roger, Enrique¹; Palacio, Manuel¹

(1) Jardín Botánico "Lucas D. Roic", Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

eroger@unse.edu.ar; mopalacio@gmail.com

RESUMEN

El conocimiento popular relacionado con los recursos vegetales forrajeros se considera una información importante para las acciones de uso y conservación de la diversidad especialmente en zonas áridas y semiáridas, donde la ganadería tradicional es una de las principales prácticas socio-productivas, tal como ocurre en Santiago del Estero. Siguiendo la metodología propia de la etnobotánica se indagó sobre las plantas epífitas y parásitas reconocidas por su aptitud forrajera entre productores campesinos locales, pues para estos grupos biológicos no se habían registrado antecedentes locales. Se recolectó y herborizó material vegetal siguiendo técnicas usuales. Se registraron 16 especies forrajeras, 9 epífitas y 7 parásitas, que representan el 45 % de la flora epífita y parásita registrada a nivel local. Se presenta información sobre aspectos botánicos, estrategias de manejo de las especies, animales que consumen las plantas y partes consumidas. Las plantas epífitas y parásitas forman parte de la dieta de distintos tipos de ganado en Santiago del Estero, lo que evidencia nuevamente el valor de la flora local en la ganadería tradicional. La información que se presenta puede servir al momento de definir planes de manejo ganadero y estrategias de conservación de la diversidad vegetal.

ABSTRACT

Popular knowledge of forage plant resources is considered important information for actions for the use and conservation of diversity, especially in arid and semi-arid zones, where traditional livestock farming is one of the main socio-productive practices, as occurs in Santiago del Estero. Following an ethnobotanical methodology, it was investigated about the epiphytic and parasitic plants recognized for their forage aptitude among local peasant producers, since no local antecedents had been recorded for these biological groups. Plant material was collected and botanized following usual techniques. 16 forage species were recorded, 9 epiphytes and 7 parasites, which represent 45% of the epiphytic and parasitic flora registered for Santiago del Estero. Information on botanical aspects, species management strategies, animals that consume the plants and parts consumed are presented. Epiphytic and parasitic plants are part of the diet of different types of cattle in Santiago del Estero, which again shows the value of the local flora in traditional livestock. The information presented can be used when defining livestock management plans and strategies for the conservation of plant diversity.

Palabras claves: Forrajeras – Epífitas – Parásitas – Chaco Semiárido

Keywords: Forages - Epiphytes - Parasites - Semiarid Chaco

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería tradicional es una práctica socio-productiva relevante entre las poblaciones rurales de la región chaqueña semiárida, entre otras cosas, por su importancia para la subsistencia y el ingreso de recursos monetarios.

Este tipo de práctica requiere casi exclusivamente de los recursos que ofrecen los bosques nativos, en especial las plantas forrajeras, por su incidencia directa sobre las posibilidades de alimentación animal, en cantidad y calidad. En zonas áridas y semiáridas el empleo de plantas nativas para la alimentación animal constituye

una alternativa que permite mejorar la calidad de la dieta ganadera, y el principal aporte forrajero proviene del pastizal y de las especies leñosas (Carrizo y Palacio, 2010). Es por esto que los pequeños productores locales que practican la ganadería tradicional suelen tener un amplio conocimiento sobre la aptitud forrajera de las especies nativas, que fuera heredado de las generaciones precedentes o bien construido desde sus propias prácticas y observaciones.

Desde el enfoque etnográfico, a estos saberes se los conoce como “Conocimiento botánico tradicional” o “Conocimiento etnobotánico”, y la recopilación de este saber popular se ha reconocido por su importancia para el desarrollo sustentable, con alcance a ámbitos productivos y económicos (Toledo, 1982).

La etnobotánica, ciencia que en su sentido más amplio estudia la relación de los seres humanos con su entorno vegetal, suele tener por objeto de estudio ese conocimiento popular. Por lo tanto, los estudios etnobotánicos permiten conocer y valorar los recursos vegetales en un contexto dado, ya que desde ese enfoque metodológico se puede observar las acciones y discursos orientados por el conocimiento botánico tradicional.

En la región chaqueña semiárida, la comunidad biológica vegetal del ecosistema natural se constituye, por lo general, de árboles, arbustos, plantas herbáceas de diverso porte, acompañados de enredaderas, epífitas en gran abundancia, musgos y otros grupos biológico de menor interés (adaptado de Ledesma, 2009), cada uno de ellos con diferente potencial para proveer recursos forrajeros, y que suelen ser reconocidos por la población.

En Santiago del Estero existe un rico conocimiento popular acerca de las plantas de interés forrajero, que ha sido señalado en numerosos trabajos (Carrizo y Palacio, 2013). Sin embargo, los antecedentes locales consultados en este contexto, con mayor frecuencia hicieron referencia a las forrajeras leñosas (Togo *et al.*, 1990; Carrizo y Palacio, 2010, 2013; Palacio *et al.*, 2011; Riat, 2012, 2015; Roger y Hurrell, 2015; Roger, 2017), con escasas menciones respecto a la condición forrajera de epífitas y parásitas.

El conocimiento por parte de los pobladores rurales es importante por su rol en el uso y conservación de los recursos naturales, por lo que el objetivo de este trabajo fue, desde un enfoque etnobotánico, registrar las plantas epífitas y

parásitas reconocidas por su aptitud forrajera y recuperar los saberes tradicionales relacionados con su uso, entre algunos grupos de productores ganaderos campesinos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en áreas rurales de distintos puntos de la provincia de Santiago del Estero. Ésta se ubica en el centro-norte de la Argentina (localización aproximada: 25° 35' y 30° 27' S; 61° 40' y 65° 10' O), con una extensión territorial de unos 136.350 km², la octava en el país en materia de superficie. En total, se trabajó en 14 departamentos de la provincia (Figura 1).

El clima es típicamente semicontinental, subtropical, con período estival lluvioso, temperatura media anual de 20,6 °C, con 500-800 mm de precipitación anual y balance hídrico negativo la mayor parte del año (Ledesma y Boletta, 1972; Torres Bruchman, 1981).

Desde el punto de vista fitogeográfico pertenece en su mayor parte al Distrito Chaqueño Occidental, cuya formación vegetal característica es el bosque xerófilo, con comunidades clímax de “quebracho colorado santiagueño” (*Schinopsis lorentzii*) y “quebracho blanco” (*Aspidosperma quebracho-blanco*), con una pequeña porción territorial correspondiente al Distrito Chaqueño Serrano (Cabrerá, 1971). La estructura general del bosque se interrumpe en unidades de vegetación particular como las estepas halófilas, sabanas, arbustales y zonas de serranías. En dependencia de su ubicación geográfica, la estructura vertical de la vegetación puede alcanzar cuatro estratos, uno superior con las dos especies arbóreas dominantes; un estrato medio con diversas especies de árboles, entre otros, del género *Prosopis*, un estrato bajo con árboles pequeños y arbustos como por ejemplo *Geoffroea decorticans*, *Parkinsonia praecox*, *Senegalia* spp., *Vachellia* spp., *Mimosa* spp. y Caparidáceas y Cactáceas varias; y un estrato inferior con una diversidad importante de dicotiledóneas herbáceas, gramíneas, licófitos, helechos, epífitas, parásitas, musgos y líquenes.

En esta provincia las principales actividades económicas son la ganadería, la agricultura y la explotación forestal. Sin embargo, la ganadería tradicional o la “silvoganadería” constituye la actividad económica predominante entre los pequeños productores locales (Paz, 1998; Carrizo

y Palacio, 2010, 2013; Guzmán *et al.*, 2012; Roger y Díaz Zírpolo, 2014). Ésta es realizada en forma rudimentaria, con una o varias especies de ganado “criollo” (bovinos, caprinos, porcinos, equinos, ovinos y aves de corral) en la cual, el aporte de los recursos del bosque es primordial (Palacio *et al.*, 2011).

2.2. Exploración etnobotánica

Los trabajos se iniciaron en el año 2012 y se extendieron hasta 2019. Para ello, se utilizaron herramientas metodológicas usuales de la etnobotánica, particularmente desde su enfoque cualitativo (Alexiades & Sheldon, 1996; Albuquerque *et al.*, 2014; Martínez, 2015).

Para la obtención de la información etnobotánica de interés se emplearon entrevistas semiestructuradas, talleres, entrevistas a informantes clave, y caminatas etnobotánicas, técnicas que se aplicaron entre pobladores campesinos dedicados a la actividad ganadera tradicional, radicados en 14 departamentos de la provincia de Santiago del Estero (Figura 1).

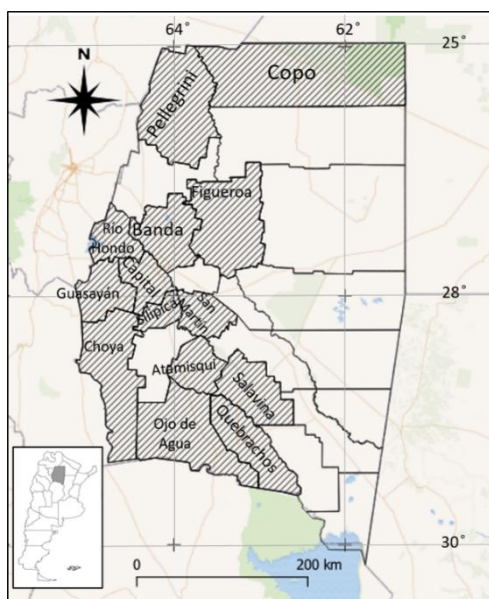


Figura 1. Localización del área de estudio

En las entrevistas se consultó sobre las especies epífitas y parásitas reconocidas como forrajeras, sus nombres locales, las especies animales que las consumen, las partes consumidas y las prácticas de manejo vinculadas, en el caso que éstas existieran. La información se complementó con caminatas junto a los informantes, en el interior

de sus predios. En talleres se socializó la información sobre las plantas forrajeras.

Por su parte, durante las caminatas con los colaboradores, se recolectó *in situ* material vegetal, que sirvió de referencia para el análisis de la información en gabinete. En esa ocasión se registró, además, los géneros y especies hospedantes de las plantas estudiadas.

2.3. Procesamiento de la información

Se elaboró un listado con las epífitas y parásitas forrajeras mencionadas durante la fase de exploración etnobotánica. Para ello, el material recolectado a campo se acondicionó e identificó de acuerdo a las técnicas botánicas más usuales. Una vez determinados, los especímenes de referencia se depositaron en el herbario del Jardín Botánico “Lucas D. Roic” de la Facultad de Ciencias Forestales (Universidad Nacional de Santiago del Estero). Para el análisis de la forma biológica, estatus de distribución y asignación de nombres científicos aceptados se adaptó lo propuesto por Zuloaga *et al.* (2019).

Por epífita (del griego *epi*, “sobre”, y *phyto*, “planta”) se entendió a aquellas plantas que viven sobre otras (que les sirven sólo de soporte) sin contacto con el suelo, mientras que por parásita se consideró a aquellas plantas que viven adheridas a otras, de las que extraen sus nutrientes en forma parcial u obligatoria (Font Quer, 1975; Marzocca, 1985; Granados-Sánchez *et al.*, 2003).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron 16 especies forrajeras, 9 epífitas y 7 parásitas (Tabla 1), que pertenecen a 7 familias botánicas, siendo Bromeliaceae la más diversa. Se incluyeron 8 géneros, siendo *Tillandsia* el más numeroso (6 especies), seguido de *Proradendron*, *Prosopanche* y *Rhipsalis* (2 cada uno). El resto de los géneros incluyó una única especie. Todas las especies mencionadas fueron de origen nativo.

Aun cuando el número de especies epífitas y parásitas relevadas por su valor forrajero es relativamente bajo en cuanto respecta a la diversidad de la flora santiagueña (unas 1200 especies estimativamente), representan sin embargo el 45 % de la flora epífita y parásita registrada para Santiago del Estero, constituida aproximadamente por unas 35 especies, con lo cual se puede interpretar el valor productivo de estos grupos biológicos.

Se registraron nombres vernáculos para casi todas las especies, a excepción de *Rhipsalis*

lumbricoides. Los nombres locales más comunes fueron “clavel del aire” para especies del género *Tillandsia* y “liga” para las especies de las familias Loranthaceae y Viscaceae.

El ganado que consume estas plantas es variado, pero su aporte más importante fue para el ganado menor, principalmente caprino, ovino y porcino (Tabla 1).

De acuerdo a los datos aportados por los interlocutores, los órganos consumidos más frecuentemente son hojas y tallos (Figura 2, Tabla 1), mientras que en los antecedentes consultados suele preponderar el empleo de frutos y hojas (Carrizo y Palacio, 2010, 2013; Palacio, *et al.*, 2011; Riat, 2012, 2015). No se mencionó el empleo forrajero de raíces para este grupo de plantas, pero es posible que cuando los animales ingieren los rizomas de las especies de *Prosopanche*, consuman también las raíces.

Respecto al tipo biológico de las plantas involucradas en la alimentación del ganado, el mayor porcentaje correspondió a hierbas epífitas (56 %) y lo menos común fueron las formas arbóreas parásitas (6 %) (Figura 3).

Entre las prácticas de manejo, se pudo observar la “recolección” que consiste en la obtención a campo de las plantas para la provisión de los animales en los corrales. Las mismas suelen recogerse en la época invernal o a principios de primavera, cuando es escaso el aporte de otros tipos de forraje. La recolección puede ser manual o bien suelen utilizarse cañas con ganchos en las puntas, como ayuda (Figura 4 A y B). En ocasiones, cuando se apean o podan árboles con fines madereros, suelen recogerse las plantas epífitas o parásitas presentes en las ramas caídas al suelo, o se liberan los animales para el pastoreo en la zona.

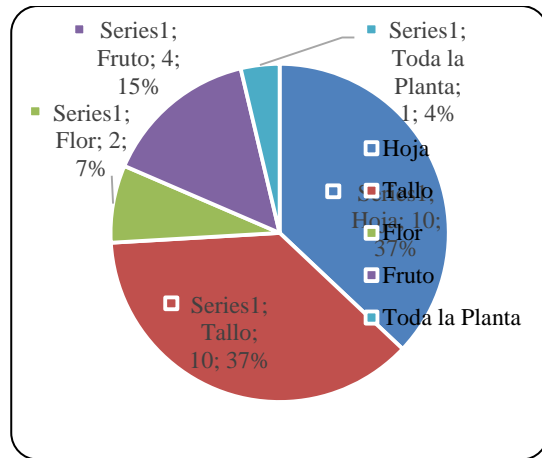


Figura 2. Partes de las plantas epífitas y parásitas mencionadas como forrajes

La importancia forrajera del género *Tillandsia* cuenta con algunos antecedentes para la región, como Jiménez-Escobar (2015) que citó unas 11 especies en la provincia de Catamarca, o en otros países, estudios como el de Krömer *et al.*, (2020) quienes dan cuenta al respecto. Hasta el momento, sólo se había citado una especie forrajera del género para Santiago del Estero (Carrizo y Palacio, 2013).

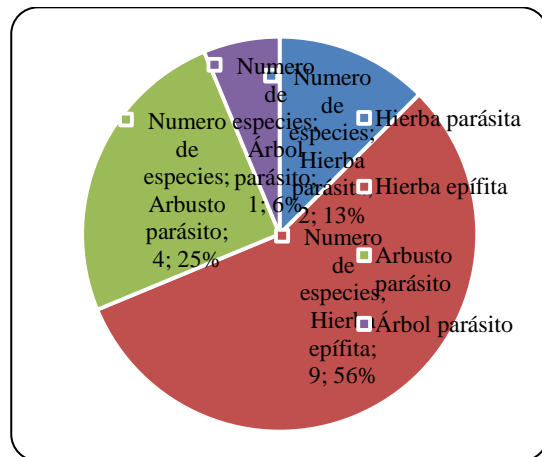


Figura 3. Número de especies epífitas y parásitas forrajeras según tipo biológico

Tabla 1. Listado de las Epífitas y parásitas forrajeras de Santiago del Estero

Familia/Nombre científico	Nombres locales	Tipo biológico	Tipo de ganado	Parte consumida	Géneros hospedantes	Referencia
Aristolochiaceae						
<i>Prosopanche americana</i> (R. Br.) Baill.	espinazo de la tierra, flor de tierra huaicurú, quiruquiru	Hierba parásita	PO	FL, FR	<i>Prosopis</i>	Roger, 595
<i>Prosopanche bonacinae</i> Speg.	flor de tierra, huaicurú	Hierba parásita	PO	FL, FR	<i>Prosopis</i>	Roic, s-n
Bromeliaceae						
<i>Tillandsia bandensis</i> Baker	clavel del aire	Hierba epífita	BO, CA, OV	HO, TA	Numerosos géneros	Roger, 1005
<i>Tillandsia capillaris</i> Ruiz & Pav.	clavel del aire	Hierba epífita	BO, CA, EQ, OV	HO, TA	Numerosos géneros	Roger, 744
<i>Tillandsia duratii</i> Vis.	azahar, azahar morado, chasca clavel del aire, cucurucho	Hierba epífita	BO, CA, EQ	HO, TA	Numerosos géneros	Roger, 377
<i>Tillandsia lorentziana</i> Griseb.	clavel del aire, cucurucho	Hierba epífita	BO, CA, OV	HO, TA	<i>Aspidosperma</i> , <i>Ceiba</i> , <i>Cereus</i> , <i>Schinopsis</i>	Roger, 353
<i>Tillandsia tricholepis</i> Baker	clavel del aire	Hierba epífita	BO, CA, EQ	HO, TA	Numerosos géneros	Roger, 038
<i>Tillandsia xiphioides</i> Ker Gawl.	azahar blanco, flor de aire, huayampi	Hierba epífita	BO, CA, EQ	HO, TA	Numerosos géneros	Roger, 571
Cactaceae						
<i>Rhipsalis aculeata</i> F.A.C. Weber	soldaquín, suelda	Hierba epífita	CA, OV, PO	FR	<i>Anadenanthera</i> , <i>Prosopis</i>	Roic, s-n
<i>Rhipsalis lumbricoides</i> (Lem.) Lem. ex Salm-Dyck	No registrado	Hierba epífita	CA	FR	No registrado	
Loranthaceae						
<i>Ligaria cuneifolia</i> (Ruiz & Pav.) Tiegh.	liguilla, muérdago	Arbusto parásito	BO, CA, EQ, OV	HO, TA	<i>Geoffroea</i> , <i>Prosopis</i> , <i>Senegalia</i> , <i>Vachellia</i>	Roger, s-n
<i>Struthanthus uraguensis</i> (Hook. & Arn.) G. Don	liga de árbol, liga de mistol	Arbusto parásito	BO, CA	HO, TA	<i>Celtis</i> , <i>Prosopis</i> , <i>Ziziphus</i>	Roger, 523
Olacaceae						
<i>Ximenia americana</i> L.	albarillo, albarillo de campo, pata	Arbusto o árbol parásito	BO, CA, EQ	FR	No registrado	Roger, 589
Parmeliaceae						
<i>Usnea</i> sp.	barba del monte, barba i viejo sajasta	Hierba epífita	BO, CA	TP	<i>Aspidosperma</i> , <i>Libidibia</i> , <i>Schinopsis</i>	Roger, 107

Viscaceae						
<i>Phoradendron argentinum</i> Urb.	liga	Arbusto parásito	BO, CA, PO	HO, TA	Numerosos géneros	Roger, s-n
<i>Phoradendron quadrangulare</i> (Kunth) Griseb.	liga	Arbusto parásito	BO, CA, PO	HO, TA	Numerosos géneros	Roger, 503

Ref: BO, bovino; CA, caprino; EQ, equino; PO, porcino; OV, ovino; TP, toda la planta; HO, hoja; TA, tallo; FL, flor; FR, fruto

Ligaria cuneifolia se había señalado como forraje de caprinos y bovinos (Riat, 2012), por lo que se amplía su aprovechamiento por parte de equinos y ovinos.

Las especies del género *Phoradendron* (Figura 4 C) se incluyeron en la dieta de bovinos, caprinos y porcinos, con importancia particular en la época invernal, cuando son recolectadas ante la escasez de los forrajes más comunes, mientras que las del género *Prosopanche* (Figura 4 D) representaron un aporte nutricional importante para el ganado porcino, como se pudo comprobar en los relatos vertidos en las entrevistas.



Figura 4. Recolección de epífitas y parásitas en forma manual o con cañas; C. *Phoradendron quadrangulare*; D. *Prosopanche americana*

4. CONCLUSIÓN

La información que se presenta en este trabajo señala el rol de las plantas epífitas y parásitas en la dieta de distintos tipos de ganado, indicando fehacientemente cuán beneficiosas pueden resultar para la actividad ganadera en distintos

contextos, en particular el semiárido. Por ello, su presencia en la composición florística de una determinada región, es un dato de singular valor, el cual debiera tomarse en cuenta al momento de definir planes o estrategias de manejo de la diversidad en el contexto silvopastoril o ganadero.

Una vez más queda evidenciado el valor del conocimiento popular en el desarrollo de actividades productivas campesinas, por lo que el mismo es un recurso significativo cuya consulta puede servir de herramienta para las estrategias de conservación y aprovechamiento racional y sustentable de los recursos vegetales. De esta manera, el conocimiento sobre la oferta, distribución, prácticas locales y vínculo entre personas y plantas forrajeras puede ser un aspecto a tener en cuenta en la toma de decisiones en este marco.

Este trabajo, el primero en dedicarse en forma exclusiva al estudio a los aportes de las epífitas y parásitas en la alimentación de la ganadería tradicional de Santiago del Estero, respalda la importancia de la flora local en diversas actividades productivas en la provincia, evidenciando una vez más la importancia de su protección y conservación.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Forestales (Universidad Nacional de Santiago del Estero), por brindarnos los medios necesarios para la realización de este trabajo.

A Miguel Sarmiento y revisores anónimos por sus valiosas sugerencias, lectura crítica y aportes en pos de mejorar este manuscrito.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento y profundo reconocimiento a los pobladores rurales entrevistados, por compartir sus conocimientos y experiencias en forma gentil y desinteresada, como así también por su consentimiento para la publicación de los resultados aquí presentados.

6. REFERENCIAS

- Albuquerque, U. P., Fernandez da Cunha, L. V., Lucena, R. F., Alves, R. R. *Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology*. New York, Humana Press. 2014.
- Alexiades, M. N., Sheldon, W. *Selected Guidelines for Ethnobotanical research: a field manual*. New York, The New York Botanical Garden Publication. 1996.
- Cabrera, A. L. Fitogeografía de la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 14 (1-2), 1-42, 1971.
- Carrizo, E. V., Palacio, M. O. Árboles y arbustos nativos como recurso forrajero en Santiago del Estero, República Argentina. En G. Solís Galarza, *Memorias in Extenso del VII Simposio internacional sobre la flora silvestre en zonas áridas* (págs. 1-10). Hermosillo, México: Universidad de Sonora, 2010.
- Carrizo, E. V., Palacio, M. O. Empleo de plantas nativas en poblaciones rurales de Santiago del Estero. En Casenave, E. (Ed.), *Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial: de la FAyA al NOA* (págs. 269-284). Santiago del Estero, Argentina: Magna Publicaciones, 2013.
- Font Quer, P. *Diccionario de Botánica*. Barcelona, Labor, 1975.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., Hernández-García, M. Á., Sánchez-González, A. Ecología de las plantas epífitas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 9 (2), 101-111, 2003.
- Guzmán, A. M., Abt, M., Brassiolo, M. Tipificación de las estrategias de uso del bosque por pequeños productores campesinos en Santiago del Estero. *Quebracho* 20 (1,2), 39-48, 2012.
- Jiménez-Escobar, N. D. Entre "azahares" y "chaguares": las Bromeliáceas forrajeras en las Sierras de Ancasti, Catamarca, Argentina. *Gaia Scientia* 9(3), 1-6, 2015.
- Krömer, T., Acebey, A. R., Toledo-Aceves, T. Aprovechamiento de plantas epífitas: implicaciones para su conservación y manejo sustentable en México. https://www.uv.mx/personal/tkromer/files/2019/03/Kr%C3%B4mer-et-al.-2018_Aprovechamiento-de-epifitas_Cap-9.pdf, 2020.
- Ledesma, N. R. Función ambiental del ecosistema forestal chaqueño. En Giannuzzo, A. N., *Cambios y problemas ambientales. Perspectivas para la acción* (págs. 455-462). Santiago del Estero: Facultad de Ciencias Forestales, 2009.
- Ledesma, N. R., Boletta, P. E. Clima de las regiones forestales argentinas. *Actas del VII Congreso Forestal Mundial*, (págs. 1-16), 1972.
- Martínez, G. J. *Las plantas en la medicina tradicional de las sierras de Córdoba: un recorrido por la cultura campesina de Paravachasca y Calamuchita*. Capilla del Monte, Detodoslosmares. 2015.
- Marzocca, A. *Nociones básicas de taxonomía vegetal*. San José, IICA, 1985.
- Palacio, M. O., Carrizo, E. V., Gersich, M. A., Epstein, F. Usos alternativos del bosque en poblaciones rurales de Ojo de Agua, Santiago del Estero, Argentina. *Revista forestal Baracoa* 35: Edición Especial Actas 5° Congreso Forestal de Cuba. La Habana, 2011.
- Paz, R. G. Tipologías y estrategias de intervención en el sector campesino: los proyectos de mecanización agrícola y su evaluación ex-ante. El caso de El Pirucho. En R. C. Álvarez, C. Canevari, R. De Dios, R. Paz, A. Tasso, J. Williams, *Sistemas productivos campesinos en Santiago del Estero*. (págs. 19-58). Santiago del Estero, Argentina: Barco. 1998.
- Riat, P. Conocimiento campesino, el "monte santiagueño" como recurso forrajero. *Trabajo y Sociedad* 19, 477-491, 2012.
- Riat, P. *Puesta en valor de plantas sub-utilizadas: aporte a la conservación de los recursos naturales en Los Jurés (Santiago del Estero)*. (Tesis Doctoral). La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata, 2015.
- Roger, E. Etnobotánica silvopastoril en Santiago del Estero (Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 52 (Suplemento), 175, 2017.
- Roger, E., Díaz Zírpola, J. Uso de la vegetación por los pobladores locales de Guanaco Sombreana (Santiago del Estero, Argentina). *Libro de Resúmenes I Jornadas de Jóvenes Botánicos*, 103, 2014.
- Roger, E., Hurrell, J. A. Plantas forrajeras nativas utilizadas en el Noreste Santiagueño, Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 50 (Supl.), 156, 2015.
- Togo, J., Basualdo, M., Urtubey, N. Aprovechamiento socio-económico de la flora autóctona de Santiago del Estero (Listado de especies y uso popular más frecuente). *Indoamérica* 3, 1-161, 1990.
- Toledo, V. La etnobotánica hoy: reversión del conocimiento, lucha indígena y Proyecto nacional, *Biótica*, 7(2), 141-150, 1982.

Torres Bruchman, E. *Climatología General y Agrícola de la Provincia de Santiago del Estero*. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán, 1981.

Zuloaga, F. O., Belgrano, M. J., Zanotti, C. A. Actualización del Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur. *Darwiniana, nueva serie* 7(2), 208-278, 2019.

Glicerina como co-sustrato en compostaje y biometanización de residuos biodegradables.

Saavedra, Raul M.¹; Palavecino, Ana C.¹ y Sánchez de Pinto, María I.¹

(1) *Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
raul_saav@hotmail.com; cecilia_palavecino_84@hotmail.com; inesdep@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el agregado de glicerina (subproducto en producción de biodiesel) como cosustrato en el compostaje y en la biometanización de residuos biodegradables. Como sustrato en el compostaje se utilizaron residuos frutihortícolas (RFH) provenientes del Banco de Alimentos de Santiago del Estero, a los que se les agregó como cosustrato glicerina (G) al 7 y 10% (V/V), los que fueron colocados en pilas al aire libre. Como sustrato en la biometanización (nivel laboratorio, 37°C) se utilizó excremento vacuno al 10% en sólidos totales (%ST) al que se le agregó G al 1%, 3% y 5% (P/P). A los 105 días de compostaje se observó un aumento en el contenido de MO y COT en las pilas que se agregó G. El agregado de G al 7% aumento la degradabilidad del sustrato mientras que el agregado de G al 10% disminuyó su degradabilidad. Durante 57 días de biometanización, el aumento en el porcentaje de G generó mayor producción de biogás con mayor contenido de CH₄. Los contenidos de CH₄ respecto al control (C) se incrementaron en 30,3%, 48,9% y 89,7% para los agregados de 1%G, 3%G y 5%G, respectivamente. Para cada tratamiento, las disminuciones de sólidos volátiles (%SV) fueron del orden de: C-19,2±2,1%; G1-23,2±5,7%; G3-25,5±3,8% y G5-30,6±5,6%.

ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate the addition of glycerin (by-product in biodiesel production) as a cosubstrate in composting and in the biomethanization of biodegradable waste. Fruit and vegetable waste (RFH) from the Santiago del Estero Food Bank were used as substrate in the composting, to which glycerin (G) at 7 and 10% (V/V) was added as a cosubstrate, which were placed in stacks outdoors. As substrate in the biomethanization (laboratory level, at 37°C), 10% bovine excrement was used in total solids (ST) to which 1%, 3% and 5% G (P/P) was added. At 105 days after composting, an increase was observed in the OM and TOC content in the piles that added G. The addition of G at 7% increased the degradability of the substrate while the addition of G at 10% decreased its degradability. During the 57 days of biomethanization, the increase in the percentage of G generated greater production of biogas with a higher content of CH₄. The CH₄ content with respect to the control (C) increased by 30.3%, 48.9% and 89.7% for the aggregates of 1% G, 3% G and 5% G, respectively. For each treatment, the decreases in volatile solids (SV) were of the order of: C-19.2 ± 2.1%; G1-23.2 ± 5.7%; G3-25.5 ± 3.8% and G5-30.6 ± 5.6%.

Palabras claves: Glicerina-Residuos biodegradables-Compostaje-Biometanización

Keywords: Glycerin-Biodegradable waste-Composting-Biomethanization

1. INTRODUCCIÓN

El biodiesel ha sido identificado como una de las opciones que puede reemplazar al petróleo y sus derivados (o al menos complementarlo) disminuyendo el impacto ambiental que supone su procesamiento y consumo. Es biodegradable y se obtienen a partir de materias primas renovables las cuales se encuentran distribuidas a nivel

global como lo mencionan Marquínez (2020); Saavedra (2019) y Torres Rivero (2019).

Según Torres Rivero (2019) el principal subproducto derivado de la elaboración de biodiesel es la glicerina (G), y se sabe que por cada 9-10 kg de biodiesel producido se genera 1 kg de glicerina como lo describen Betancourt Aguilar (2016) y Chou (2019). La glicerina cruda,

así formada, posee muy poco valor económico por contener impurezas. De acuerdo al grado de pureza requerida para su comercialización se realizan los diferentes procesos de refinamiento, incrementando su costo de comercialización. Un mayor aumento en la producción de biodiesel generaría un excedente de glicerina cruda que tal vez los usos tradicionales (cosmética, industria alimentaria y farmacéutica) ya no la podrían utilizar en su totalidad. Según Haosagul (2019) el rápido aumento de la generación de este subproducto contribuyó a la caída de su precio, al superar la demanda del consumo, afectando el valor de su purificación. Por lo tanto, la glicerina cruda se considera un subproducto de desecho que requiere costes de eliminación. La problemática relacionada con la alta generación de glicerina cruda se podría mitigar si se investigan nuevas alternativas en las que actúe como fuente de carbono sin necesidad de incrementar los costos de refinado según Escobar Cobos (2018). El uso de la glicerina cruda como materia orgánica añadida al suelo está cobrando interés cada día. Estudios indican que el agregado de la glicerina cruda en el suelo mejora su fertilidad, ya que favorece el desarrollo de ciertos microorganismos, principalmente los fijadores de N de acuerdo a lo descrito por Betancourt (2016); sin embargo hay que tener en cuenta características de este subproducto como el contenido salino, pH, CE, y el contenido de metanol, como así también la frecuencia de aplicación. La glicerina cruda, rica en C orgánico, que se podría utilizar como cosustrato para la producción de biogás y de bioabonos. Si bien la biodigestión de glicerina cruda como mono-sustrato no es viable, ya que no cuenta con el nitrógeno necesario para la reproducción de la masa microbiana, de acuerdo a Robra (2010), su adición como fuente de carbono a otros sustratos con suficiente contenido de nitrógeno, pero poco contenido energético, como el estiércol vacuno, puede resultar en un aumento en la producción de biogás.

El Banco de Alimentos de Santiago del Estero (BASE), recupera diariamente frutas y verduras (FV), que tienen un grado de maduración avanzado o formas no convencionales que las deja fuera del circuito comercial pero que son perfectamente aptas para consumo. Las mismas son clasificadas, almacenadas en cámara de frío y entregadas a las entidades beneficiarias en toda la provincia de Santiago del Estero. En el 2019, el BASE recuperó y entregó alrededor de 25 Tn/mes

de frutas y verduras, quedando sin aprovechar alrededor de un 30% de residuos frutihortícolas (RFH). Con el fin de generar un modelo de gestión para estos RFH, durante 8 meses, 1 Tn/mes de RFH, fueron depositados en las instalaciones de la Planta Piloto de Compostaje (PPC) de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la sede El Zanjón de la UNSE para evaluar y optimizar su reciclaje mediante el proceso de compostaje. Según Quevedo Beltrán (2017) estos RFH poseen una relación C/N entre 11-13, valor menor a 25 que es el óptimo para un eficiente proceso de compostaje, por lo que, en experiencias realizadas se agregó aserrín (1/3 en volumen) a fin de aumentar contenido de carbono y porosidad como lo describe Saavedra (2019).

De acuerdo a Bueno Márquez (2008) la degradabilidad indica la cantidad de MO que puede descomponerse o que se ha descompuesto, de una mezcla o de un sustrato determinado. Los residuos orgánicos biodegradables, cualquiera sea su fuente, se caracterizan por su gran disponibilidad de MO biodegradable y por tener un alto potencial energético, lo que los hace idóneos como sustratos para el compostaje y la Digestión Anaeróbica (DA).

El estiércol de animales empleado como sustrato para la DA, es relativamente fácil de conseguir y varía en sus características de acuerdo a las especies, sus sistemas digestivos y sus dietas, por lo tanto, necesitarán diferentes condiciones operativas para un mejor rendimiento. De acuerdo a la Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, (2010), el estiércol vacuno en particular es de los más utilizados, ya que contiene la carga microbiana necesaria para arrancar el proceso, posee una buena C/N y actúa como buffer, estabilizando el pH.

El compostaje es una de las tecnologías más utilizadas y eficaces en el tratamiento de residuos agrícolas y urbanos biodegradables según Quevedo Beltrán (2017), además para da Costa Ferreira (2018) es considerada una excelente alternativa para reciclar residuos biodegradables, y evitar su deposición inadecuada en rellenos sanitarios. El compostaje es un proceso biooxidativo controlado que involucra la mineralización y la humificación parcial de la materia orgánica contenida en el material, logrando un producto final estabilizado, libre de sustancias fitotóxicas y patógenos y con ciertas propiedades húmicas (compost) según Albrecht (2010). El producto final "compost", debido a su alta concentración en materia orgánica

estabilizada y nutrientes, puede ser utilizado como enmiendas orgánicas (modificando o mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo) o como fertilizante (proporcionando nutrientes para las plantas) como lo describe Sánchez de Pinto (2012).

Durante la primera fase del compostaje, los compuestos orgánicos simples de carbono son fácilmente mineralizados y metabolizados por los microorganismos, produciendo CO_2 , NH_3 , H_2O , ácidos orgánicos y calor. Durante la segunda fase, el proceso de compostaje da como resultado la producción de compuestos orgánicos biológicamente maduros, estables y químicamente complejos que se asemejan a las sustancias húmicas del suelo de acuerdo a lo descrito por Albrecht (2010).

La digestión anaerobia (DA) o biometanización es un proceso bioquímico realizado en ausencia de oxígeno, mediante el cual la materia orgánica es degradada por microorganismos sintróficos, y cuyo principal producto energético es el biogás, que según Bonfim (2019) bajo condiciones favorables, puede contener entre 60 y 65% de metano, entre 35 y 40% de dióxido de carbono y cantidades menores de otros gases como nitrógeno, hidrógeno, CO y H_2S . Tanto la naturaleza de la materia orgánica a degradar como el desempeño del proceso influirán en la composición y calidad del biogás generado. Un biogás con una composición de entre 50 y el 80% de CH_4 tendría una Potencia Calorífica Inferior (PCI) entre 4,95 y 7,92 kWh/m^3 .

El proceso de DA puede realizarse de manera controlada en dispositivos sellados llamados digestores o biodigestores. Estos pueden funcionar de manera continua, cargando biomasa con una frecuencia estipulada y produciéndose una descarga proporcional, o también pueden funcionar de manera intermitente o por lote y esperar hasta que ocurra la digestión completa antes de descargarlo. En ambos casos se generan como productos biogás y un biofertilizante semilíquido que, de acuerdo a Hilbert (1992), contiene nutrientes como N, P, K, Mg y Ca, y aplicado según las necesidades del suelo y a la legislación correspondiente se obtienen muy buenos resultados en producción agrícola.

De acuerdo a Zhang (2019) en la co-digestión anaeróbica, dos o más sustratos se mezclan en diferentes proporciones y se degradan simultáneamente en el mismo digestor. Dentro de los beneficios de esta práctica se podrían incluir: mejoras en el equilibrio de nutrientes

provenientes de distintas fuentes, mayor carga de materia biodegradable (con valores aumentados de C/N), dilución de potenciales compuestos tóxicos y aumento en la producción de biogás, tanto en cantidad como en calidad.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del agregado de glicerina (subproducto de la producción de biodiesel) como cosustrato, en el compostaje de residuos frutihortícolas (analizando los cambios en el contenido de MO y en la degradabilidad) y en la biometanización de residuos vacunos (analizando los cambios en remoción de sólidos volátiles y contenido de CH_4 en el biogás liberado).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Compostaje de residuos frutihortícolas

Los residuos frutihortícolas (RFH) fueron recolectados de las instalaciones del BASE, aproximadamente 250-300 Kg/semana y depositados en la Planta Piloto de Compostaje de la FAyA-UNSE. El tratamiento se realizó mediante la biotecnología del compostaje con el agregado de glicerina al 7% (V/V) y al 10% (V/V). Los RFH fueron mezclados previamente con aserrín en relación 2:1. Se armaron 5 pilas, las que fueron divididas, cada una, en dos pilas de aproximadamente 1,2m de altura: Pila control PC (sin agregados de G) y pila ensayo PE (con agregado de G). A las pilas P1E, P2E y P3E se les agregó 7% de G (V/V) y a las Pilas P4E y P5E se les agregó 10%G (V/V) (Fig. 1).



Figura 1. Pilas control (PC) y pilas ensayos (PE)

Durante el proceso se controló el aumento de temperatura, la oxigenación mediante volteos periódicos y la humedad mediante riego en valores alrededor del 40%.

Se tomaron muestra a los 15, 30, 60 y 105 días, se secaron al aire libre y tamizó con tamiz malla 4mm. Se cuantifico contenido de MO y se determinó la degradabilidad en cada muestra en función del coeficiente de degradación (K_h) calculado mediante la ecuación propuesta por Bueno Márquez (2008):

(1)

El contenido de MO se determinó por calcinación a 540°C durante 4 horas.

2.2 Biometanización de residuos biodegradables

2.2.1. Biodigestores de laboratorio

Se construyeron cuatro biodigestores a escala laboratorio (Fig. 2) del tipo discontinuo de mezcla completa con crecimiento bacteriano en suspensión sin sistema de retención de biomasa.



Figura 2. Biodigestores

La temperatura de trabajo en los reactores se mantuvo constante con baños termostatzados programados a 37°C. La agitación se realizó manualmente dos veces al día para permitir la liberación de los metabolitos gaseosos producidos por los microorganismos, facilitar el mezclado del sustrato fresco con la población microbiana, evitar la formación de costras o excesiva espuma dentro del digestor, uniformar la densidad del digestato y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica.

2.2.2. Sustrato (Estiércol)

El estiércol vacuno fresco (sustrato) se recogió en la Escuela de Agricultura, Ganadería y Granja dependiente de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la Universidad Nacional de

Santiago del Estero, localizada en Ruta 9 Km. 1126. Villa Zanjón, departamento Capital, Santiago del Estero (Fig. 3).

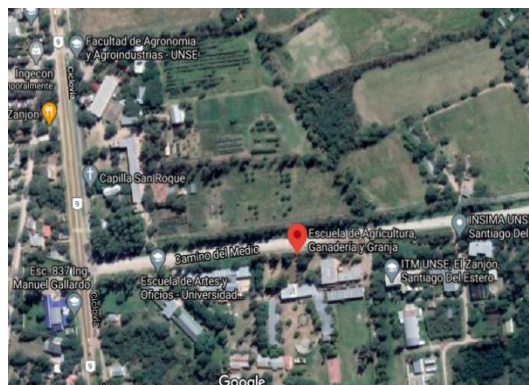


Figura 3. Escuela de Agricultura, Ganadería y Granja-FAYA-UNSE.

2.2.3 Biometanización o DA

El sustrato biodegradable para la co-digestión fue una mezcla acuosa de estiércol vacuno fresco al 10% de sólidos Totales con diferentes proporciones de glicerina cruda agregada: el Control (C) sin agregado de glicerina y los demás tratamientos con el agregado de 1%, 3% y 5% p/p (respecto a los sólidos totales del sustrato) de glicerina cruda, asignados como G1, G3 y G5 respectivamente. La experiencia fue conducida como un proceso mesofílico (37 °C) en batch, alimentando los digestores con un volumen de trabajo de 3L y sellándolos durante un periodo de 57 días.

El inóculo activo fue obtenido de ensayos previos y agregado en una proporción igual al 20% del volumen de trabajo (0,6L). Las muestras de influente (entrada) e efluente (salida) se tomaron en los días 0 y 57 de la experiencia para realizar la determinación de sólidos totales (%ST) en estufa a 105°C durante 24 hs, sólidos volátiles (%SV) por calcinación a 540°C según métodos APHA SMEWW 1999 y sólidos fijos por diferencia entre ST y SV. Diariamente se registró el volumen de biogás por desplazamiento de agua y su composición (%CH₄) se determinó utilizando un sensor Biogas Analyzer Baggi modelo PGD3.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Compostaje de residuos frutihortícolas

Tabla 1. Variación del contenido de materia orgánica (%MO) durante los 105 de compostaje en las diferentes pilas de compostaje

Tiempo (días)	Materia Orgánica (%)									
	P1C	P1E	P2C	P2E	P3C	P3E	P4C	P4E	P5C	P5E
0	45,28	50,88	42,95	50,37	44,25	51,71	65,70	72,54	45,55	50,37
15	35,13	50,13	34,83	49,24	35,90	48,57	54,74	60,91	35,57	49,66
30	33,82	45,18	29,87	38,56	28,34	36,13	49,16	57,51	33,92	47,26
60	31,81	36,24	26,61	28,32	26,12	29,27	46,99	55,35	32,04	39,24
105	30,09	32,58	21,09	23,60	24,63	27,78	38,77	50,12	31,89	39,15

P1C: Pila 1 control; P1E: Pila 1 ensayo; P2C: Pila 2 control; P2E: Pila 2 ensayo; P3C: Pila 3 control; P3E: Pila 3 ensayo; P4C: Pila 4 control; P4E: Pila 4 ensayo; P5C: Pila 5 control; P5E: Pila 5 ensayo.

En la Tabla 1 se observa, en todas las pilas PC y PE, una disminución del contenido de MO durante los 105 días de compostaje. Esto sería debido a la mineralización de la materia orgánica y a la pérdida de carbono en forma de CO₂ en el tiempo. Todos los valores de MO a los 105 días del proceso, son superior a 20, que es uno de los valores de calidad aconsejado para ser considerado compost clase A según SENASA (2019).

Para cada experiencia, los valores de MO alcanzados en las pilas PE son superiores a los valores en las pilas PC. A los 105 días de compostaje, con el agregado de G al 7% (P1E, P2E, P3E) el aumento de MO fue entre 8,4-12,8% y mientras que con el agregado de 10%G el aumento en MO registrado fue de 22,7-29,3%, lo que estaría indicando que el agregado de G podría ser considerado como una fuente de carbono para este sustrato.

Tabla 2. Variación del coeficiente de degradación de materia orgánica (%MO) durante los 105 de compostaje en las diferentes pilas de compostaje sin glicerina (PC) y con diferentes agregados de glicerina P1E, P2E y P3E (7%G) y P4E y P5E (10%G).

Tiempo (días)	Coeficiente de degradabilidad (%)									
	P1C	P1E	P2C	P2E	P3C	P3E	P4C	P4E	P5C	P5E
15	0,34	0,03	0,29	0,04	0,29	0,12	0,37	0,41	0,34	0,03
30	0,38	0,20	0,43	0,38	0,50	0,47	0,50	0,48	0,39	0,11
60	0,43	0,45	0,52	0,61	0,55	0,61	0,54	0,53	0,43	0,36
105	0,48	0,53	0,64	0,70	0,59	0,64	0,67	0,62	0,44	0,37

P1C: Pila 1 control; P1E: Pila 1 ensayo; P2C: Pila 2 control; P2E: Pila 2 ensayo; P3C: Pila 3 control; P3E: Pila 3 ensayo; P4C: Pila 4 control; P4E: Pila 4 ensayo; P5C: Pila 5 control; P5E: Pila 5 ensayo.

En la Tabla 2 se observa que durante los 30 primeros días de compostaje los valores de las constantes de degradabilidad para las PE son menores a las de las PC, lo que podría indicar que

el agregado de G al 7% y al 10% ralentiza la biodegradabilidad al comienzo del proceso. Sin embargo, a los 105 días de compostaje en las pilas a las que se agregó glicerina al 7% (P1E,

P2E, P3E) se observa un valor mayor del coeficiente de degradación, mientras que en las que se agregó glicerina al 10% (P4E, P5E) el valor es menor a la PC, lo que estaría indicando que el agregado de glicerina al 10% disminuye la degradación de los RFH.

3.2 Biometanización de residuos biodegradables

3.3.1. Características del estiércol y del inóculo

Tabla 3. Contenido de sólidos totales (%ST), sólidos fijos (%SF) y sólidos volátiles (%SV) y de Humedad (%H) del estiércol vacuno fresco y del inóculo.

	Estiércol Vacuno	Inóculo
% ST	22,2 ± 0,6	9,3 ± 0,6
% SF	4,8 ± 0,7	3,6 ± 0,6
% SV	17,4 ± 0,8	5,7 ± 0,6
% H	78,2 ± 0,9	90,7 ± 0,6

n=3

3.3.2 Volúmenes y composición del biogás generado

A los 57 días de DA, el volumen acumulado de biogás en CNPT para los tratamientos G1, G3 y G5 fueron 32165±2119, 35366±846, y 40166±2144 mL respectivamente, en comparación con el volumen de biogás generado en el control C 26216±1838 mL, que resultó menor al liberado con el agregado de G. Se observa que a mayor agregado de G mayor volumen de biogás producido.

Comportamiento similar se observó con el volumen acumulado de CH₄: 16786±3057 mL (G1), 19188±2379 mL (G3) y 24442±2489 mL (G5), en comparación con el control C 12884±1117 mL, representando aumentos del 30,3% G1, 48,9% G3 y 89,7% G5, respecto al C. A mayor cantidad de G agregada, mayor volumen de biogás y de contenido de CH₄ obtenidos (Fig. 4).

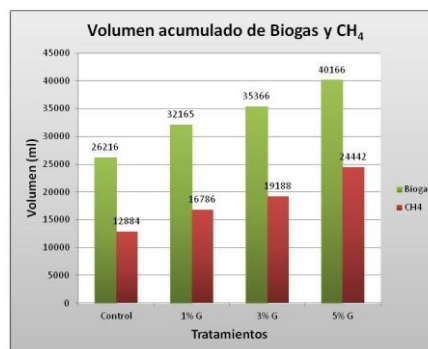


Figura 4. Volúmenes acumulados de biogás y CH₄ (CNPT) durante 57 días de DA.

Las concentraciones promedio de volumen CH₄ en el biogás fueron 55,3±3,3% (1%G), 57,0±2,8% (3%G) y 59,1±4,4%(5%G), en comparación con el C 49,6±4,9% (Fig. 5).

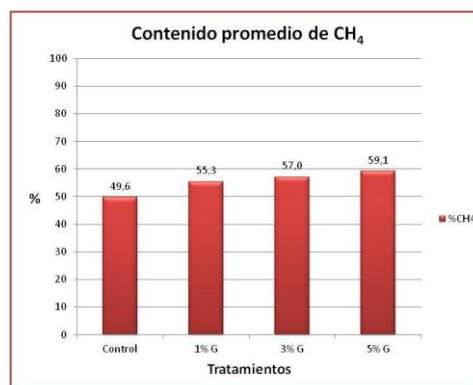


Figura 5. Contenido promedio de CH₄ para cada tratamiento.

En la Tabla 4 se muestran los valores de %ST y %SV correspondientes a los influentes (tiempo inicial) y a los efluentes (al final de los 57 días de DA).

La disminución del contenido de %SV, para cada tratamiento resultó: 19,2±2,1% (C); 23,2±5,7% (G1); 25,5±3,8% (G3) y 30,6±5,6% (G5). Estos valores estarían indicando una mayor remoción de la materia orgánica con el aumento del agregado de G.

Si se relaciona el volumen de CH₄ formado en función de la remoción de SV, los rendimientos (m³ CH₄ en biogás/KgSVremovidos) calculados son; 0,34±0,02 (C), 0,35±0,02 (G1) 0,36±0,02 (G3) y 0,38±0,02 (G5).

Tabla 4. Caracterización de los influentes y efluentes correspondientes al control y los tratamientos, antes y después del periodo de DA.

	C		G1		G3		G5	
	E	S	E	S	E	S	E	S
%ST	9,3±0,2	7,6±0,4	9,6±0,2	7,6±0,5	10,0±0,4	8,3±0,3	10,1±0,4	8,6±0,6
%SV	6,5±0,4	5,3±0,5	6,8±0,5	5,3±0,8	7,0±0,4	5,3±0,6	7,1±0,4	4,9±0,7
pH	7,2±0,2	7,1±0,1	7,1±0,2	7,1±0,1	7,0±0,3	7,2±0,1	6,9±0,4	7,2±0,1

C: Control – G1: Glicerina al 1% – G3: Glicerina al 3% – G5: Glicerina al 5%

E: Influyente de Entrada – S: Efluente de Salida

n=3

4. CONCLUSIONES

Durante los 105 días el compostaje de RFH el contenido de MO ha ido disminuyendo tanto en las pilas control PC como en las pilas que se agregó G. En cada una de las 5 experiencias, los valores de MO alcanzados en las pilas PE fueron superiores a los valores en las pilas PC. A los 105 días de compostaje, con el agregado de G al 7% (P1E, P2E, P3E) el aumento de MO fue entre 8,4-12,8% y con el agregado de 10%G el aumento en MO registrado fue de 22,7-29,3%, lo que estaría indicando que el agregado de G podría ser considerado como una fuente de MO para este sustrato.

Durante los 30 primeros días de compostaje los valores de las constantes de degradabilidad para las PE fueron menores a las de las PC, lo que podría indicar que el agregado de G al 7% y al 10% ralentiza la degradabilidad al comienzo del proceso. Sin embargo, a los 105 días de compostaje en las pilas a las que se agregó glicerina al 7% (P1E, P2E, P3E) se observó un valor mayor del coeficiente de degradación respecto al control, mientras que en las que se agregó glicerina al 10% (P4E, P5E) el valor es menor a las PC, lo que estaría indicando que el agregado de glicerina al 10% disminuyó la degradación de los RFH.

Durante los 57 días de DA la producción de biogás aumentó con el aumento del agregado de G en relación al Control. A mayor cantidad de G agregada, el mayor volumen de biogás registrado contiene mayor contenido de CH₄, mejorando su poder calorífico. Las concentraciones promedio de volumen CH₄ en el biogás fueron 55,3±3,3% (1%G), 57,0±2,8% (3%G) y 59,1±4,4% (5%G), en comparación con el C 49,6±4,9%.

El aumento en concentración de CH₄ con el agregado de G, podría estar relacionado con el aumento en la remoción de SV con el aumento del agregado de G. Las disminuciones del contenido de %SV, para cada tratamiento resultaron: 19,2±2,1% (C); 23,2±5,7% (G1); 25,5±3,8% (G3) y 30,6±5,6% (G5).

De acuerdo a los resultados registrados, la glicerina cruda (obtenida como subproducto de la producción de biodiesel) en las proporciones utilizadas en estas experiencias, para compostaje 7%G y para DA (1%, 3% y 5%), podría ser agregada como fuente de carbono lábil en ambos procesos, favoreciendo la calidad de los productos finales.

5. REFERENCIAS

- Albrecht, R., Petit, J. Le, Calvert, V., Terrom, G., & Périssol, C. (2010). Changes in the level of alkaline and acid phosphatase activities during green wastes and sewage sludge co-composting. *Bioresource Technology*, 101(1), 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.017>
- Betancourt Aguilar, C., de Mello Prado, R., Castellanos Gonzáles, L., & Silva Campos, C. N. (2016). Glycerin as byproduct of biodiesel production, its characteristics, applications and soil use. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 7–14. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4329.2403>
- Betancourt, C., Prado, R. de M., Gonzáles, L. C., & Silva, C. N. (2016). Revisión bibliográfica CARACTERÍSTICAS DE LA GLICERINA GENERADA EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL, APLICACIONES GENERALES Y SU USO EN EL SUELO. *Cultivos*

- Tropicales*, 37(3), 7–14. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4329.2403>
- Bonfim, G. A. do, & Furtado, A. C. (2019). POTENCIALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE GLICERINA PROVINIENTE DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO. II *SIEPE*, 281–285. Retrieved from <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5318>
- Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., & Cabrera Capitán, F. (2008). Factores que afectan al proceso de Compostaje. In *Compostaje* (pp. 95–109). <https://doi.org/10.1002/adma.201604105>
- Chou, Y. C., & Su, J. J. (2019). Biogas production by anaerobic co-digestion of dairy wastewater with the crude glycerol from slaughterhouse sludge cake transesterification. *Animals*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/ani9090618>
- da Costa Ferreira, D. A., da Silva Dias, N., da Costa Ferreira, A. K., Barbosa e Lima Vasconcelos, C., Nascimento Porto, V. C., Dos Santos Fernandes, C., & Navarro Vásquez, M. A. (2018). Effect of organic residue compost made from household waste, plant residues and manure on the growth of lettuce. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 464–474. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7902>
- Escobar Cobos, A. B. (2018). *Optimizar la producción de Biogás a partir de residuos pecuarios, empleando la glicerina como subproducto de la obtención de biodiesel* (Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30224/1/Trabajo de Titulación..pdf>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. (2010). Guía sobre el biogás Desde la producción hasta el uso. <https://doi.org/10.1109/CISE.2010.5677158>
- Haosagul, S., Vikromvarasiri, N., Sawasdee, V., & Pisutpaisal, N. (2019). Impact of acetic acid in methane production from glycerol/acetic acid co-fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(56), 29568–29574. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.204>
- Hilbert, J. A. (2008). *Manual para la producción de biogas*. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf
- Marquínez, A. N., Loor Molina, N. S., Guamán Marquínez, C. W., Vélez, J. A., Solorzano Párraga, K. M., Rodríguez Cobeña, J. K., & Riera, M. A. (2020). Obtaining biodiesel from coconout oil (*Cocos nucifera* L.). *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 9–14. Retrieved from <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2605>
- Quevedo Beltrán, M. Á. (2017). *USE OF SUPPORT MATERIALS IN THE EFFICIENCY OF THE COMPOSTING PROCESS OF VEGETABLE RESIDUES IN THE MARKET* (Universidad Nacional Agraria). Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3130>
- Robra, S., Serpa da Cruz, R., de Oliveira, A. M., Neto, J. A. A., & Santos, J. V. (2010). Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry. *Biomass and Bioenergy*, 34(9), 1330–1335. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.04.021>
- Saavedra, R. M., García, H. J., Baigorí, M. D., & Sánchez de Pinto, M. I. (2019). Biodiesel from used oil in gastronomic places: effect of the reaction temperature. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica. Claves Para El Desarrollo.*, 5, 5 (320-325). <https://doi.org/10.30972/eitt.503767>
- Saavedra, R. M., Palavecino, A. C., Herrera, A. C., Farfán Torres, M., Baigorí, M. D., & Sánchez de Pinto, M. I. (2019). Reciclaje de residuos frutihortícolas en compost. In *XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA* (1a ed.). Retrieved from <http://codinoa.facet.unt.edu.ar/index.php/libro-de-resumenes/Diseno>
- Sánchez de Pinto, M. I., Umbides, R., Domínguez, P., Albanesi, A., & Polo, A. (2012). Composting and vermicomposting of biodegradable waste from different sources. In M. J. Mazzarino & P. Satti (Eds.), *Compostaje en la Argentina: experiencias de producción, calidad y uso*. (1 ed., p. pp 125-140). Editorial Orientación Gráfica-UNRN.
- SENASA, & Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental. Resolución Conjunta 1/2019. Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost. , Boletín Oficial de la Presidencia de la Nación. República Argentina.2 § (2019).
- Torres Rivero, L. A., Ben Youssef, B. C., & Pérez Gasca, M. F. (2019). Characteristics of

the glycerin obtained from the sodium methoxide reaction process in the production of Biodiesel. *Revista de Energía Química y Física*, 6(18), 18–28. Retrieved from https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol6num18/Revista_de_Energía_Química_y_Física_V6_N18.pdf#page=26

Zhang, L., Loh, K. C., & Zhang, J. (2019). Enhanced biogas production from anaerobic digestion of solid organic wastes: Current status and prospects. *Bioresource Technology Reports*, 5(July 2018), 280–296. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.07.005>

Colector solar tubular heat pipe para el calentamiento de aire

Togo, Pablo Sebastian¹; Gomez Khairallah, Aníbal Oscar² y Cattaneo, Carlos Albreto.^{1,2}

(1) *Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
psebastisntogo@gmail.com

(2) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
agomez@unse.edu.ar; cacatta@unse.edu.ar

RESUMEN

Los mecanismos de transferencia de calor convencionales, conducción, radiación y convección han permitido el desarrollo y funcionamiento de innumerables dispositivos técnicos, pero a medida que los elementos de máquinas, motores y sistemas electrónicos se hacen cada vez más reducidos, con requerimientos de disipación de calor más exigentes estas soluciones no resultan las más eficientes. Como alternativa se tiene los sistemas heat pipe que permiten la transferencia de calor por empleo de un fluido de trabajo con cambio de fase, logrando conductividades muy por encima de la capacidad de conducción de cualquier metal.

El trabajo describe el desarrollo de un sistema de colección solar destinado al calentamiento de aire, empleando tecnología heat pipe, en dos variantes de diseño, una constituida por un tubo de cobre cerrado en sus extremos y la segunda variante constituida por dos tubos concretos conformando entre ellos un anillo hermético, por donde evoluciona el fluido de trabajo. Siendo en este caso a modo de prueba y por cumplir requisitos de compatibilidad con los materiales de construcción empleaos el fluido r134a.

Los resultados obtenidos son consistentes con las características de la tecnología de transferencia de calor empleada, alcanzando valores de rendimiento del orden del 50%.

ABSTRACT

Conventional heat transfer mechanisms, conduction, radiation and convection have allowed the development and operation of innumerable technical devices, but as the elements of machines, motors and electronic systems become increasingly reduced, with requirements for heat dissipation more demanding these solutions are not the most efficient. As an alternative, there are Heat Pipe systems that allow heat transfer by using a working fluid with phase change, achieving conductivities well above the conduction capacity of any metal.

The work describes the development of a solar collection system for air heating, using heat pipe technology, in two design variants, one consisting of a copper tube closed at its ends and the second variant consisting of two specific tubes forming between them a hermetic ring, through which the working fluid evolves. Being in this case as a test and to meet compatibility requirements with construction materials, use the r134a fluid.

The results obtained are consistent with the characteristics of the heat transfer technology used, reaching performance values of the order of 50%.

Palabras claves: Heat Pipe, Aire caliente, Rendimiento

Keywords: Heat Pipe, Hot Air, Performance

1. INTRODUCCIÓN.

La mayor cantidad de energía demandada a diario en los hogares, se utiliza en forma de calor, este empleo domiciliario puede representar hasta el 70% del consumo energético Chan (2015). Como alternativa al suministro eléctrico, en los casos de aplicaciones de calentamiento de aire en climatización o para aplicaciones agroproductivas de secado de productos, es posible el aprovechamiento del recurso solar. Existen diferentes tecnologías basadas en los mecanismos tradicionales de transferencia de calor, el coeficiente de rendimiento alcanzado por estos equipos, si bien son aceptables resultan inferiores a los que se pueden alcanzar con equipos que basan su tecnología de transferencia de calor en el fenómeno heat pipe.

Los primeros desarrollos de aplicaciones terrestres de los tubos de calor (heat pipe) sucedieron a paso lento. Puesto que los tubos de calor pueden operar en campos de microgravedad debido a la acción capilar, sin ningún campo de fuerzas externo o sistema de bombeo, la mayoría de los esfuerzos estuvieron dirigidos hacia las aplicaciones espaciales. Luego la industria comenzó a apreciar las cualidades de los tubos de calor en el ahorro de energía, lo que implicó una significativa cantidad de investigación básica y aplicada de estos equipos debido a su gran potencialidad de usos de los mismos (Rozas 2012).

Estos equipos solucionan situaciones técnicas inherentes a la transferencia de calor por medio de la evaporación y condensación de un fluido de trabajo contenido en canalizaciones especiales, sistema que posibilita la gestión de cantidades importantes de energía térmica, en forma pasiva, es decir sin necesidad de una fuente de energía para el funcionamiento del sistema.

Esta tecnología se aplica en una gran diversidad de disciplinas técnicas, incluso se puede aplicar en diferentes escalas Bar-Cohen (2015); Maidanik (2014), por ejemplo, en sistemas electrónico de telefonía e informática, incluso en sistemas de climatización industriales Sarraf (2006) LeBerre (2003), permitiendo a estos últimos ser más eficientes.

La característica básica que hace tan efectiva esta tecnología de transferencia de calor, consiste en el calor latente de cambio de fase del fluido de

trabajo que opera en el interior del sistema, fluido que se evapora y condensa cíclicamente, operación que permite la transferencia de calor entre el foco de calor y el lugar donde este es evacuado con una característica que lo hace único, la diferencia de temperatura entre estos puntos es en extremo baja, además que su rendimiento es elevado y sus dimensiones relativamente reducidas.

2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Se diseñaron colectores heat pipe, empleando tubos de cobre de 28×10^{-3} m de diámetro exterior, ambos con una longitud de 1,2m. Con los tubos de cobre se realizaron dos diseños:

- Diseño A: Se empleó un tubo de cobre de 28×10^{-3} m de diámetro exterior, para que el equipo quede herméticamente cerrado en los extremos superior e inferior se soldaron dos chapas de cobre. En los extremos del tubo se colocaron puertos de acceso rápido según se precia en Figura 1.
- Diseño B: Se emplearon dos tubos de cobre, uno de 28×10^{-3} m de diámetro exterior y otro de 22×10^{-3} m de diámetro exterior, el espesor en ambos casos es de 1×10^{-3} m. El tubo de menor diámetro se introdujo dentro de tubo de mayor diámetro, creando una cámara anular que separa ambos tubos (no se encuentran en contacto). En los extremos superior e inferior se cerró empleando un cordón de soldadura con aporte de plata de bajo punto de fusión.

Los puertos de acceso rápido cumplen varias funciones: permitir hacer vacío en los equipos, facilitar la carga de los equipos con el fluido de trabajo y monitorear la presión de los fluidos en los equipos. Los tubos se pintaron exteriormente de color negro mate para optimizar la absorción de la radiación incidente.

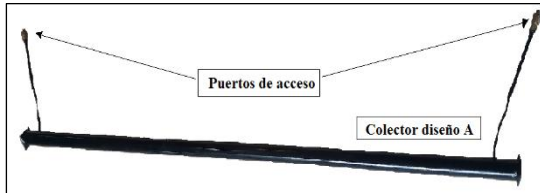


Figura 1: Tubos de cobre diseño A.

Los equipos se encuentran dentro de un recinto rectangular cerrado de madera de 1,25 x 0,17m, recubierto en los costados con material aislante (lana de vidrio con foil de aluminio de 5×10^{-2} m de espesor), la cual se encuentra pintada de negro mate. El recinto se encuentra dividido en dos compartimentos separados por un tabique; el compartimiento inferior es donde se encuentra en proporción casi la totalidad del tubo (es el área de colección de la relación solar). El tabique deja en la parte superior un espacio de 0,12m, es en este compartimento donde se produce la transferencia de calor desde los tubos de cobre al aire (fluido caloportador); esto se logra porque en el costado derecho se encuentran orificios de 10×10^{-3} m que permiten el ingreso del aire circundante y en el costado izquierdo del compartimento se encuentra un forzador eléctrico de aire que extrae este aire, hacia un ducto de salida de zinc de 0,1m de diámetro. El tabique impide la circulación de aire desde el compartimento inferior donde el aire dentro del recinto se encuentra estanco al compartimento superior donde el aire circula en sentido transversal a la disposición del tubo de cobre. Ver Fig.2.

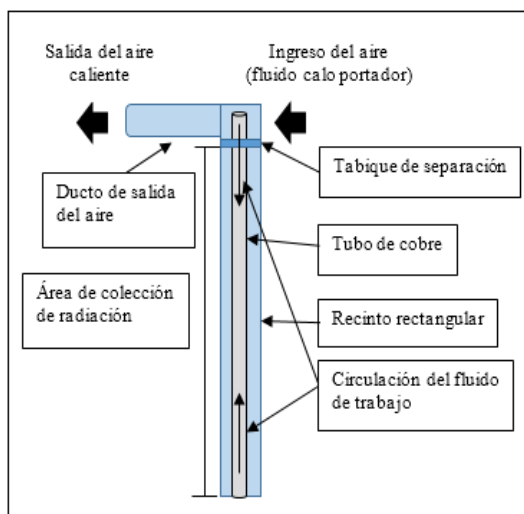


Figura 2: Esquema del equipo en el recinto rectangular.

En la cara superior del recinto se colocó policarbonato alveolar transparente de 4×10^{-3} m espesor, las propiedades de este material permiten que la radiación se transmita dentro del recinto e incida sobre los tubos de cobre, pero impide la pérdida de calor del recinto hacia el ambiente.

3 RESULTADOS

Las medidas se realizaron en la provincia de Santiago del Estero, Argentina (-27.79511, -64.26149); en el mes de marzo del 2020. Los dos diseños de colectores A y B se ensayaron simultáneamente. El colector se orientó en sentido norte sur, con un ángulo de inclinación de 28° para aprovechar al máximo la radiación solar incidente sobre el colector en los meses más desfavorables.

Se empleó como fluido de trabajo gas R-134a, los colectores se llenaron con el fluido de trabajo a un 30% de su capacidad total. Este fluido es apropiado para el ensayo dada sus propiedades específicas como:

- No dañan la capa de ozono, como todos los refrigerantes HFC (hidrofluorcarbono).
- Tiene gran estabilidad térmica y química.
- Baja toxicidad.
- No es inflamable, en la presencia del aire atmosférico a temperatura inferior a 100°C .
- Calor específico y latente altos.
- Es compatible con el material del equipo, para evitar corrosión o reacciones no deseadas como formación de burbujas que provoquen modificaciones en las características de funcionamiento con el tiempo.

Se midió la temperatura con termocuplas tipo K y en la adquisición de los valores se empleó un datalogger de cuatro canales. Las termocuplas se ubicaron a lo largo, en la cara inferior del tubo, de manera que no incida sobre ellas de forma directa la radiación solar. Tomando como referencia las termocuplas en los extremos a 0,05m, se ubicaron con una separación regular entre los sensores de 0,37 m entre ellas. Ver Fig. 3.

Las mismas se colocaron a 0,05m (T1); 0,42m (T2); 0,80m (T3); 1,15m (T4) de distancia a lo

largo del tubo de cobre tomando como referencia el extremo superior del tubo.

Conjuntamente se midió la temperatura ambiente del aire (temperatura de entrada) y la temperatura del aire a la salida de cada colector.

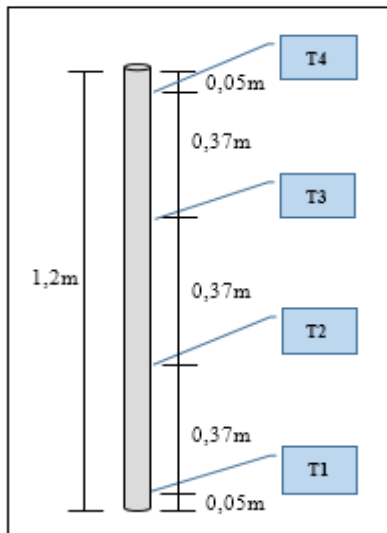


Figura 3: Disposición de los sensores de temperatura a lo largo del tubo ensayado.

En el ducto de salida de los colectores, se midió la velocidad del aire a la salida, empleando un anemómetro de palas. Se realizaron medidas instantáneas de la velocidad de aire, alcanzando valores medios del orden de 1m/s. La radiación incidente que llega al colector se midió con un radiómetro, esta radiación se midió en el plano del colector.

En la Fig. 4 se observa la disposición de los puntos donde se realizaron las medidas de la temperatura, la velocidad del aire y la radiación solar.

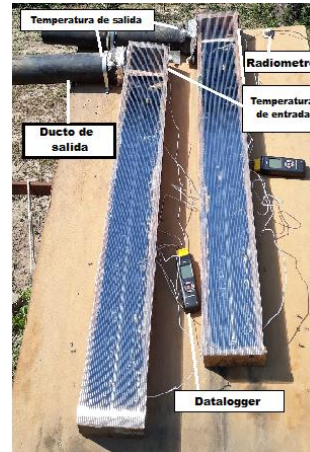


Figura 4: vista del equipo heat pipe con instrumentos de medición.

En la Fig. 5, se observa la radiación sobre el plano del colector para el día 24 de marzo del 2020. A las 14h, aproximadamente el mediodía solar, la radiación incidente en el plano del colector alcanza los 1124W/m^2 .

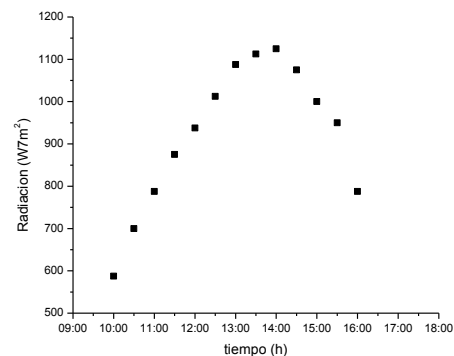


Figura 5: Curva de radiación en el plano del colector para el día 24/03/20.

En la Fig. 6 y Fig. 7 se observa la variación de la temperatura en los diferentes puntos a lo largo del tubo (Ver Fig. 3), para los colectores con diseño A y diseño B y las temperaturas del aire a la entrada y salida de los colectores, para el día 24 de marzo del 2020. Se puede observar que el comportamiento térmico del sistema (colectores heat pipe) son similares, la temperatura se incrementa a medida que el sistema llega al mediodía solar donde alcanza su máxima temperatura de aproximadamente 91°C en el diseño A y 94°C en el diseño B. la temperatura media del aire a la salida de los colectores es de 43°C para el diseño A y de 41°C para el diseño B.

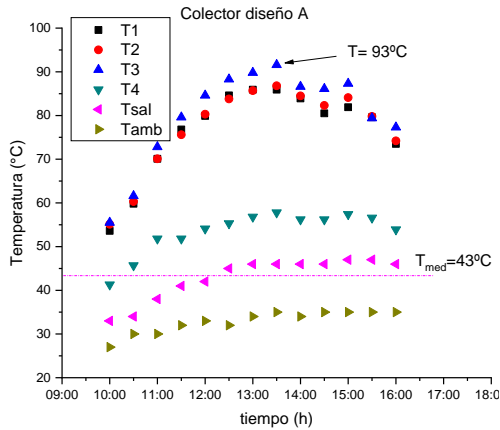


Figura 6: temperatura en los diferentes puntos del tubo de cobre y la temperatura del aire a entrada y salida del colector con el diseño A.

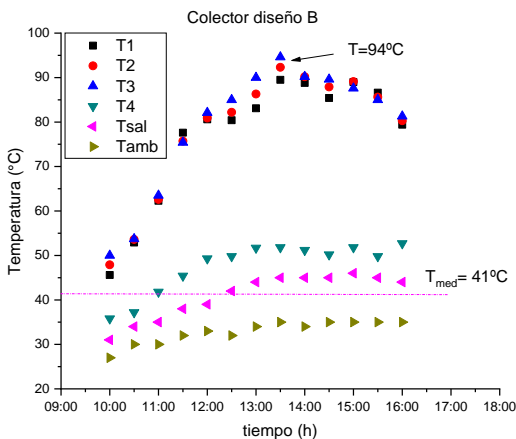


Figura 7: temperatura en los diferentes puntos del tubo de cobre y la temperatura del aire a entrada y salida del colector con el diseño B.

Con las variables obtenidas en los días de ensayo, se determina el rendimiento instantáneo de los colectores A y B, mediante la ecuación (1) desarrollada por Duffie (2013).

$$\eta = \dot{m} C_p \frac{(T_s - T_e)}{A I_i} \tag{1}$$

Donde \dot{m} es el flujo másico en kg/s, C_p calor específico del aire en J/(kg.°C), T_s temperatura de salida del aire del condensador en °C, T_e temperatura de entrada del aire del condensador en °C, A área del colector en m² (se consideró el área del recinto donde el tubo absorbe la radiación solar) y I_i intensidad de la radiación instantánea W/m².

El flujo de calor útil ganado por el aire que circula transversalmente por el área de transferencia de calor del colector, se calcula empleando la ecuación (2), en la que C_p representa el calor específico del aire y Δt la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del aire del sistema ensayado y \dot{m} es el flujo másico.

$$\dot{Q}_u = \dot{m} C_p \Delta t \tag{2}$$

El flujo másico de la ecuación (2), se determina en forma indirecta, mediante la ecuación (3). Midiendo la velocidad de circulación del aire y la temperatura de salida en el ducto de salida del colector, a partir de la cual se calcula la densidad del aire a esa temperatura. En el cálculo se emplea el área transversal del ducto de salida del colector A_t .

$$\dot{m} = \delta v A_t \tag{3}$$

En la fig. 8 se observa el calor útil de los colectores en el día 24 de marzo del 2020. Se observa que, en promedio, en las horas antes y después del mediodía solar en el mes ensayado; el calor útil disponible en fluido calo portador (aire) en el colector con el diseño A es de 105w y en el colector con diseño B es de 75W.

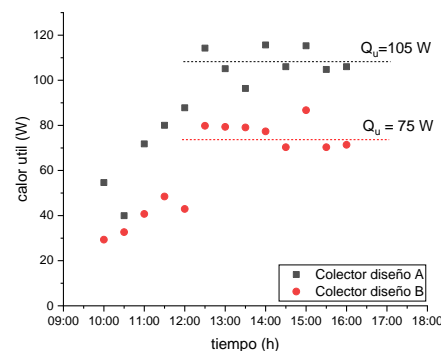


Figura 8: calor útil en los colectores con diseño A y B.

Se determinó el rendimiento de los colectores con los diseños A y B, para el día 24 de marzo del 2020. En la determinación del flujo másico del fluido calo portador (aire), se consideró las alteraciones termodinámicas que el aire sufre con

la variación de la temperatura, este factor fue tenido en cuenta en su determinación del rendimiento reflejado en la Fig. 8.

En la Fig. 9 se puede observar que el rendimiento medio para el colector con el diseño A es de aproximadamente 70% y del colector con el diseño B de aproximadamente 50%.

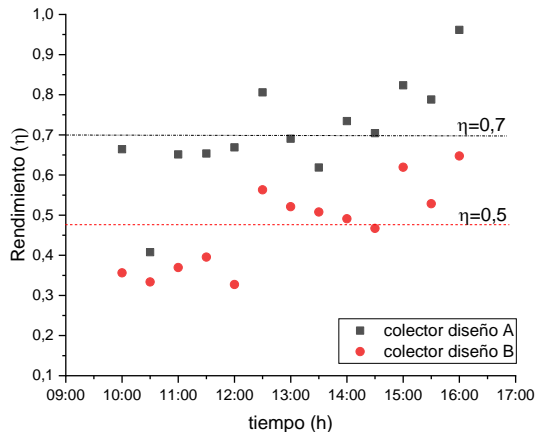


Figura 9: Curva de rendimiento en los colectores con diseño A y B

4 CONCLUSIONES

El colector solar basado en la tecnología heat pipe, diseñado a partir de tubos de cobre, alcanza rendimientos del orden del 70% para el colector del diseño A y del 50% del diseño B.

Las temperaturas medidas en los colectores, muestran un comportamiento similar, donde la temperatura en los tubos es constante en toda la longitud del tubo de cobre y disminuye en la región de transferencia de calor, característico del principio de funcionamiento del equipo ensayado. La temperatura del aire a la salida del colector alcanza valores entre 43°C y 41°C, alcanzando una diferencia de temperatura entre la entrada y salida del aire en el rango de 10-12°C.

Los cálculos del flujo de calor útil promedio de los colectores solares fueron de 105w y 75w, estos representan la producción térmica disponible de los mismos. Estos valores alcanzados son prometedores para emplearlo en diversas aplicaciones.

Los colectores solares tubulares heat pipe diseñados, se caracterizan por la accesibilidad de los materiales para su construcción, además el armado de los mismos no requiere mano de obra especializada.

En los ensayos alcanzaron valores de rendimiento y de temperatura de salida del aire prometedores. Por lo anteriormente mencionado hace auspicioso el empleo modular de estos colectores en acondicionamiento domiciliario y en el secado de productos agropecuarios.

5 REFERENCIAS

- Bar-Cohen A., Matin K., Jankowski N., Sharar D., Two-Phase Thermal Ground Planes: Technology Development and Parametric Result, Vol. 137, 2015
- Chan C.W., Siqueiros E., Ling-chin J., Royapoor M., Roskilly A.P. Heat utilisation technologies: A critical review of heat pipes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 615-627, 2015.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. *Solar engineering of thermal processes*, fourth edition, 2013.
- Le Berre M., Launay S., Sartre V., Lallemand M., Fabrication and Experimental Investigation of Silicon Micro Heat Pipes for Cooling Electronics, *Journal of Micromechanical Engineering*, Vol. 13, pp. 436-441, 2003.
- Moraga N., Bubnovich V. y Letelier M. Desarrollo Histórico de los Tubos de Calor y sus Aplicaciones, *Semantic Scholar*, Corpus ID: 170684981, 2008.
- Maidanik Y. F., Chernishva M.A., Pastukhov G.V. Review: Loop heat pipe with flat evaporators, 67,295-307, 2014.
- Rozas, C., Moraga, N., Bubnovich, V., & Letelier, M. (2012). Desarrollo Histórico de los Tubos de Calor y sus Aplicaciones.
- Sarraf D.V. Heat Pipe Heat Exchanger with Two Levels of Isolation for Environmental Control of Manned Spacecraft Crew Compartment, *SAE International*, 2006-01-2163, 2006.

Efecto del pH sobre la lixiviación de los iones mayoritarios de una muestra de residuo de construcción (revoque).

Wottitz, Carlos A.¹; Álvarez Escalada Fanny C.¹; Ramírez Antonio E.¹; Ruiz López, Rodrigo A.¹.

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
augusto.wottitz@gmail.com; fannyalvarezescalada@gmail.com, miyelanto@hotmail.com,
ruizlopezra@gmail.com

RESUMEN

La actividad de la construcción y de la demolición genera residuos sólidos que se denominan Residuos de la Construcción y Demolición que incluyen hormigón, madera, metales, yeso, cerámicos, ladrillos y vidrios. Este tipo de residuos no sólo contienen componentes inertes, también pueden presentar en su composición algunas sustancias peligrosas desde el punto de vista medioambiental. Por lo consiguiente, es necesario caracterizar los materiales desde este punto de vista para determinar los compuestos químicos que probablemente lixivien cuando las aguas de lluvia se filtren en el vertedero. El objetivo de este trabajo es evaluar la lixiviación de los iones mayoritarios (calcio; magnesio; sodio y potasio, cloruro; sulfato; nitrato; bicarbonato y carbonato) de muestras de revoque obtenidas de residuos de construcción y demolición a pH 2, 4, 7, 10 y 12. El pH influye significativamente en la lixiviación de todos los elementos presentes en la muestra de revoque. A pH ácidos, la lixiviación del ión calcio y magnesio es significativa mientras que la de los iones cloruro, sulfato, sodio y potasio es moderada. A pH alcalinos la influencia es menor. La mezcla de este tipo de residuos con otros que causen cambios en el pH del medio, pueden generar mayor contaminación que la prevista.

Palabras claves: Residuos- Construcción-Lixiviación-Influencia del pH

ABSTRACT

Construction and demolition activity generates solid waste called Construction and Demolition Waste, which includes concrete, wood, metals, plaster, ceramics, bricks and glass. This type of waste not only contains inert components, it can also contain some dangerous substances from an environmental point of view. Therefore, it is necessary to characterize the materials from this point of view to determine the chemical compounds that are likely to leach out when rainwater seeps into the landfill. The objective of this work is to evaluate the leaching of the major ions (calcium; magnesium; sodium and potassium, chloride; sulfate; nitrate; bicarbonate and carbonate) from plaster samples obtained from construction and demolition waste at pH 2, 4, 7, 10 and 12. The pH significantly influences the leaching of all the elements present in the plaster sample. At acidic pHs, the leaching of the calcium and magnesium ions is significant while that of the chloride, sulfate, sodium and potassium ions is moderate. At alkaline pH the influence is less. The mixture of this type of waste with others that cause changes in the pH of the medium, can generate more contamination than expected.

Keywords: Waste- Construction-Leaching-Influence of pH

1. INTRODUCCIÓN

La actividad de la construcción y de la demolición genera residuos sólidos que se denominan Residuos de la Construcción y Demolición (RCD). Los componentes típicos de los RCD incluyen hormigón, madera, metales,

yeso, cerámicos, ladrillos y vidrios. En general, se asume que estos residuos presentan bajo riesgo a la salud humana y al ambiente, sin embargo, el gran volumen que se genera impacta directamente en los costos de transporte y en la necesidad de disponer de grandes espacios para su

almacenamiento. Este tipo de residuos no sólo contienen componentes inertes, también pueden presentar en su composición algunas sustancias peligrosas desde el punto de vista medioambiental. Algunos ejemplos son metales como zinc y plomo, aniones como cloruros y sulfatos, y compuestos orgánicos como PAHs (hidrocarburos aromáticos policíclicos) (Capdevila et al., 2018; EPA^a, 1998; Mercante, 2007; Pacheco Bustos et al., 2017). Por lo consiguiente, es necesario caracterizar los materiales desde este punto de vista, para determinar los compuestos químicos que probablemente lixivien, cuando el agua de lluvia se filtren en el vertedero, a fin de: a) estimar los impactos potenciales de su disposición final, b) elegir adecuadamente las técnicas de tratamiento y evacuación y c) diseñar los sistemas apropiados para la recolección y tratamiento de los lixiviados. La velocidad de lixiviación de los distintos elementos depende: a) de cada material, b) del escenario donde tiene lugar, el cual a su vez influye directamente en el pH del medio y c) de la relación (L/S) de masas de agua respecto a la masa del material. (Hidalgo y Alonso, 2005; Kosson et al., 2014, Van der Sloot y Dijkstra, 2004).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha publicado una guía sobre el uso y la aplicación del Marco de Evaluación Ambiental de Lixiviación (LEAF, por sus siglas en inglés), el cual es un conjunto de cuatro pruebas de lixiviación y herramientas de gestión de datos. Las pruebas LEAF se han diseñado para evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre la lixiviación y los factores que afectan la liberación de constituyentes (EPA^b, 2019).

Engelsen et al., 2009 evaluaron la lixiviación de especies inorgánicas en términos de concentraciones de equilibrio a diferentes valores de pH para cuatro muestras de lotes de agregados de concreto reciclado (carbonatados y no carbonatados) recolectados de instalaciones comerciales de reciclaje y de una carretera (que se originaron en diferentes edificios antiguos de hormigón y mampostería, es decir, estaban parcialmente carbonatados) y se compararon con una muestra de hormigón bien documentada (no carbonatada) preparada en laboratorio con cemento Portland. En general, encontraron que las muestras provenientes de los centros de reciclado tienen mejor capacidad de

amortiguación que las muestras preparadas en el laboratorio, las tendencias de lixiviación para una especie determinada fueron similares para todas las muestras y que la diferencia se debe a la solubilidad de los minerales, de los cuales provienen los elementos considerados. Asimismo, se observó que la cantidad lixiviada aumenta conforme disminuye el valor de pH.

Butera *et al.*, 2014 investigaron treinta y tres muestras de desechos de construcción y demolición recolectadas en 11 instalaciones de reciclaje de Dinamarca. Se caracterizaron en términos de contenido total y lixiviación de elementos inorgánicos y la presencia de contaminantes orgánicos persistentes PCB (compuestos organoclorados) y PAHs (hidrocarburos aromáticos policíclicos). Las muestras incluyeron (i) residuos de hormigón "limpios" (es decir, sin mezclar), (ii) mampostería y hormigón mezclados, (iii) asfalto y (iv) núcleos de hormigón recién fundidos. En general, los valores de concentración encontrados en los lixiviados cumplieron con los límites de lixiviación permitidos excepto el selenio y, en algunos casos, el cromo, el sulfato y el antimonio. Kosson et al., 2014 informaron relaciones entre los resultados de las pruebas de lixiviación de laboratorio, según lo definido por el marco de evaluación ambiental de lixiviación (LEAF) o métodos de prueba internacionales análogos, y la lixiviación de componentes de una amplia gama de materiales en disposición y escenarios. Se evaluaron diez casos de campo para ilustrar cómo los resultados LEAF se pueden usar para comparar con los datos de lixiviados de campo para la eliminación o el uso beneficioso de siete materiales diferentes. Las pruebas de lixiviación de laboratorio LEAF en las comparaciones demuestran ser efectivas para estimar el comportamiento de lixiviación en el campo para una amplia gama de materiales tanto en condiciones de eliminación como de uso.

El objetivo de este trabajo es evaluar la lixiviación de los iones mayoritarios de muestras de revoque obtenidas de residuos de construcción y demolición a diferentes valores de pH. Los iones mayoritarios son los cationes calcio; magnesio; sodio y potasio, los aniones cloruro; sulfato; nitrato; bicarbonato y carbonato. Para ello, se determinó experimentalmente la concentración de estas especies en los lixiviados en función del pH manteniendo constante la relación $L/S \cong 10$ mediante el método EPA 1313

(EPA^c, 2017) y se discutió a la luz de la normativa vigente para el agua potable y de riego (Código Alimentario Argentino, 2019; Organización Mundial de la Salud, 2006; Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

Propiedades físicas del material

Las muestras de revoque de los residuos de construcción y demolición (RCD) se recogieron manualmente al azar de diferentes lugares de la ciudad de La Banda (Santiago del Estero, Argentina), totalizando aproximadamente 5 kg. El material se trituroó manualmente con un martillo de 2 kg, y se tamizó en una zaranda de arena fina (utilizada en albañilería) de aproximadamente 1,5 mm de abertura de malla. El material tamizado se almacenó en un recipiente con tapa, para la determinación del contenido de humedad según IRAM 10525, 1982; de la densidad aparente y real según el IRAM 10506, 1983 y posteriormente los ensayos de lixiviación a diferentes pH según el método EPA^c, 2017.

Ensayos de lixiviación en función del pH

La determinación experimental de la influencia del pH sobre la lixiviación de los iones mayoritarios se realizó en dos etapas.

La primera etapa consistió en determinar experimentalmente la cantidad de ácido y de base necesarios para obtener los valores de pH indicados en el Método 1313 (EPA^c, 2017).

En la práctica se procedió de la siguiente manera:

a) Se prepararon las soluciones de hidróxido de sodio y de potasio y se valoraron con biftalato de potasio sólido, resultando la concentración: $M_{NaOH} = (1,035 \pm 0,030)$ [mmol/mL] y $M_{KOH} = (1,150 \pm 0,020)$ [mmol/mL].

b) Luego se prepararon las soluciones de ácido nítrico y de ácido clorhídrico y se valoraron con la solución de hidróxido de sodio preparada anteriormente, resultando $M_{HNO_3} = (2,800 \pm 0,050)$ [mmol/mL] y $M_{HCl} = (2,800 \pm 0,010)$ [mmol/mL].

c) La muestra se secó previamente en estufa a 110 °C durante 24 hs.

d) Para el ensayo se pesaron $m_m^0 = 10,0$ [g] de la muestra anhidra y se agregaron $m_{H_2O}^0 = 99,7$ [g] de agua destilada.

d) Se realizaron las titulaciones volumétricas en un vaso de precipitados de 250 mL de forma alta

modelo Berzelius colocada sobre un agitador magnético y con una sonda de pH-metro colocada durante el ensayo. Con esta información se representó gráficamente $pH = f(V_{tit})$, el volumen de solución de hidróxido de sodio y de ácido nítrico.

e) Para los valores de $pH < 7$, se calculó el número de milimoles de ácido por gramo de muestra anhidra (C_A) a partir del volumen gastado de solución de ácido nítrico (V_A), según la ecuación siguiente

$$C_A \left[\frac{mmol \text{ ácido}}{g} \right] = \frac{V_A [mL] (ácido) \cdot M_{HNO_3} \left[\frac{mmol}{mL} \right]}{m_m^0 [g]} \quad (1)$$

f) Para los valores de $pH > 7$, se calculó el número de milimoles de base por gramo de muestra anhidra (C_B) a partir del volumen gastado de solución de hidróxido de sodio (V_B), según la siguiente ecuación

$$C_B \left[\frac{mmol \text{ base}}{g} \right] = \frac{V_B [mL] (base) \cdot M_{NaOH} \left[\frac{mmol}{mL} \right]}{m_m^0 [g]} \quad (2)$$

(APHA^a, 1992; EPA^c, 2017)

La segunda etapa consistió en tratar separadamente una masa conocida de residuo (m_m) con soluciones acuosas los pH 2, 4, 7, 10 y 12 respectivamente. El tratamiento de lixiviación se llevó a cabo en un vaso de precipitados de 250 mL de forma alta modelo Berzelius, con agitación giratoria con buzo magnético durante una hora, a una velocidad de rotación (controlada manualmente con el agitador) tal que mueva toda la masa de la muestra dentro del vaso. (EPA^c, 2017).

En general se procedió de la siguiente manera:

a) La muestra se secó previamente en estufa a 110 °C durante 24 hs.

b) Por cada ensayo se midieron aproximadamente $m_m = 20$ [g] de la muestra. El cálculo real. Se realizó partir de diferencia entre la tara del vaso de precipitados de 250 mL donde se realizó el ensayo (m_0 [g]) y la tara más la muestra m_1 [g] según la ecuación 3:

$$m_m [g] = m_1 [g] - m_0 [g] \quad (3)$$

c) Para el rango de $pH < 7$, se calculó el número total de milimoles de ácido (N_A) de ácido nítrico (para lixiviar los iones calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, bicarbonato y carbonato y de ácido clorhídrico (para lixiviar los iones nitrato), combinando la ecuación 1 y 3, según la ecuación 4

$$N_A [mmol] = m_m [g] \cdot C_A \left[\frac{mmol}{g} \right] \quad (4)$$

Se calculó el volumen de la solución de ácido necesario (ácido nítrico o ácido clorhídrico) $V_A[mL]$ según la ecuación 5

$$V_A[mL] = \frac{N_A[mmol]}{M_A\left[\frac{mmol}{mL}\right]} \quad (5)$$

A partir de la ecuación anterior, se calculó la masa de solución de ácido ($m_A[g]$), asumiendo que la densidad de la misma es aproximadamente igual a la densidad del agua

$$m_A[g] \cong V_A[mL] \cdot \rho_{H_2O} \left[\frac{g}{mL}\right] \quad (6)$$

Luego se calculó la masa necesaria de agua destilada $m_{H_2O}[g]$ para llegar a la masa total $m_2[g]$ de tal manera de mantener la relación L/S (Masa de solvente/Masa muestra) igual a 10, según la ecuación 7

$$\frac{L}{S} = \frac{m_2 = m_m + m_0 + m_A + m_{H_2O}}{m_m} = 10 \quad (7)$$

d) Para el ensayo de lixiviación a $pH \cong 7$ se procedió de manera similar al anterior, pero sin agregar solución de ácido ni de base.

e) En el ensayo de lixiviación a $pH > 7$ el procedimiento es similar al de $pH < 7$.

Se calculó la masa de la muestra de residuo (m_m). Se calculó el número de milimoles de base (N_B), de hidróxido de sodio (para lixiviar los iones calcio, magnesio, potasio, cloruros, sulfatos, bicarbonato y carbonato y de hidróxido de potasio para lixiviar los iones sodio).

Análisis químicos

Los análisis químicos se realizaron de la siguiente manera:

a) Una vez terminado el tiempo de agitación se lo dejó reposar 24 horas y se filtró cuidadosamente en papel de filtro cuantitativo.

b) Del filtrado de cada ensayo se determinaron por volumetría de formación de complejos (APHA^{b,c,d}, 1992) la concentración de iones calcio $C_{Ca} \left[\frac{mg}{L}\right]$ y de iones magnesio $C_{Mg} \left[\frac{mg}{L}\right]$; por volumetría de precipitación con nitrato de plata estandarizado (APHA^e, 1992) la concentración de iones de iones cloruro $C_{Cl} \left[\frac{mg}{L}\right]$; por volumetría de neutralización con ácido clorhídrico estandarizado (APHA^f, 1992) la concentración de iones bicarbonato $C_{HCO_3} \left[\frac{mg}{L}\right]$ y de iones carbonato $C_{CO_3} \left[\frac{mg}{L}\right]$.

c) De la solución obtenida en el paso anterior, se filtró nuevamente a presión con jeringa usando filtro 0,45 micrones y se determinaron los iones

sulfato iones sulfato C_{SO_4} según el método turbidimétrico por espectrofotometría UV-Vis (APHA^g, 1992) y los iones nitrato C_{NO_3} según el método por espectrofotometría UV (APHA^h, 1992) la concentración de iones sodio C_{Na} por fotometría de llama (APHAⁱ, 1992) y de iones potasio C_K por fotometría de llama, (APHA^j, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se indican los valores del contenido de humedad (CH), de densidad aparente (ρ_{ap}), del sólido (ρ_s) y porosidad del material analizado (ϵ).

Tabla 1 Contenido de humedad, densidad aparente y real y porosidad de la muestra

n	5
CH[%]	0,6 ± 0,1
$\rho_{ap} [g \cdot cm^{-3}]$	1,29 ± 0,02
$\rho_s [g \cdot cm^{-3}]$	2,40 ± 0,08
ϵ [%]	46 ± 1

El contenido de humedad informado se refiere al momento del análisis ya la temperatura ambiente del lugar donde estuvo conservada la muestra. El error relativo de aproximadamente el 25 % se explica por la propia heterogeneidad de la muestra, de todos modos y a los fines prácticos se puede asumir que la misma se encuentra seca, teniendo en cuenta el intervalo de su contenido de humedad: $0,5 < CH < 0,7$. En cuanto a los valores de densidad, los mismos se encuentran dentro del rango de valores de los materiales usados en la construcción (Sastre Sastre y Muñoz Salinas, 2010).

En la fig. 1 se observa la evolución del pH de las muestras en función del volumen gastado de la solución de hidróxido de sodio $M_{NaOH} = (1,035 \pm 0,030)$ [mmol/mL] y en función del volumen gastado de la solución de ácido $M_{HNO_3} = (2,800 \pm 0,050)$ [mmol/mL]. (EPA^c, 2017; Skoog et al. 2005).

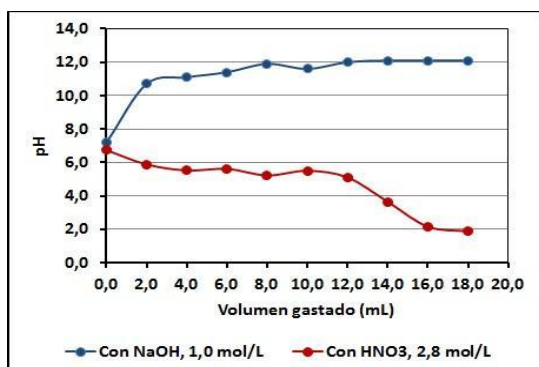


Fig. 1. pH de la muestra en función del volumen de solución de hidróxido de sodio y de solución de ácido nítrico.

En base a la fig. 1, se representa en la fig. 2 el pH en función C_A [mmoles de ácido /g de muestra anhidra] y C_B [mmoles de base /g de muestra anhidra] obtenida del cálculo según las ecuaciones 1 y 2.

De la fig. 2 se estima gráficamente el valor de C_A para el pH = 2 y pH = 4, y de C_B para el pH = 10 y pH = 12, y con ello la masa de ácido nítrico (y clorhídrico) para los pH <7 y la masa de hidróxido de sodio (e hidróxido de potasio) para los pH > 7.

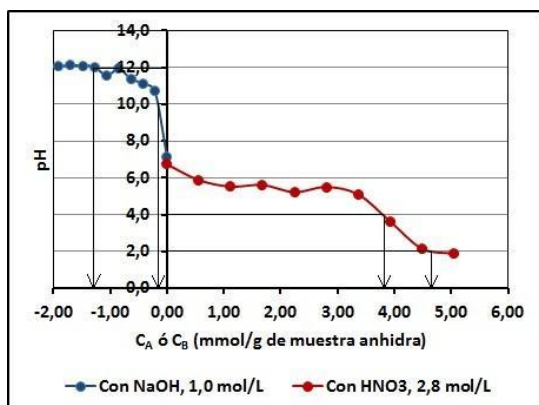


Fig. 2. pH en función C_A ó C_B (número de milimoles por gramo de muestra anhidra de ácido o de base).

Se observó que al titular con ácido nítrico 2,8 mol/L, el pH desciende desde 7 hasta aproximadamente 5 cuando se agregan aproximadamente 12 mL del mismo. Luego, el valor de pH desciende hasta 2, lo que sugiere que la capacidad buffer del sistema en este sentido es

de moderada a alta. Sin embargo, cuando se titula con el hidróxido de sodio 1,0 mol/L, el pH sube abruptamente desde 7 hasta 11 con el agregado de 2 mL de base. En comparación con otros residuos de construcción y demolición, se puede considerar un residuo moderadamente alcalino, (EPA^c, 2017; Kosson et al., 2014).

En las fig. 3 a 7 se presentan las concentraciones de los cationes y aniones lixiviados a los diferentes pH.

En la fig. 3 se observa que la concentración de $C_{Ca} \left[\frac{mg}{L} \right] = 44$ y $C_{Mg} \left[\frac{mg}{L} \right] = 31$ lixiviados en las condiciones ya descriptas generan una dureza total de $DT \left[\frac{mg}{L CaCO_3} \right] = 237$, la cual es menor que la exigida por el Código Alimentario Argentino, 2019 y Organización Mundial de la Salud, 2006.

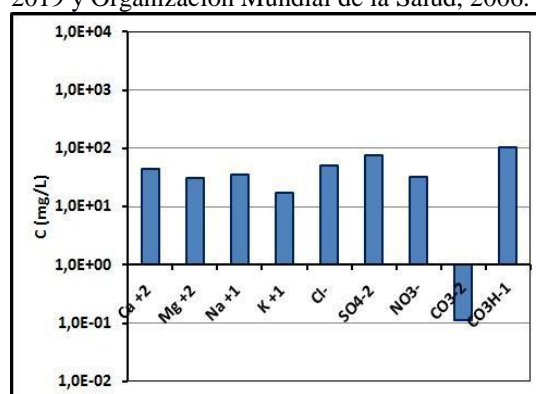


Fig. 3. Concentración de los iones lixiviados a pH 7

Respecto de $C_{Na} \left[\frac{mg}{L} \right] = 36$ y $C_K \left[\frac{mg}{L} \right] = 17$ no hay valores de referencia debido a que en el agua de consumo humano se presenta en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud, son menores que el umbral gustativo promedio del sodio es de 200 mg/l aproximadamente. Respecto de los aniones se observa que la concentración de $C_{Cl} \left[\frac{mg}{L} \right] = 50$, $C_{SO4} \left[\frac{mg}{L} \right] = 75$, $C_{NO3} \left[\frac{mg}{L} \right] = 32$ es menor que el límite permitido para el agua potable, que la exigida por el Código Alimentario Argentino, 2019 y Organización Mundial de la Salud, 2006. Respecto de $C_{CO3} \left[\frac{mg}{L} \right] = 0,11$ y $C_{HCO3} \left[\frac{mg}{L} \right] = 103$ no hay valores de referencia. Respecto de la calidad del agua para riego, la relación de absorción de sodio (RAS) es $0,71 < 10$, esto significa que el riesgo de sodicidad es bajo; el carbonato de sodio residual (CSR) es $-0,31 <$

1,25, significa que es de buena calidad, la salinidad potencial (SP) es $2,2 < 3$ significa que es de buena calidad. (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016).

En la fig. 4 se observa que la concentración de $C_{Ca} \left[\frac{mg}{L} \right] = 8768$ y $C_{Mg} \left[\frac{mg}{L} \right] = 601$ lixiviados en las condiciones ya descriptas generan una dureza total de $DT \frac{[mg]}{L CaCO_3} = 24382$, la cual es mucho mayor que la exigida por el Código Alimentario Argentino, 2019 y Organización Mundial de la Salud, 2006. Asimismo, la concentración de los iones sodio y potasio y de los aniones cloruro, sulfato y nitrato aumentan levemente.

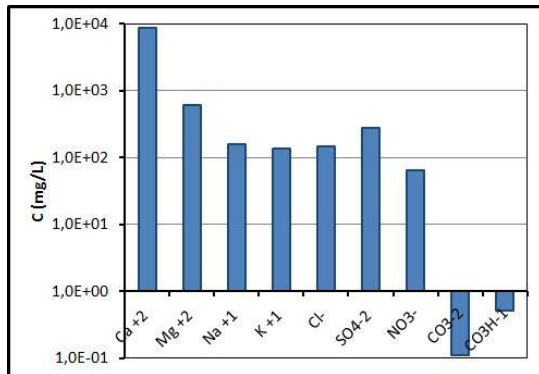


Fig. 4. Concentración de los iones lixiviados a pH 2.

La concentración de los iones carbonato y bicarbonato es prácticamente nula, debido a que a valores de pH bajos los mismos se transforman en CO₂(g). El leve aumento de las concentraciones de todos estos iones en las soluciones lixiviadas podrían deberse a que los mismos se encuentren enmascarados dentro de matriz sólida junto con los iones carbonato y bicarbonato. Respecto de la calidad del agua para riego, la relación de absorción de sodio (RAS) es $0,32 < 10$, esto significa que el riesgo de sodicidad es bajo; el carbonato de sodio residual (CSR) es $-487,5 < 1,25$ significa que es de buena calidad, la salinidad potencial (SP) es $3 < 6,98 < 15$ de calidad condicionada y también la elevada dureza perjudica su calidad (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016).

En la fig. 5 se observa que la concentración de $C_{Ca} \left[\frac{mg}{L} \right] = 6680$ y $C_{Mg} \left[\frac{mg}{L} \right] = 273$ lixiviados en las condiciones ya descriptas generan una dureza total de $DT \frac{[mg]}{L CaCO_3} = 17802$, similar al

caso anterior, la cual es mucho mayor que la exigida por el Código Alimentario Argentino, 2019 y Organización Mundial de la Salud, 2006.

Respecto de la concentración de los iones sodio y potasio y de los aniones cloruro, sulfato y nitrato aumentan pero levemente, y la concentración de los iones carbonato y bicarbonato es prácticamente nula, la situación es similar al anterior.

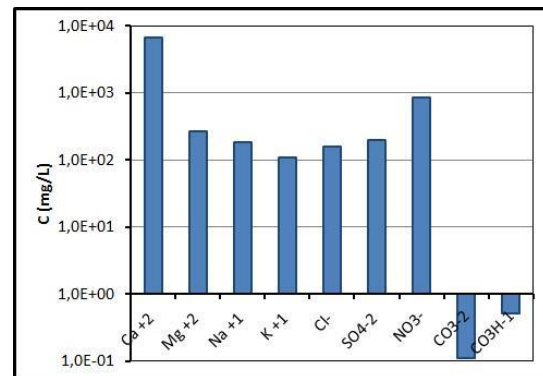


Fig. 5 Concentración de los iones lixiviados a pH 4

Respecto de la calidad del agua para riego, la relación de absorción de sodio (RAS) es $0,43 < 10$, esto significa que el riesgo de sodicidad es bajo; el carbonato de sodio residual (CSR) es $-356,0 < 1,25$, de buena calidad, la salinidad potencial (SP) es $3 < 6,61 < 15$ es decir de calidad condicionada. (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016).

En la fig. 6 se observa que la concentración de $C_{Ca} \left[\frac{mg}{L} \right] = 11$ y $C_{Mg} \left[\frac{mg}{L} \right] = 35$ lixiviados en las condiciones ya descriptas generan una dureza total de $DT \frac{[mg]}{L CaCO_3} = 173$, la cual es menor que la exigida por el Código Alimentario Argentino, 2019 y Organización Mundial de la Salud, 2006.

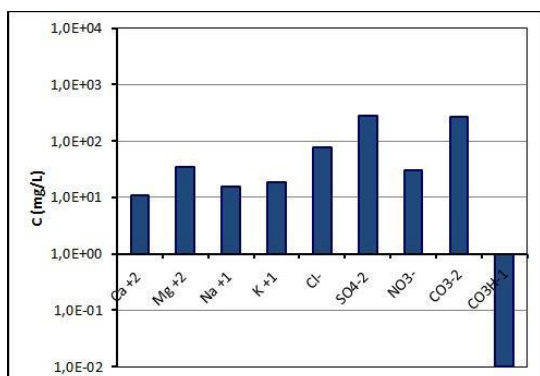


Fig. 6 Concentración de los iones lixiviados a pH 10

Respecto de la concentración de los iones sodio y potasio y de los aniones cloruro, sulfato y nitrato solo se observan pequeños cambios. La concentración de los iones carbonato aumentan significativamente y la de bicarbonato es prácticamente nula. Respecto de la calidad del agua para riego, la relación de absorción de sodio (RAS) es $0,37 < 10$, esto significa que el riesgo de sodicidad es bajo; el carbonato de sodio residual (CSR) es $5,4 > 2,50$ se clasifica como no recomendable, la salinidad potencial (SP) es $3 < 5,05 < 15$, es decir de calidad condicionada. (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016).

En la fig. 7 se observa que la concentración de $C_{Ca} \left[\frac{mg}{L} \right] = 7$ y $C_{Mg} \left[\frac{mg}{L} \right] = 35$ lixiviados en las condiciones ya descriptas generan una dureza total de $DT \left[\frac{mg}{L CaCO_3} \right] = 161$, la cual es menor que la exigida por el Código Alimentario Argentino, 2019 y Organización Mundial de la Salud, 2006.

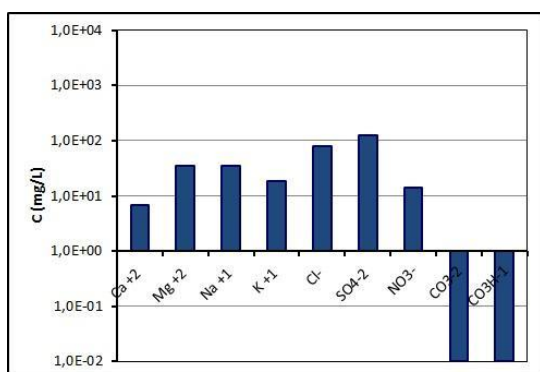


Fig. 7 Concentración de los iones lixiviados a pH 12

Respecto de la concentración de los iones sodio y potasio y de los aniones cloruro, sulfato y nitrato solo se observan pequeños cambios. La

concentración de los iones bicarbonato es prácticamente nula a ambos valores de pH. A pH 12 el ión HCO_3^- se transforma en CO_3^{2-} , el cual forma precipitados insolubles.

Respecto de la calidad del agua para riego, la relación de absorción de sodio (RAS) es $0,86 < 10$, esto significa que el riesgo de sodicidad es bajo; el carbonato de sodio residual (CSR) es $-3,2 > 2,50$ se clasifica como de buena calidad, la salinidad potencial (SP) es $3 < 3,52 < 15$, es decir de calidad condicionada. (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016).

Si se tiene en cuenta, que estos ensayos se hicieron bajo condiciones de laboratorio extremas, cabe esperar que en situaciones donde el pH sea próximo a 7, la masa lixiviada de los diferentes elementos será menor, por lo que, estos residuos podrían reutilizarse de distintas maneras. (Capdevila et al., 2018; EPA^a, 1998; EPA^c, 2017; Kosson et al., 2014)

Por otro lado, se puede inferir que la mezcla de este tipo de residuos con aquellos que pudieran cambiar su pH, generaría problemas de contaminación aún más complejos teniendo que cuenta la gran cantidad de residuos que se generan y se depositan en los vertederos. (Butera et al., 2014 Engelsen et al., 2009; Hidalgo López y Alonso, 2005; Van der Sloot y Dijkstra, 2004).

CONCLUSIONES

El pH influye significativamente en la lixiviación de todos los elementos presentes en la muestra de revoque.

A pH ácidos, la lixiviación del ión calcio y magnesio es significativa mientras que la de los iones cloruro, sulfato, sodio y potasio es moderada. A pH alcalinos la influencia es menor. La mezcla de este tipo de residuos con otros que causen cambios en el pH del medio, pueden generar mayor contaminación que la prevista.

En condiciones de campo, la lixiviación de estos materiales no afectaría la calidad del agua potable, sin embargo el efecto sobre el agua destinada para riego no puede desestimarse.

Aunque estos materiales, se consideren que afectan en escasa medida al ambiente, no se puede ignorar su influencia, sobre todo si se tiene en cuenta que los mismos se generan grandes cantidades.

REFERENCIAS

- American Public Health Association^a (APHA) (1992). Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Parte 4500-H+. Valor de pH. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^b (APHA) (1992). Propiedades físicas y de agregación. Parte 2340. Dureza. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^c (APHA) (1992). Determinación de metales. Parte 3500-Ca. Calcio. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^d (APHA) (1992). Determinación de metales. Parte 3500-Mg. Magnesio. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^e (APHA) (1992). Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Parte 4000. 4500-Cl. Cloruro. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^f (APHA) (1992). Propiedades físicas y de agregación. Parte 2320. Alcalinidad. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^g (APHA) (1992). Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. 4500-SO₄²⁻. E. Método turbidimétrico. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^h (APHA) (1992). Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Parte 4500-NO₃⁻. Método espectrométrico ultravioleta selectivo. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Associationⁱ (APHA) (1992). Determinación de metales. Parte 3500-Na. Sodio. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Método fotométrico de emisión de llama. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- American Public Health Association^j (APHA) (1992). Determinación de metales. Parte 3500-K. Potasio. En *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Método fotométrico de emisión de llama. ISBN 84-7978-031-2. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid (España).
- Butera S., Christensen T. H., Astrup T. F. (2014). Composition and leaching of construction and demolition waste: Inorganic elements and organic compounds. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 276, pp 302-311. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.033>.
- Capdevila J.A., Salomón J. E., Odebrecht A.M., Harada G. R., Sabaini F. (19 al 21 de septiembre de 2018). Evaluación de la gestión de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Córdoba. IV Congreso Argentino de Ingeniería – X Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería. Córdoba. https://cadi.org.ar/wp-content/uploads/2018/09/4_CADI_y_10_CAEDI_paper_55.pdf.
- Código Alimentario Argentino. Ley 18284 (2019). Capítulo XII. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas Artículos: 982 al 1079 -. Actualizado al 11/2019. Ministerio de Salud. ANMAT. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2019-11.pdf
- Engelsen J.E., van del Sloot H.A., Wibetoe G., Petkovic G., Stoltenberg-Hansson E., Lund W. (2009) Release of major from recycled concrete aggregates and geochemical modeling. *Cement and Concrete Research*. Volume 39, Issue 5. pp 446-45 <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.02.001>.
- Environmental Protection Agency^a (EPA^a) (1998) Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States. Municipal and Industrial Solid Waste Division. Office of Solid Waste. Report No. EPA530-R-98-010 by Franklin Associates Prairie Village, KS under subcontract to TechLaw, Inc. Contract No. 68-W4-0006, Work Assignment R11026. 94 P.

- Environmental Protection Agency^b (EPA) (2019) Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF) How-To Guide Understanding the LEAF Approach and How and When to Use It. SW-846 Update VII May 2019. https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-05/documents/final_leaching_environmental_assessment_framework_leaf_how-to_guide.pdf
- Environmental Protection Agency^c (EPA) (2017) .SW-846 Test Method 1313: Liquid-Solid Partitioning as a Function of Extract pH Using a Parallel Batch Extraction Procedure. https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/method_1313_-_final_8-3-17.pdf.
- Hidalgo López A., Alonso C. (2-4 junio 2005) Evaluación del impacto medioambiental debido a la lixiviación de productos de base cemento. I Jornadas de Investigación en Construcción (Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja. Madrid. Actas de las Jornadas. T. I, pp. 571-581. https://digital.csic.es/bitstream/10261/5427/1/Hidalgo_IETCC.pdf.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1982) IRAM 10525 Mecánica de suelos. Suelos granulares. Método de consideración de la densidad relativa. Número de edición: 1. Total de páginas: 19 <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/94>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1983). IRAM 10506. Mecánica de suelos. Métodos de determinación de la humedad de absorción y de la densidad aparente de suelos granulares. <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/74>.
- Kosson D.S., van der Sloot H.A., Garrabrants A.C. and Seignette P.F.A.B. (2014) Leaching Test Relationships, Laboratory-to-Field Comparisons and Recommendations for Leaching Evaluation using the Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF). EPA-600/R-14/061. October 2014 <https://www.vanderbilt.edu/leaching/wordpress/wp-content/uploads/600r14061-Lab-to-Field-LEAF1.pdf>
- Mercante, I. T. (2007). Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. Revista Científica de UCES, 11(2), 86-109. <http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/handle/123456789/152>
- Organización Mundial de la Salud (2006) Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1 Recomendaciones. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- Pacheco Bustos C.A., Fuentes Pumarejo L.G., Sánchez Cotte, E.H. Rondón Quintana H.A. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión. Ingeniería y Desarrollo, vol. 35, núm. 2, Fundación Universidad del Norte. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/852/85252030015/html/index.html>
- Sastre Sastre R., Muñoz Salinas F. (2010). Propiedades de los materiales y elementos de construcción. Ediciones UPC. Universitat Politecnica de Catalunya, SL. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36874>
- Skoog D.A., West D. M. Holler F. J., Crouch S T. (2005). Fundamentos de Química Analítica. Thomson Editores Spain, S.A. Madrid. ISBN 84-9732-333-5. Edición española. Paraninfo. 1065 p.
- Tartabull Puñales, T., Betancourt Aguilar C. (2016) La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. Revista Científica Agroecosistemas [seriada en línea], 4 (1). pp. 47-61. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/75/108>
- Van der Sloot H.A., Dijkstra J.J. (2004) Development of horizontally standardized leaching tests for construction materials: A material based or release based approach? Identical leaching mechanisms for different materials. ECN-C--04-060 <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-C--04-060>

CIENCIA DE LA TIERRA



Hidrogeomorfología de la localidad de La Puerta- Banda Sur, Departamento Ambato, Catamarca

Cisternas M.¹; Eremchuk J.¹; Vergara E.¹; Morales G.¹; Purulla, F.¹

(1) *Departamento de Geología, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCA mciste@hotmail.com; eremchuk@tecno.unca.edu.ar; trinidad_vergara@hotmail.com; gustavomorales.geo@gmail.com; purullafrancisco@gmail.com*

RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad caracterizar las unidades hidrogeomorfológicas de los terrenos fluviales del río Ambato, donde se asienta la localidad de La Puerta - Banda Sur, departamento Ambato, distante 46 Km al Norte de San Fernando del Valle de Catamarca y determinar su comportamiento en los últimos 22 años, empleando análisis multitemporal de imágenes satelitales.

Los componentes hidrogeomorfológicos se identifican a partir del reconocimiento de los umbrales físicos naturales de erosión en el terreno y la interpretación visual de imágenes satelitales obtenidas de sitios web de libre acceso: Google Earth y Earth Observing System, aplicando la interfaz web Land Viewer. La cartografía hidrogeomorfológica se elabora a escala 1: 50.000, empleando el software ARC GIS, versión 3.1. Para el análisis multitemporal se considera el periodo 1998 – 2020.

La delimitación de los terrenos fluviales permite su zonificación desde el punto de vista hidrogeomorfológico en cuatro unidades: lecho menor, lecho mayor, terraza inferior e interfluvio.

El análisis multitemporal posibilita determinar su comportamiento ante crecientes extraordinarias ocurridas en las dos últimas décadas y la tendencia a una urbanización recreativa de segunda residencia, sobre los terrenos susceptibles de inundación por avenidas de gran magnitud del río Ambato.

ABSTRACT

The purpose of this work is to characterize the hydrogeomorphological units of the fluvial lands, deposited by the Ambato river, on which the town of La Puerta - Banda Sur, Ambato department, situated 46 km North of San Fernando del Valle de Catamarca, and determine its behavior in the last 22 years, using multitemporal analysis of satellite images.

Hydrogeomorphological components are identified from the recognition of natural physical erosion thresholds in the terrain and the visual interpretation of satellite images obtained from free access websites: Google Earth and Earth Observing System, applying the Land Viewer web interface. The hydrogeomorphological cartography is made at a scale of 1: 50,000, using the ARC GIS software, version 10.3. For the multitemporal analysis, the period 1998 - 2020 is considered.

The delimitation of the fluvial lands allows its zoning from the hydrogeomorphological point of view in four units: minor bed, major bed, lower terraces and interfluvial land.

The multitemporal analysis makes it possible to determine its behavior in the face of extraordinary increases that have occurred in the last two decades and the trend to a recreational urbanization of second residence, on the flood sensitive land by large avenues of the Ambato river.

Palabras claves: Hidrogeomorfología – Análisis multitemporal – Inundación – Terrenos fluviales

Keywords: Hydrogeomorphology - Multitemporal analysis - Flood – Fluvial lands

1 INTRODUCCION

El presente trabajo se realiza en el marco del proyecto de Innovación y Transferencia a la Sociedad y al Sector Productivo 2018 (PIT-SSP) "Propuesta de herramientas de gestión prospectiva para problemas de inundación fluvial en núcleos urbanos del Valle Central de Catamarca", aprobado por la Secretaría de Vinculación y Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional de Catamarca. Tiene por finalidad describir las unidades hidrogeomorfológicas de los terrenos ribereños sobre los que se asienta la localidad de La Puerta - Banda Sur, departamento Ambato, provincia de Catamarca y determinar su comportamiento en los últimos 22 años, empleando análisis multitemporal de imágenes satelitales (Figura 1). Se accede a este núcleo urbano desde la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca recorriendo una distancia de 46 km al Norte, por ruta provincial N°1. A la población de La Puerta-Banda Sur se ingresa por ruta provincial N° 16. Esta traza vial la conecta con la villa veraniega de El Rodeo.

El Municipio de La Puerta comprende las localidades de Isla Larga, Banda Sur, Banda Norte, El Talar, Huaycama y Colpes, que se ubican a la vera del río del Valle.

La localidad de La Puerta es la cabecera del departamento Ambato y está situada a 895 m s.n.m. Tiene una población de 706 habitantes, cuenta con los servicios públicos esenciales (agua, energía), establecimientos educativos primario y secundario, posta sanitaria y comisaría (Dirección Provincial de Estadísticas y Censos, 2016).

El río del Valle circula en dirección norte-sur entre las sierras de Graciana y Ambato, es de régimen permanente, constituye el principal curso de agua que drena el Valle Central de Catamarca y divide a la localidad de La Puerta en dos bandas: "Norte" y "Sur".

Uno de sus aportes más importante es el río Ambato, curso de agua permanente que nace en las estribaciones del cerro Manchao (sierra de Ambato), transita con dirección predominante noreste, atraviesa la localidad de El Rodeo y luego se encajona en una estrecha quebrada para descargar sus aguas en el río del Valle formando un paleocono, a la altura de la localidad de La Puerta - Banda Sur. Esta geoforma de agradación, actualmente no funcional, se produce

a consecuencia del cambio de pendiente y pérdida de capacidad de transporte del torrente de montaña. Sobre estos terrenos, posteriormente el río Ambato forma y delinea las unidades hidrogeomorfológicas que se describen en el presente trabajo.

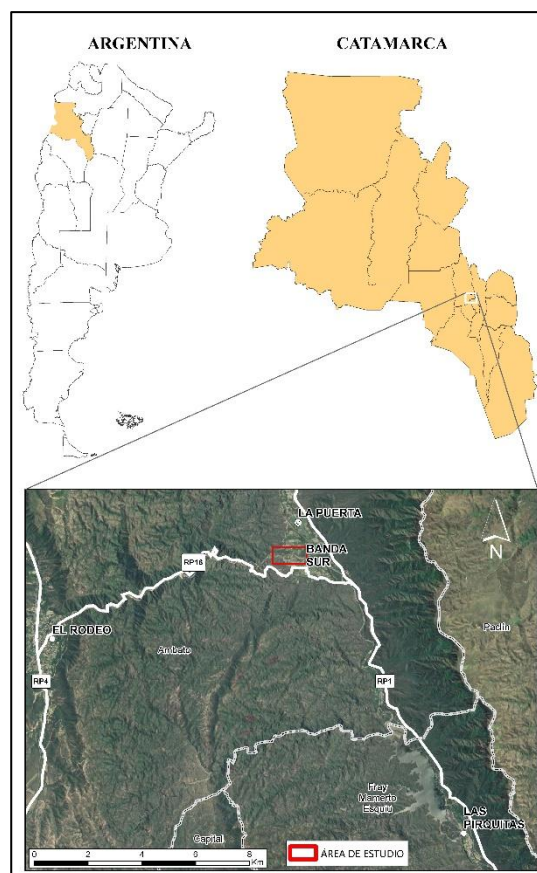


Figura 1. Ubicación y vías de acceso al área de estudio.

En la provincia de Catamarca, caracterizada por un relieve predominantemente montañoso y condiciones climáticas de semiaridez, los núcleos urbanos tienden a ubicarse sobre terrenos ribereños susceptibles de inundación fluvial.

La problemática de inundaciones genera inconvenientes de diversa magnitud en nuestra región; se ha visto potenciada en las últimas décadas, a consecuencia del aumento de la temperatura, las precipitaciones y el cambio de uso del suelo, producto de la expansión de la trama urbana.

En enero de 1999, una creciente extraordinaria del río Ambato produce el desborde de este curso de agua sobre los terrenos ribereños localizados sobre su margen derecha en La Puerta - Banda

Sur. En el verano del 2014, otro evento aluvional de gran magnitud afecta a la localidad de El Rodeo, situada 39 km al noroeste de la ciudad Capital de la provincia, produciendo la muerte de 12 personas, además de daños en la infraestructura urbana y vial (Colegio de Geólogos de Catamarca, 2014). Este mismo fenómeno origina sobre la vertiente occidental de la Sierra de Ambato una catástrofe de características similares sobre la localidad de Sijan, en el departamento Poman (Cisternas et al., 2017).

En 2014 y 2015, luego de eventos de precipitaciones extraordinarias, diversos núcleos urbanos del departamento Santa Rosa, en la región limítrofe con las provincias de Tucumán y Santiago del Estero, soportan inundaciones de considerable extensión que ocasionan cortes en las rutas de acceso, afectación de viviendas, pérdida de gran cantidad de tierras cultivables, siendo un factor potenciador de este fenómeno, el cambio de uso de suelo como consecuencia de los grandes emprendimientos agrícolas de las últimas décadas (Colegio de Geólogos de Catamarca, 2016).

Asimismo, es necesario resaltar que la ejecución de medidas de reconstrucción de las áreas afectadas implica grandes costos, los que muchas veces se deben replicar ya que estos fenómenos tienden a repetirse periódicamente.

Por lo tanto, se considera importante la zonificación de los terrenos ribereños, teniendo en cuenta aspectos geomorfológicos relacionados con la dinámica fluvial que sirva como información de base para la determinación del riesgo de inundación.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La cartografía hidrogeomorfológica se elaboró a escala 1: 50.000, empleando el software ARC GIS, versión 10.3 y la interpretación visual de escenas satelitales del sitio web Google Earth (23/01/2003 y 12/10/2018).

Para el análisis multitemporal se han utilizado imágenes provenientes de los sistemas sensores LANDSAT 5 (31/01/1998), LANDSAT 7 (09/10/1999), LANDSAT 8 (27/01/2014) y SENTINEL 2A (03/11/2020), obtenidas del sitio Earth Observing System, aplicando la interfaz web Land Viewer.

Para una mejor visualización del área de estudio, se usó la combinación de bandas del infrarrojo y

visible que permiten destacar la diferencia agua – tierra. En el caso de imágenes LANDSAT se tuvo en cuenta la combinación de bandas NIR/SWIR1/rojo y para SENTINEL 2 L2A, RED8/SWIR1/rojo.

La determinación de los componentes hidrogeomorfológicos de la dinámica fluvial del área de estudio se efectuó a partir del reconocimiento de los umbrales físicos naturales de erosión en las imágenes satelitales y en el terreno, que se presentan en el esquema de la Figura 2, la cual corresponde a un corte transversal de un río donde se han identificado los taludes de erosión.

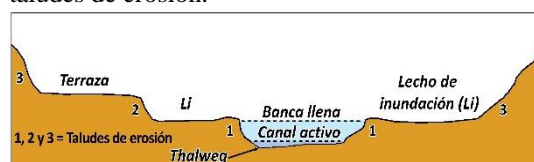


Figura 2. Corte transversal de un curso de agua (Zonificación modificada de Eremchuk, 2019)

Talud 1: Corresponde a los límites del “lecho menor o cauce” del río y contienen los caudales de las crecidas ordinarias. Dentro de estos límites es posible encontrar barras, playas o islas. El sector más bajo o profundo de esta unidad se la identifica como canal de estiaje (*thalweg*, en inglés).

Talud 2: Espacio natural o faja de terrenos que colinda con el cauce y se denomina “lecho mayor o de inundación”.

Terrazas: Son los terrenos que se hallan entre los taludes 2 y 3. Un curso de agua puede tener uno o más de un nivel de estas geoformas.

Talud 3: Es producto de la socavación lateral de antiguas crecientes del curso de agua que superó el Talud 2 alcanzando los terrenos firmes o estables que pertenecen a las zonas de interfluvios o a un nivel de terraza más antiguo.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las diferentes unidades geomorfológicas de origen fluvial identificadas en la localidad de La Puerta - Banda Sur, se muestran en la Figura 3 y se describen a continuación:

Lecho menor u ordinario

Es el espacio natural por donde escurren las aguas permanentes, intermitentes o efímeras de un río y que contienen u ocupan los caudales de las

crecientes ordinarias. Su ancho promedio es de 20 m. Su límite natural es el Talud 1 (Foto 1). Constituye la zona deprimida del cauce, a modo de angosta faja que al salir del tronco de montaña circula con dirección al noreste para luego dirigirse al este, describiendo escasas sinuosidades hasta confluir con el río del Valle y continuar hacia el sudeste.



Foto 1. Lecho ordinario del río Ambato. Talud 1, límite natural entre el lecho menor y mayor del río Ambato.

El material que integra este lecho está formado por bloques, gravas y arenas, el cual a medida que se aleja del tronco montañoso disminuye su granulometría. En esta zona alternan la agradación transitoria con la erosión. Esta unidad está compuesta por:

- El canal activo o principal por donde transitan los caudales de estiaje o menores de un río, sean flujos permanentes o intermitentes.
- El *thalweg* o canal de estiaje, que se ubica dentro del canal activo y es la parte más baja y de mayor pendiente del lecho menor del río.
- Barras activas, que corresponden a los depósitos en tránsito del curso de agua.
- Restos de material de transporte o de erosión sobre las márgenes u orillas (taludes) del cauce, que son posibles de identificar en las imágenes satelitales y en terreno, a través de marcas de crecidas o resacas que dejan los flujos de escurrimientos.



Figura 3. Carta Hidrogeomorfológica de la localidad de La Puerta – Banda Sur, departamento Ambato, Catamarca. La imagen satelital de base corresponde a la fecha 12/10/2018, obtenida del programa Google Earth.

Lecho mayor o de inundación

Corresponde a la franja de terrenos adyacentes al lecho ordinario que son inundados con frecuencia

y se encuentran delimitados por los umbrales físicos naturales de ambas márgenes.

El límite natural con la unidad geomorfológica terraza es el Talud 2 (Fotos 2 y 3).

A la salida del tronco de montaña, esta unidad no está siempre desarrollada a ambos lados del lecho ordinario del río Ambato, debido a la presencia de afloramientos del basamento cristalino.



Foto 2: Talud 2, límite entre las unidades geomorfológicas Lecho mayor y Terraza inferior.



Foto 3: Talud 2. Obsérvese en la mitad superior, el material limoso que ha permitido la formación de una capa edáfica (1) y en la base del talud, el material aluvional de granulometría gruesa (2).

Alcanza su mínima expresión a la altura del badén (45 m) y su máxima (140 m) antes de la confluencia con el río del Valle.

El lecho mayor del río mencionado se extiende en forma asimétrica, con importante ensanchamiento sobre su margen derecha controlado por la naturaleza del terreno que lo contiene.

Sobre la margen derecha del río Ambato, los terrenos pertenecientes a esta unidad se encuentran tapizados por vegetación e incluso se han construido obras de infraestructura urbana (Camping Municipal y camino vecinal).

La morfología actual de esta unidad se define por la creciente ocurrida en el río Ambato en enero de 1999, evidenciada a través del análisis multitemporal de las imágenes satelitales de diferentes fechas.

Se han seleccionado escenas del 31/01/1998 y del 09/10/1999, donde se puede observar la avulsión del curso de agua en el tramo de la Banda Sur de La Puerta.

En la imagen del año 1998, se identifica el cauce en forma regular y en la del año 1999, presenta irregularidades (en tonos amarillo claro y blanco) con desborde de los caudales sobre la margen derecha del río Ambato (Figura 4).

La escena satelital del 23/01/2003 (Figura 5) muestra los sectores de mayor afectación sobre el lecho mayor o de inundación en la margen derecha del río Ambato. En esta figura, se indican los sectores de desbordes, avulsión, derrames sobre el talud de la terraza y flujos encauzados. Asimismo, se destaca el canal activo y el lecho ordinario del mismo.

La observación diacrónica de imágenes satelitales de 27/01/2014 y 03/11/2020 (Figura 6) muestra la divagación normal del cauce.

La imagen A corresponde a un registro obtenido cuatro días posteriores a la creciente extraordinaria del río Ambato que generó importantes inundaciones, afectación de viviendas y pérdidas de vidas humanas en la villa El Rodeo. Al pasar por la zona de estudio se comportó como una máxima crecida ordinaria, no generando avulsión sobre el lecho mayor del curso de agua, sin modificar la morfología labrada por la creciente del año 1999.

En la última década, se evidencia un incremento importante de la ocupación del suelo por la construcción de viviendas usadas como segunda residencia por los habitantes de los núcleos urbanos de mayor desarrollo del Valle Central de Catamarca.

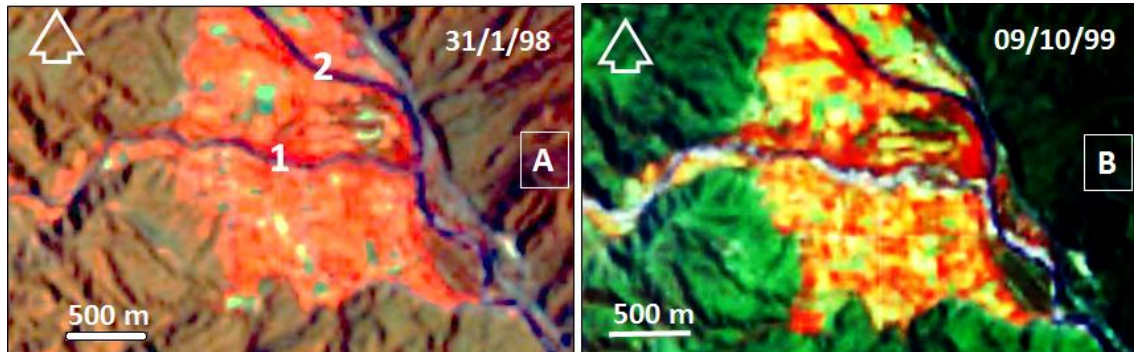


Figura 4. Imagen A; LANDSAT 5 (TM) del 31 de enero de 1998. Imagen B: LANDSAT 7 del 9 de octubre de 1999. (Combinación de bandas NIR, SWIR1, Rojo). 1 = Río Ambato, 2 = Río del Valle.

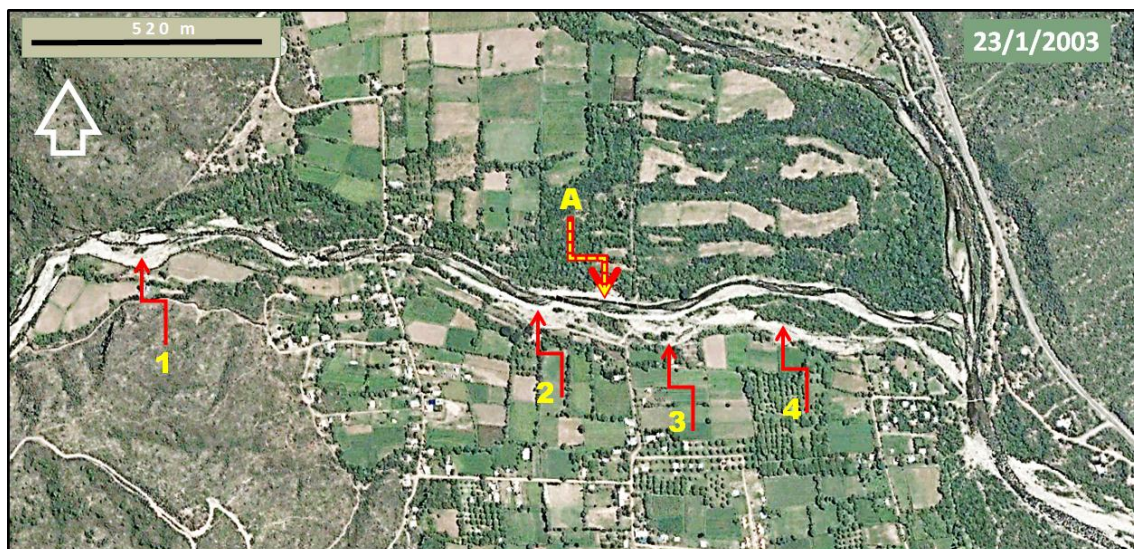


Figura 5: Imagen satelital del 23 de enero de 2003 (Google Earth) del río Ambato. 1 = Avulsión sobre el ápice del cono aluvial, alcanzando el talud de la terraza. 2 = Sector de desborde del río, aguas abajo del badén, 3 = zona de derrames con posible erosión sobre el talud de la Terraza, 4 = flujos encauzados sobre el lecho mayor al pie de la Terraza, A = Muestra el canal activo, línea de tono gris a gris oscuro y el cauce o lecho ordinario franja en gris claro a blanquecino.

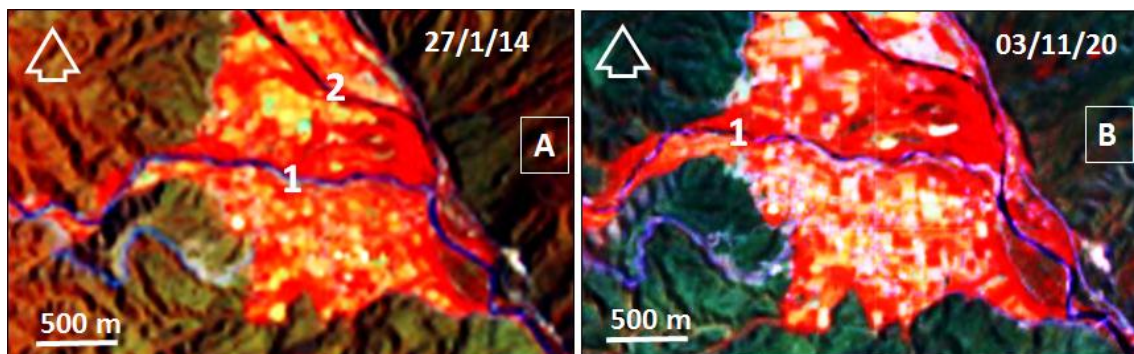


Figura 6. Imagen A; LANDSAT 8, del 27 de enero de 2014 (Combinación de bandas NIR, SWIR1, Rojo). Imagen B; Sentinel-2 L2A del 03 de noviembre de 2020 (Combinación de bandas Red8, SWIR1, Rojo). 1 = Río Ambato, 2 = Río del Valle.

Terraza inferior

Son antiguos lechos de inundación del río, que deja la corriente al excavar sus propios materiales. Forman superficies planas, elongadas, con un reborde abrupto hacia su lecho mayor, contacto gradual con el piedemonte y abrupto con la vertiente montañosa. Están constituidas por material detrítico, estratificado, con escasa consolidación. Su límite físico natural con el área de interfluvios es el Talud 3 (Foto 4).

Se encuentra mejor desarrollada sobre la margen derecha de los ríos Ambato y del Valle. El nivel de terraza de la margen izquierda del río Ambato constituye una angosta faja con una densa cobertura vegetal (bosques ribereños), estando ausente en el río del Valle.

Estos terrenos no han sido alcanzados por crecientes estivales, según muestran los registros de imágenes satelitales desde el año 2003 a la actualidad, aunque se observan diferentes puntos factibles de desbordes.



Foto 4. Talud 3. Límite entre las unidades geomorfológicas Terraza inferior y Área de Interfluvios.

Eremchuk, (2019) menciona que dentro del ambiente de las vertientes de las sierras de Ambato y norte de Ancasti, esta unidad es alcanzada por crecientes de diferentes ríos al menos una vez en los últimos 50 años. Por lo

tanto, considerando el contexto regional se debe tener en cuenta que estos terrenos son susceptibles de inundación fluvial y su ocupación urbana requiere estudios hidráulicos especiales, que permitan diseñar obras de protección ante eventuales fenómenos de inundación del río Ambato.

Área de interfluvios

Son los terrenos pedemontanos que se han formado a consecuencia de la depositación de materiales que transporta el río Ambato al salir del tronco de montaña y producirse una disminución de la pendiente. Presenta un contacto gradual con el nivel de terraza y neto con las laderas del basamento cristalino. Esta unidad está ocupada con infraestructura urbana y agrícola.

En el sector Sur del área de estudio se ha identificado una pequeña cuenca hidrográfica de un arroyo que descarga sobre esta unidad, el cual ha sido obliterado por la actividad agrícola e infraestructura urbana-rural y puede generar peligro de inundación axial sobre estos terrenos.

4 CONCLUSIONES

Se delimitaron y clasificaron los terrenos fluviales del río Ambato en el tramo de la localidad de La Puerta - Banda Sur, en cuatro unidades hidrogeomorfológicas: lecho menor, lecho mayor, terraza inferior y área de interfluvios.

Las tierras de la margen derecha del lecho mayor del río Ambato fueron alcanzadas por una creciente extraordinaria en el periodo estival del año 1999, que definió la morfología actual del cauce fluvial. El fenómeno aluvional que afectó a El Rodeo en enero de 2014 se comportó como una creciente de “banca llena” en la zona de La Puerta – Banda Sur, no generando mayores inconvenientes en la zona poblada.

Las tierras que pertenecen al nivel inferior de las terrazas, al menos una vez cada 50 años, son cubiertas por flujos de aguas de crecientes extraordinarias, según los antecedentes consultados para el contexto regional.

Se observa tendencia a una urbanización recreativa de segunda residencia, sobre los terrenos hidrogeomorfológicos susceptibles de ser inundados por avenidas extraordinarias de los ríos Ambato y del Valle.

La zonificación hidrogeomorfológica es adecuada como base para el análisis del riesgo de

inundación y se considera de gran utilidad en la planificación y/u ordenamiento territorial del área de estudio.

REFERENCIAS

- Cisternas, M., Vergara, E., Nieto, R. Eremchuk, J., Musuruana, A. y Acha, E. *Análisis de la dinámica del río Sijan, vinculada al aluvión del 23/01/2014, dpto. Pomán, provincia de Catamarca*. Sesión Técnica 15. XX Congreso Geológico Argentino. Tucumán. Pág. 16 a 21. 2017.
- Colegio de Geólogos de Catamarca. *Causas del desastre. El Rodeo, Ambato, provincia de Catamarca*. Inédito. 2014.
- Colegio de Geólogos de Catamarca. *Determinación de áreas inundables de las localidades ubicadas en las cuencas de los ríos El Abra y San Francisco del este catamarqueño, provincia de Catamarca*. Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación Recursos Hídricos. Inédito. 2016.
- Dirección Provincial de Estadísticas y Censos. *Información estadística de los municipios de la provincia de Catamarca 2016*. <http://www.estadistica.gob.ar/index.php/component/content/article/9-sin-categoria/168-publicaciones>. 15/07/2020.
- Eremchuk, J. Geoamenazas por inundaciones de las geoformas fluviales de áreas urbanas y rurales de los principales ríos del centro y este de la provincia de Catamarca. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* - N° 42 – Pág. 35-49 - ISSN 2422-5703. 2019.

Evaluación del modelo geopotencial XGM2019e basado en datos de observación GOCE para la región de Santiago del Estero

Infante, Claudia¹; Tocho, Claudia^{2,3}; Galván, Lucrecia¹; Duro, Javier¹.

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. claudia.nfnt@gmail.com; aperezreverte@yahoo.com.es*

(2) *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata*

(3) *Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires
Claudia.nfnt@gmail.com*

RESUMEN

La misión satelital gravimétrica GOCE (Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer) ha generado un nuevo impulso en el desarrollo de nuevos modelos globales del campo de gravedad terrestre (GGM). Los GGM basados en GOCE muestran la mejora en el modelado del campo gravitacional en la larga longitud de onda. En este trabajo, se presenta el estudio y evaluación del modelo XGM2019e representado por armónicos esferoidales hasta el grado y orden (d/o) 5399, con una resolución espacial de 2' (aproximadamente 4 km en el ecuador). Al momento de la elaboración del presente trabajo está disponible en grilla de datos el modelo al d/o 2190, con una resolución de 5' (aproximadamente 9 km). El análisis se efectúa en la provincia de Santiago del Estero, sobre 602 Puntos Fijos Altimétricos (PFA) de la red de nivelación de alta precisión del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La evaluación muestra un promedio de -0.54 [mGal] y una desviación estándar de ± 4.51 [mGal] en las diferencias entre anomalías gravimétricas de Bouguer determinadas en los PFA y sus homólogas del GGM. Estos resultados indican un buen comportamiento del modelo XGM2019e en concordancia con numerosas evaluaciones del mismo realizadas con fuentes de datos independientes.

ABSTRACT

The GOCE gravimetric satellite mission (Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer) has generated new momentum in the development of new global models of the Earth's gravity field (GGM). GGMs GOCE-based show improvement in gravitational field shaping at long wavelength. In this work, we present the study and evaluation of the XGM2019e model represented by spheroidal harmonics up to the degree and order (d/o) 5399, with a spatial resolution of 2' (approximately 4 km at the equator). At the time of preparing this work, the model at d/o 2190 is available in the data grid, with a resolution of 5' (approximately 9 km). The analysis is carried out in the province of Santiago del Estero, on 602 Fixed Altimetric Points (PFA) of the high precision leveling network of the National Geographic Institute (IGN). The evaluation shows an average of -0.54 [mGal] and a standard deviation of ± 4.51 [mGal] in the differences between Bouguer gravimetric anomalies determined in PFAs and their GGM counterparts. These results indicate a good performance of the XGM2019e model in accordance with numerous evaluations of it carried out with independent data sources.

Palabras clave: Modelo Geopotencial Global – XGM2019e - Anomalías de Bouguer

Keywords: Global Geopotential Models - XGM2019e - Bouguer anomalies

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento preciso del campo gravitatorio de la Tierra es crucial para una gran cantidad de geociencias, ya que se puede utilizar para determinar marcos de referencia verticales y

brindar información sobre la distribución de masas en el sistema Tierra (Zingerle et al. 2020). Por ejemplo, un modelo de gravedad preciso de alta resolución es fundamental para una unificación de altura global (Gruber et al. 2012; Ihde et al. 2017) o un análisis consistente del

nivel del mar (Woodworth et al. 2012). Desde la aparición de las misiones espaciales gravimétricas, especialmente el Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE, Tapley et al. 2004) y el Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE, Drinkwater et al. 2003), la calidad de los modelos globales del campo de gravedad terrestre (GGM) ha mejorado significativamente. Por ejemplo, los datos de GRACE aumentados con una compilación completa de observaciones de gravedad terrestre contribuyeron al modelo combinado del campo de gravedad global de alta resolución EGM2008, ampliamente utilizado (Pavlis et al. 2012). Otros modelos posteriores de alta resolución como EIGEN6-C4 (Förste et al. 2014) o GECO (Gilardoni et al. 2016) ampliaron EGM2008 más adelante al incluir adicionalmente datos de GOCE, lo que resultó en una mejora adicional en las longitudes de onda más largas. El satélite GOCE equipado con un gradiómetro de 6 componentes y orbitando a baja altura (260 km aproximadamente sobre la superficie terrestre) proporcionó las más detalladas mediciones del campo de gravedad terrestre desde el espacio. Los GGM basados en GOCE, en consecuencia, muestran una mejora en el modelado del campo gravitacional en la larga longitud de onda.

Los GGM describen el campo de gravedad global de la Tierra y se expresan principalmente en términos de coeficientes armónicos esféricos.

Se aborda en particular, en el presente trabajo, el estudio y evaluación del GGM XGM2019e (Zingerle et al. 2020) por ser el modelo más reciente disponible que incorpora datos de la misión gravimétrica completa GOCE y que en su desarrollo completo tiene una resolución de 2' (aproximadamente 4 km en el Ecuador). Al momento de realización del presente trabajo está disponible la grilla de valores de XGM2019e para una resolución de 5' (aproximadamente 10 km en el Ecuador), por lo que se trabaja con esta resolución del mismo. La evaluación se realiza por comparación con datos terrestres gravimétricos de la Red de Nivelación de Alta Precisión del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se analizan las variaciones de las anomalías gravimétricas de Bouguer derivadas del MGG para el territorio de la provincia, y su relación con la topografía.

Se prevén como tareas futuras realizar inversión de anomalías de Bouguer para determinar ondulación del Moho y estructura de la corteza.

2. EL POTENCIAL TERRESTRE

El conocimiento del campo de gravedad terrestre es fundamental para las Ciencias de la Tierra en general y para la Geodesia en particular debido a que prácticamente todas las observaciones geodésicas están vinculadas al mismo. Resulta conveniente representar el campo de gravedad terrestre a través de una magnitud escalar llamada potencial V . El potencial gravitacional terrestre V es producido por efecto de las masas terrestres y se determina a través de la expresión (1).

$$V = G \iiint \frac{dm}{r} \quad (1)$$

Siendo G la constante gravitacional, dm el elemento de masa y r la distancia geocéntrica.

El mayor inconveniente de esta ecuación es el desconocimiento de la distribución de densidad de masa en el interior de la Tierra. En consecuencia para evaluar el potencial gravitacional será necesario recurrir a mediciones vinculadas al campo exterior del planeta. Usualmente la expresión $1/r$ del integrando de la ecuación (1) se desarrolla en términos de armónicos esféricos de acuerdo a la ecuación (2):

$$V = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \vartheta) \right] \quad (2)$$

Siendo n : grado y m : orden del desarrollo en serie. Se denota con: r la distancia geocéntrica, M la masa de la Tierra más la Atmósfera, a semieje mayor del elipsoide de referencia, P_{nm} las funciones asociadas de Legendre normalizadas, J_{nm} y K_{nm} los coeficientes armónicos esféricos, ϑ la colatitud y λ la longitud.

El desarrollo en serie del potencial V , expresado según (2) representa una descomposición espectral en longitudes de onda. La longitud de onda asociada con el desarrollo al grado y orden n , es:

$$\kappa = \frac{360}{n} 111 \text{ km} \quad (3)$$

Que corresponde a una resolución de $180^\circ/n$. (Del Cogliano 2006).

El modelo geopotencial queda definido por el conjunto de coeficientes armónicos esféricos normalizados J_{nm} y K_{nm} de la ecuación (2) los cuales son determinados observacionalmente.

A partir del modelo definido por (2) cualquier magnitud del potencial terrestre puede ser calculada (Del Cogliano, 2006).

$$\Delta g = \frac{GM}{r^2} \left[\sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{n=0}^n (\Delta C_{nm} \cos n\lambda + \Delta S_{nm} \sin n\lambda) P_{nm}(\cos \vartheta) \right] \quad (5)$$

2.1 Anomalía gravimétrica

La anomalía de la gravedad Δg se define como la diferencia entre la gravedad observada g en P sobre el geoide o reducida al geoide y la gravedad normal (o teórica) γ en Q sobre el elipsoide (Heiskanen y Moritz, 1967, Hofmann y Moritz, 2005):

$$\Delta g = g_P - \gamma_Q \quad (4)$$

Siendo $\otimes g$ la anomalía gravimétrica, g_P la gravedad en el geoide y \odot_Q la gravedad normal sobre el elipsoide (Figura 1).

La anomalía gravimétrica obtenida en (4) se conoce como anomalía de aire libre pues se obtiene aplicando la corrección de aire libre al valor de la gravedad observada para reducirla al geoide. La reducción o corrección de aire libre sólo considera el efecto de la diferencia de altura entre el punto de observación y el geoide sin considerar el efecto de las masas.

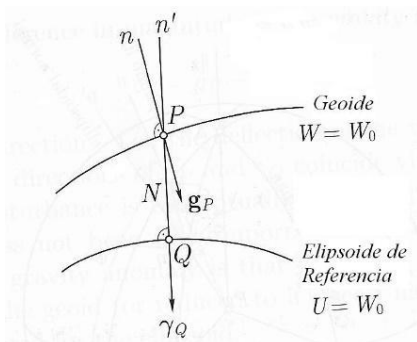


Figura 1. Anomalía de la gravedad [Hofmann-Wellenhof, B.& Moritz, H, 2005]

Los modelos geopotenciales definidos según la expresión (2) permiten determinar cualquier magnitud del potencial. El valor de la anomalía gravimétrica de aire libre se obtiene a partir de la expresión (2) mediante la expresión (5):

2.2 Anomalías de Bouguer

Las anomalías de aire libre sólo consideran la variación de la gravedad con la altura y la variación por latitud, pero no tienen en cuenta la masa interpuesta entre la estación y la superficie de referencia. El efecto gravimétrico de la masa topográfica contenida entre la estación y el geoide puede modelarse utilizando la atracción de una placa infinita o de una capa esférica, ambas de densidad constante.

Las anomalías de Bouguer Δg_B remueven las masas topográficas existentes entre la estación y el geoide y se calculan mediante la siguiente fórmula (Barthelmes, F. 2002):

$$\Delta g_B = \Delta g - \delta g_B \quad (6)$$

donde, δg_B es el efecto gravimétrico de las masas topográficas y se calcula mediante un valor que se denomina corrección de Bouguer.

La corrección de Bouguer considera el efecto gravimétrico de las masas topográficas entre la estación P' y el geoide P y se calcula tradicionalmente, suponiendo que la masa entre el datum vertical (geoide) y la estación puede ser representada por una lámina o placa horizontal infinita con espesor igual a la altura H de la estación (Figura 2).

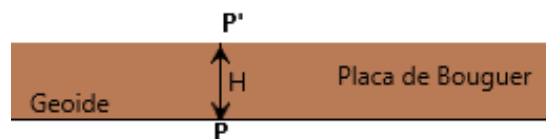


Figura 2. Placa horizontal infinita de Bouguer [Hofmann-Wellenhof, B.& Moritz, H, 2005].

El efecto gravimétrico δg_B de la placa plana se calcula con la ecuación (7) (Heiskanen y Moritz, 1967; Hofmann y Moritz, 2005):

$$\delta g_B = 2\pi G \rho H = 4.193 \times 10^{-5} \rho H, \quad (7)$$

donde la constante gravitacional G es $6.673 \pm 0.001 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$ (Mohr y Taylor, 2001), ρ es la densidad de la placa horizontal en g/cm^3 y H es el espesor de la placa plana horizontal en metros.

Si consideramos que la densidad estándar para la corteza ρ es de 2.67 g/cm^3 , entonces la corrección de Bouguer resulta:

$$\delta g_B = 2\pi G \rho H = 0.1119H, \quad (8)$$

donde H se expresa en metros y TM_{GPB} en miligales.

Las anomalías gravimétricas de aire libre reflejan la topografía, mientras que las anomalías de Bouguer eliminan su efecto y reflejan la estructura interna de la corteza.

2.3 El modelo geopotencial XGM2019e

XGM2019e (Zingerle et al. 2020) es un modelo combinado del campo de gravedad global representado por armónicos esféricos hasta el grado y orden (d/o) 5399, correspondiente a una resolución espacial de $2'$ (aproximadamente 4 km en el Ecuador). Como fuentes de datos, incluye el modelo de satélite GOCO06s en el rango de longitud de onda más largo hasta d/o 300 combinado con una cuadrícula de gravedad terrestre que también cubre las longitudes de onda más cortas. Los datos terrestres consisten en anomalías de gravedad terrestres y oceánicas proporcionadas por cortesía de NGA (resolución de $15'$, idéntica a XGM2016) aumentadas con información gravitacional derivada topográficamente sobre tierra (EARTH2014). Sobre los océanos se utilizan anomalías gravitatorias derivadas de la altimetría satelital (DTU13 con una resolución de $1'$). La combinación de los datos satelitales con las observaciones de la gravedad terrestre se realiza utilizando ecuaciones normales completas hasta d/o 719 ($15'$). Más allá del d/o 719, se calcula una solución de mínimos cuadrados en diagonal de bloque para los datos de gravedad del suelo de alta resolución (de topografía y altimetría). Todos los cálculos se realizan en el dominio armónico esférico. En la banda espectral hasta d/o 719, el nuevo modelo muestra un comportamiento ligeramente mejorado en la magnitud de unos pocos mm RMS sobre Tierra en comparación con modelos anteriores como XGM2016, EIGEN6c4 o EGM2008 cuando se valida con información independiente de un geode derivado de datos GNSS/nivelación. Sobre Tierra y en el rango espectral por encima de d/o 719, la precisión de XGM2019e sufre marginalmente por el uso exclusivo de modelos topográficos avanzados, y

las diferencias con el geode en las estaciones GNSS/nivelación aumentan el RMS en el orden de varios mm en áreas, como los Estados Unidos y Europa, en comparación con modelos que contienen datos de gravedad real en todo su espectro, p. ej. EIGEN6c4 o EGM2008. Sin embargo, la validación de GNSS/nivelación también indica que el rendimiento de XGM2019e puede considerarse globalmente más coherente e independiente de los modelos globales de alta resolución existentes. Sobre los océanos, el modelo exhibe un rendimiento mejorado (igual o mejor que los modelos anteriores), que se confirma mediante la comparación de los MDT calculados a partir de la superficie media del mar CNES/CLS 2015 y los modelos geoides de alta resolución. El MDT basado en XGM2019e muestra menos artefactos, particularmente en las regiones costeras, y se ajusta mejor a nivel mundial a DTU17MDT, que se considera un MDT de referencia independiente (Zingerle et al. 2020).

3. ZONA DE ESTUDIO Y DATOS UTILIZADOS

La zona de trabajo abarca el territorio de la provincia de Santiago del Estero, comprendida entre los paralelos de -25° y -30° de latitud Sur, y entre los meridianos de -61.5° y -65° de longitud Oeste.

En el presente trabajo se utilizaron anomalías gravimétricas de Bouguer del modelo XGM2019e en una grilla de puntos cada 10 minutos de arco dentro de la zona de trabajo mencionada, resultando una grilla de 2365 puntos ordenados en una matriz de 55 filas por 43 columnas. Estos valores fueron calculados para el g/o 2190. A partir de la grilla de anomalías de Bouguer se trazaron isolíneas sobre un mapa topográfico de la región (Figura 3). En la Figura 3 se advierte las mayores magnitudes de anomalías en el sector Oeste, donde también se localiza la topografía menos uniforme.

En la evaluación del modelo con datos terrestres se utilizaron 602 puntos con gravedad medida correspondientes a los Puntos Fijos Altimétricos (PFA) de la red de nivelación de alta precisión del Instituto Geográfico Nacional (IGN) ubicados en la provincia de Santiago del Estero.

Las anomalías de Bouguer en los PFA fueron determinados de acuerdo a las ecuaciones (4), (6) y (8).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la evaluación se compararon las anomalías gravimétricas de Bouguer provenientes del modelo XGM2019e con las correspondientes a los PFA mediante la ecuación (9)

$$\Delta g_{B-Res-IGN} = \Delta g_{IGN} - \Delta g_{B-GGM} \tag{9}$$

Donde $\Delta g_{B-Res-IGN}$ es la diferencia o residuo de la anomalía gravimétrica de Bouguer, Δg_{B-IGN} es la anomalía gravimétrica de Bouguer en los puntos IGN y Δg_{B-MGG} es la anomalía gravimétrica de Bouguer del modelo XGM2019e. El resumen estadístico de los residuos se muestra en Tabla 1.

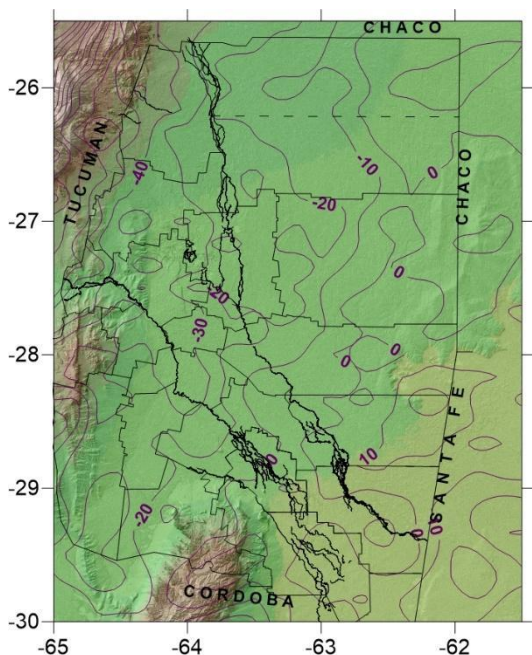


Figura 3. Isótopos de anomalías gravimétricas de Bouguer del modelo XGM2019e para Santiago del Estero. Las unidades de las isótopos están mGal.

Tabla 1.- Resumen estadístico los residuos entre la anomalía gravimétrica de Bouguer en los puntos IGN y sus homólogos del modelo XGM2019e

Residuos	$\otimes g_{B-Res-IGN}$
Máximo [mGal]	16,38
Mínimo [mGal]	-22,93
Promedio [mGal]	-0,54
Desv. estándar[mGal]	$\pm 4,67$

El resumen estadístico de los resultados muestra un buen ajuste general del modelo XGM2019e, con un promedio de residuos de -0.54 mGal y una desviación estándar de $\pm 4,67$ mGal. Estos valores son consistentes con evaluaciones de modelos globales de similar resolución (Infante et al., 2016).

A fin de analizar la variación espacial de los residuos se realizó una clasificación de diferencias por rangos de valores (Figuras 4 y 5). En las Figura 4 y 5 se identifican en color verde los PFA cuyos residuos se encuentran entre 0 y ± 5 mGal, en color amarillo los puntos cuyos residuos se encuentran entre ± 5 y ± 10 mGal y en rojo aquellos puntos cuyos residuos superan los ± 10 mGal. Sobre el mismo mapa donde se identifican los PFA se trazaron las iso-anomalías de Bouguer a fin de facilitar la interpretación (Figura 4). Los mayores residuos se ubican en el sector Oeste del mapa donde se localizan también las anomalías de Bouguer de mayor magnitud, en correspondencia con la topografía más abrupta.

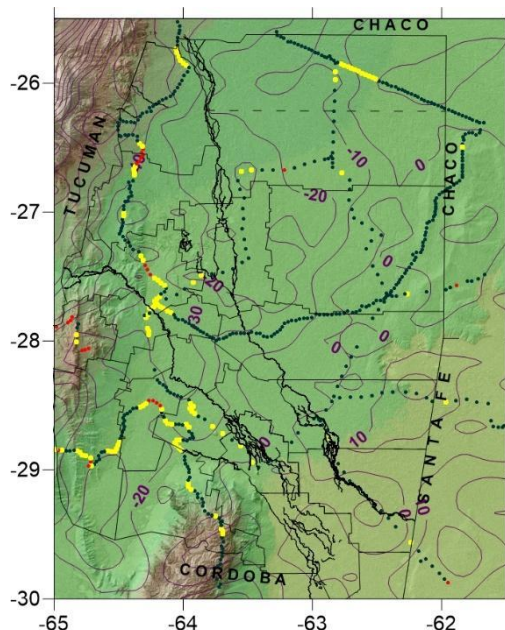


Figura 4. Ubicación de los PFA donde se determinaron los residuos con respecto a las anomalías de Bouguer del modelo XGM2019e.

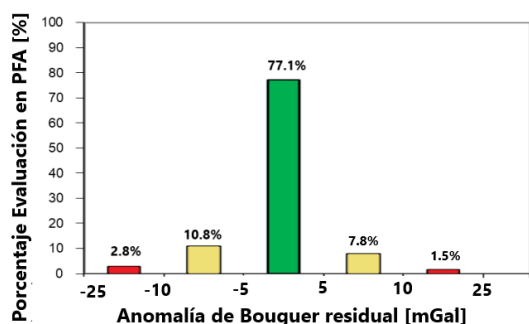


Figura 5.- Evaluación de residuos entre la anomalía gravimétrica de Bouguer en los puntos IGN y sus homólogos del modelo XGM2019e.

En la Figura 5 se advierte que el 77,1% de los residuos toma valores en el rango de 0 y ± 5 mGal (columna verde), lo que corrobora la bondad del ajuste del modelo, evaluado en los PFA. Asimismo, en la Figura 5 se evidencia que el 4,3% de los residuos toma valores superiores a ± 10 mGal (columnas rojas), y los mismos se corresponden con PFA ubicados en el sector Oeste en correspondencia con la topografía menos uniforme (Figura 4).

Una vez evaluado el modelo XGM2019e, y corroborado la bondad del ajuste, se analizaron las de anomalías gravimétricas de Bouguer en relación con la topografía (Figura 4). Los valores negativos reflejan las deficiencias de masa en el interior de la Tierra. Al correlacionar con la topografía manifiestan que la presencia de estructuras geológicas como sierras, ya que al eliminarse las masas topográficas en la anomalía de Bouguer, la deficiencia de masa se corresponde con raíces corticales que penetran en el manto. Este comportamiento puede ser explicado por las teorías isostáticas.

De este análisis, se concluye que las anomalías de Bouguer representadas en un mapa a escala regional ponen de manifiesto anomalías de masa. Al correlacionar las mismas con la topografía permiten inferir la presencia de estructuras geológicas, y servir de base para futuros análisis.

5. CONCLUSIONES

Los modelos geopotenciales globales permiten disponer de valores del campo gravitacional terrestre de manera homogénea y continua en toda la Tierra.

El modelo XGM2019e brinda información del campo gravitacional terrestre hasta grado y orden 5399, con una resolución espacial de 2' (aproximadamente 4 km en el Ecuador), lo cual lo convierte en el modelo que brindará la mayor información detallada del campo de gravedad a escala global. El mismo incorpora información de la serie completa de datos de la misión gravimétrica GOCE.

El aporte de estos modelos es fundamental en la Geodesia y las Ciencias de la Tierra, que van desde los efectos prácticos, como la determinación de la ondulación del geoide, hasta aplicaciones científicas, como las investigaciones de la estructura interna de la Tierra.

Se prevén como tareas futuras realizar inversión de anomalías de Bouguer para determinar ondulación del Moho y estructura de la corteza.

6. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación "Aplicaciones Geomáticas de los Modelos Geopotenciales Globales (EGM) y los Modelos Digitales de Elevación (DEM)", financiado por el Consejo de Investigación de Ciencia y Técnica (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

Se agradece muy especialmente al Instituto Geográfico Nacional (IGN) por la disponibilidad de los datos de los Puntos Fijos Altimétricos empleados en el presente trabajo para la zona de análisis.

7. REFERENCIAS

- Barthelmes, F. *Definition of Functionals of the Geopotential and their calculation from Spherical Harmonics Models* GFZ. Scientific Technical Reports STR 09/02. 2002
- Del Cogliano, Daniel. *Modelado del Geoide con GPS y Gravimetría. Caracterización de la estructura geológica de Tandil*. Tesis Doctoral. FCEIyA - UNR. 2006
- Drinkwater MR, Floberghagen R, Haagmans R, Muzi D, Popescu A. *GOCE: ESA's first earth explorer core mission*. In: Beutler G et al (eds) *Earth gravity field from space—from sensors to earth science, space sciences series of ISSI*, vol 18. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 419–432. ISBN 1-4020-1408-2. 2003

- Förste, Christoph; Bruinsma, Sean; Abrikosov, Oleh ; Lemoine, Jean-Michel; Schaller T.; H.-J. Götze; , J. Ebbing, J.C. Marty, F. Flechtner, G. Balmino and R. Biancale. *EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. 2014*
- Gilardoni M, Reguzzoni M, Sampietro D. *GECO: a global gravity model by locally combining GOCE data and EGM2008*. Stud Geophys Geod 60:228–247. <https://doi.org/10.1007/s11200-015-1114-4>. 2016
- Gruber T, Gerlach C, Haagmans R *Intercontinental height datum connection with GOCE and GPS-levelling data*. J Geod Sci. <https://doi.org/10.2478/v10156-012-0001-y>. 2012
- Heiskanen W. and Moritz H. *Physical Geodesy*. W.H. Freeman and Company. San Fransisco and London.364 pág.1967
- Hofman B. and W. H. Moritz. *Physical Geodesy*, Springer Wien New York. 2005
- Ihde J, Sánchez L, Barzaghi R, Drewes H, Foerste C, Gruber T, Liebsch G, Marti U, Pail R, Sideris M. *Definition and proposed realization of the International Height Reference System (IHR)*. Surv Geophys 38(3):549–570. <https://doi.org/10.1007/s10712-017-9409-3>, 2017.
- Infante, Claudia. *Detección de estructuras geológicas potencialmente en equilibrio isostático a partir del análisis de modelos geopotenciales y anomalías de Bouguer*. Tesis de Maestría. UNLP. 2013
- Infante, C.; Galván, L.; Gotea, I.; Duro, J.; Gonzalez Heffner, J.; Orieta, J. y Llanos, M.. *Evaluación del modelo geopotencial global EIGEN 6C4 mediante análisis de anomalías de Bouguer para la provincia de Santiago del Estero*. XI Jornadas de Ciencia y Técnica CODINOA. ISBN: 978987-3926-13-6. 2016
- Introcaso, A. y Ruiz, F.. *El uso del geoide para determinar características corticales de una cuenca sedimentaria*. Memorias del III Congreso de Geofísica. La Habana. 2005
- Introcaso, A. *Geodesia Física*. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. Volumen Especial1, Rosario. <http://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia>. 2006
- Mohr, P. J., and B. N. Taylor. The fundamental physical constant: Physics Today, 54, 6–16. 2001
- Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Factor JK. *The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)*. J Geophys Res Solid Earth 1978–2012:117. <https://doi.org/10.1029/2011J B008916>. 2012
- Tapley BD, Bettadpur S, Watkins M, Reigber C. *The gravity recovery and climate experiment: mission overview and early results*. Geophys Res Lett 31:L09607. <https://doi.org/10.1029/2004G L019920>. 2004
- Torge W. *Gravimetry*, Walter de Gruyter Berlin, New York.- 465 pág. ISBN 3-11-010702-3. 1989.
- Torge, W. *Geodesy*. 4th Edition. Walter de Gruyter. Berlin – New York. 2012
- Tocho, Claudia. *A gravimetric geoid modelling*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata. 2006.
- Woodworth PL, Hughes CW, Bingham RJ, Gruber T *Towards worldwide height system unification using ocean information*. J Geod Sci. <https://doi.org/10.2478/v10156-012-0004-8>. 2012
- Zingerle, P.; Pail, R.; Gruber, T. and Oikonomidou, X. *The combined global gravity field model XGM2019e*. Journal of Geodesy (2020) Original Article. Springer. 94:66 <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01398-0>. 2020

Experiencia aerofotogramétrica con la tecnología VANT en Villa La Punta, Santiago del Estero.

Llanos, Melina.¹; Duro, Javier.¹; Infante, Claudia.¹; Galván, Lucrecia.¹

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. lidiamelinallanos@gmail.com; javaduro@gmail.com; claudia.nfnt@gmail.com; galvanlucrecia@gmail.com

RESUMEN

En este artículo se analiza para una zona específica de la provincia de Santiago del Estero, el comportamiento de la tecnología VANT (Vehículo Aéreo no Tripulado), en el levantamiento fotogramétrico aéreo, el procesamiento de los datos obtenidos mediante el empleo de este instrumental y los resultados que se obtienen. La descripción detallada del proceso de aplicación de la técnica, desde la planificación previa hasta la presentación de resultados finales. El proyecto fotogramétrico se ejecuta con un Cuadricóptero DJI PHANTON 4 (Pertenece a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE). Se realizó el procesamiento de los datos con el software PIX4D Mapper (versión de prueba) para la adquisición de productos fotogramétricos. También se incluye información resultante de las experiencias adquiridas durante la ejecución del proyecto fotogramétrico.

ABSTRACT

This article analyzes for a specific area of the province of Santiago del Estero, the behavior of UAV technology (Unmanned Aerial Vehicle), in the aerial photogrammetric survey, the processing of the data obtained through the use of this instrument and the results that are obtained. The detailed description of the process of applying the technique, from the previous planning to the presentation of final results. The photogrammetric project is executed with a DJI PHANTON 4 Quadcopter (Belonging to the Faculty of Exact Sciences and Technologies of the UNSE). The data is processed with the PIX4D Mapper software for the acquisition of photogrammetric products. It also includes information resulting from the experiences acquired during the execution of the photogrammetric project.

Palabras claves: (VANT - Cuadricóptero - Fotogrametría – Ortomosaico).

Keywords: (UAV - Quadcopter – Photogrammetry - Orthomosaic).

1. INTRODUCCIÓN

La constante evolución social, cultural, económica y tecnológica; especialmente los dos últimos factores, son los principales motivadores en el desarrollo en varios sectores de la ingeniería; como así también en la modernización de las técnicas de levantamientos topográficos y fotogramétricos. En la actualidad los campos de acción que abarca la ingeniería en agrimensura, como lo son la topografía y la cartografía, han tenido avances significativos, con técnicas e instrumentos que permiten realizar mediciones de forma directa o indirecta de la superficie terrestre, de una manera más rápida y obteniendo resultados cada vez más precisos y confiables, lo que permite obtener información necesaria para la toma de decisiones en la planificación de diversos tipos de proyectos. El empleo de equipos topográficos como la estación total y los receptores satelitales para posicionamiento (GNSS, Global Navigation Satellite System) son cada vez más comunes en la ejecución de los levantamientos; sin embargo, la aplicación de técnicas y equipos más avanzados como lo es la tecnología VANT resultan de uso novedoso a la fecha.

El estudio de esta temática pretende mostrar una experiencia del uso de la tecnología VANT dentro del campo de acción de la ingeniería, específicamente de la fotogrametría y topografía.

2. PLANIFICACIÓN DEL VUELO.

2.1 Zona de trabajo – Condiciones climáticas

El área de trabajo comprende una superficie de unas 12 ha, sobre el sector del dique Villa la Punta y su entorno inmediato; presenta desniveles pronunciados; vegetación densa y algunas zonas inaccesibles. Ubicada a unos 2.500 m del pueblo de Villa La Punta, departamento Guasayán de la provincia de Santiago del Estero (zona Sierras de Guasayán).

Las condiciones climáticas fueron poco favorables, ya que se hicieron presentes ráfagas de viento de entre 10 y 12 m/s. El horario de ejecución del vuelo fue durante el transcurso del mediodía, previendo tener el menor porcentaje de sombras en las fotografías (ver figura 1).



Figura 1: Imagen satelital capturada de Google Earth – Zona de trabajo.

2.2 VANT utilizado - Sensor

El vuelo se realizó con un VANT Cuadricóptero DJI Phantom 4, con un peso total de 1.380 Kg, una velocidad máxima de vuelo 20 m/s, altitud máxima de vuelo 6.000 m y autonomía máxima de vuelo 25 minutos aprox. (ver figura 2). El sistema de navegación y piloto automático consta de un IMU (Unidad de medida Inercial), un receptor autónomo GNSS, un módulo de mapeo y sistema de detección de obstáculos óptico-acústico. El sistema de mando y control que la aeronave utiliza es un transmisor telemétrico instalado de serie en la emisora, que se conecta con la aeronave con canales secuenciales y paralelos para evitar cortes en las comunicaciones durante el vuelo. El sensor es una cámara de alta definición RGB (Red, Green, Blue) incorporada en un estabilizador o gimbal.

- Sensor: Sony EXMOR 1/2.3"

- Píxeles efectivos: 12.4 M (total píxeles: 12.76 M).

- Lente: FOV 94° 20 mm (Formato equivalente a 35 mm) f/2.8.

- Rango ISO: 100-3200 (video) 100-1600 (foto).

- Velocidad de disparo: 8 s -1/8000 s.

-Tamaño máximo de imagen: 4000x3000 pixels.



Figura 2: Cuadricóptero DJI Phantom 4 con cámara RGB, utilizado para la captura de datos.

2.3 Software de Planificación.

La planificación de vuelo se realizó con una aplicación gratuita, PIX4D Capture, este software permite planificar la adquisición de imágenes introduciendo parámetros como el área a sobrevolar, ángulo de la cámara, el porcentaje de superposición entre las imágenes, altura de vuelo, etc. En este caso, las imágenes son tomadas automáticamente por el VANT desde la planificación realizada sin intervención del operador.

2.4 Software de Control.

La aplicación utilizada DJI GO, es una aplicación móvil diseñada específicamente para los productos DJI. Esta aplicación se utiliza para despegar la aeronave, controlar el gimbal, configurar la cámara y otras funciones de la aeronave como ser la calibración de la brújula magnética entre otras.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

3.1 Configuración del Vuelo.

Se hicieron cálculos previos para determinar la altura de vuelo que permitiera obtener la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo, parámetro más conocido como GSD (Ground Sampling Distance, permite determinar el tamaño del objeto más pequeño que se distinguirá en la aerofotografía) óptimo posible para la precisión pretendida.

Por lo tanto, la planificación de vuelo quedo definido de la siguiente manera:

- Altura de vuelo: 85 metros. El GSD del proyecto se definió en un valor máximo de 4 cm que permite tener un detalle del área, con precisión máxima de 15 cm.

(1)

$$GSD = \frac{H \times S_w \times 100}{f_c \times Ancho_{Imagen}}$$

Donde:

S_w = ancho del sensor óptico en mm.

f_c =distancia focal en mm.

H=altura de vuelo en m.

$Ancho_{Imagen}$ =distancia cubierta en el suelo por una imagen

Mediante la expresión (1) se calculó el GSD para una altura de vuelo de 85 m:

$$GSD = \frac{85m * 6.31748mm * \frac{100cm}{m}}{3.55204mm * 4000px} = 3.77941 \text{ cm/px}$$

- Tipo de plan de adquisición: Líneas de vuelo de rejilla doble, en una única misión que cubra la zona de levantamiento y sus alrededores.

- Solape de las imágenes: 80% longitudinal y 72% transversal (lo recomendado por el tipo de topografía).

- Velocidad de vuelo: 12 m/s, para optimizar el consumo de batería.

- Tiempo de Vuelo: comenzando la misión con un porcentaje de batería al 100% y con una duración, por seguridad, no mayor a 15 minutos aproximadamente.

- Dimensión de la misión: Esta se define en la aplicación Pix4D Capture ya que el vuelo se ejecutará de modo automático y por tratarse de un área que puede cubrirse con una sola rejilla, no es necesario tener un control minucioso sobre el dimensionamiento de esta, ya que no habrá superposición entre misiones.

La rejilla resulto de una dimensión de 300 m de ancho por 410 m de largo y una superficie de 12,30 has. Para tener una estimación del número de corridas y la distancia entre tomas fotográficas, datos que la aplicación no proporciona antes de la ejecución del vuelo, se realizaron cálculos previos (ver tabla 1).

Dist. entre corridas vert. y horiz. (m)	40,68
Nº pasadas horizontales	16
Nº pasadas verticales	22
Nº fotos totales en corridas horizontales	160
Nº fotos totales en corridas verticales	154

Tabla 1: Parámetros calculados para estimación del proyecto:

Una vez ejecutada la misión, el software nos devuelve los parámetros de vuelo reales (ver tabla 2).

Tiempo total de vuelo minutos	16,50
Solape longitudinal (%)	80
Solape transversal (%)	72
Altura media de vuelo en metros	85
Nº fotos totales tomadas	316

Tabla 2: Algunos parámetros reales del proyecto; devueltos por software ya ejecutado el vuelo.

3.2 Apoyo Terrestre.

Se denomina apoyo terrestre a la toma de datos y procesamiento del sistema puntos de apoyo fotogramétricos (PAF), que se utilizan como referencia para vincular el terreno con las fotografías durante la etapa de restitución. El número y distribución de puntos de apoyo y/o puntos de control dependerá del número de misiones necesarias para cubrir el área de levantamiento (Torres Nieto et al, 2000).

La obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo sobre el terreno, necesarios para realizar la aerotriangulación, se realizó mediante el método de medición GNSS - RTK. Las marcas/señales se distribuyeron directamente sobre el terreno; su distribución no pudo ser óptimamente homogénea debido a que la zona de trabajo presento variaciones de cota y vegetación densa, resultando inaccesible para los operarios. Resultando de la fase de apoyo terrestre el levantamiento de 10 puntos de apoyo, en coordenadas geodésicas, marco de referencia geodésico nacional POSGAR 2007 (ver tabla 3).

	Latitud (S)	Longitud (O)
a	28°22'09,42124"	64°49'08,70224"
b	28°22'09,02910"	64°49'06,24631"
F ₅	28°22'11,79413"	64°49'06,32029"
C ₁	28°22'10,17272"	64°49'07,11785"
C ₂	28°22'10,00724"	64°49'07,15020"
F ₃	28°22'07,99584"	64°49'06,52174"
F ₄	28°22'10,76918"	64°49'05,86592"
F ₇	28°22'12,34185"	64°49'07,59168"
F ₆	28°22'11,08748"	64°49'07,11187"
F ₁	28°22'09,27686"	64°49'07,37906"

Tabla 3: Coordenadas de los Puntos de Apoyo (Geodésicas WGS84)

3.3 Ejecución de Vuelo.

En esta fase se realizaron las siguientes actividades: preparación del equipo, movilización a la zona de despegue y aterrizaje, procedimientos de seguridad necesarios para ejecutar el vuelo, procesos de calibración y ajustes básicos de la cámara. Una vez realizado el proceso de calibración de la brújula y verificado el nivel de la batería, se ejecuta el despegue de la aeronave utilizando la aplicación DJI GO. Cuando en la pantalla del equipo móvil de control, aparece la

imagen que capta la cámara de la aeronave e indica que está recibiendo señal GNSS, se está en condiciones para el vuelo, con lo cual se ejecuta el despegue de la aeronave. Entonces se cierra la aplicación DJI GO para abrir Pix4D Capture y seleccionar la misión planificada oportunamente. Seleccionado el proyecto, se carga en la aeronave, cuando la misión es cargada correctamente se da la orden de inicio. A partir de aquí no se requiere ningún control manual, salvo si se debe cancelar el vuelo (por algún motivo de seguridad). Se debe procurar que no se pierda la conexión inalámbrica con la aeronave, ni el contacto visual de ser posible. Desde el controlador de vuelo se comprueba que la trayectoria de la aeronave sea la planificada y que el número de satélites captados, el estado de la batería, la altura de vuelo y la velocidad sean los adecuados (ver figura 3).

La serie de pasos descritos anteriormente resultaron de la combinación de conocimientos fotogramétricos para la adquisición de aerofotografías tradicionales, óptimas para el mapeo, e instrucciones y recomendaciones dadas por el fabricante del VANT, que otorgan seguridad a la ejecución del vuelo.



Figura 3. Ejecución del Vuelo – Señales para los puntos de apoyo

4. PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

De la ejecución del proyecto fotogramétrico resulta un conjunto de información aérea (fotografías con información geográfica) y terrestre o puntos de apoyo (ver figura 3) que permite proceder a la etapa de procesamiento de

datos. La restitución de las imágenes digitales aéreas obtenidas de la ejecución del proyecto, se realizó utilizando el software Pix4D Mapper (versión de prueba); software especializado en fotogrametría que permite convertir imágenes digitales para la obtención de los siguientes productos: Ortomosaico, modelo digital de elevación y nube de puntos densificada, todo georreferenciado con el fin de generar la cartografía requerida de la zona de levantamiento. Para iniciar el procesamiento de las imágenes, se creó un proyecto en el software, donde se ingresaron las imágenes digitales adquiridas. El programa identifica el sistema de coordenadas en que fue registrada la posición de las fotografías, el modelo de cámara con que se adquirieron las imágenes y los parámetros internos de la misma. Cada imagen es procesada tomando en cuenta el nivel de precisión de su posición (nivel estándar de precisión para el software es de 5 metros en posición horizontal y de 10 m en la vertical).

En el proyecto se ingresaron 311 imágenes de las 316 tomadas durante la ejecución del vuelo, esto se debe a que 5 de las fotografías se desecharon por no cumplir con la suficiente calidad óptica.

Una vez que son verificados los sistemas de coordenadas de la localización de las imágenes, el nivel de precisión de la localización y la selección del modelo de la cámara utilizada, se selecciona el sistema de coordenadas de los archivos de salida y las unidades de medición del proyecto.

Para el procesamiento de las imágenes de este proyecto de vuelo, se selecciona como sistema de coordenadas de salida y de ingreso de los puntos de apoyo, *POSGAR 2007 / Faja 4*, sistema de proyección Gauss-Krüger utilizado para representar el sector continental de la República Argentina. Posteriormente es necesario configurar una plantilla, para procesar las fotografías, que se adapte a las características requeridas por la finalidad del proyecto

El software realiza el procesamiento en tres etapas:

1.- Un Procesamiento Inicial: Aquí el software busca coincidencias entre fotografías para la creación de puntos de paso que permiten generar una nube de puntos, utilizada para el modelado 3D de la superficie. El software integra la información de geolocalización interna de las fotografías y de los puntos de apoyo, para hacer la triangulación aérea que definirá la posición de estos puntos de paso. El uso de puntos de apoyo con posiciones precisas permite escalar el modelo

3D y por lo tanto los productos que se generan a partir de él, al mismo tiempo que aumenta la precisión global del proyecto.

2.- Nube de Puntos y Malla: La segunda etapa del procesamiento consiste en la densificación de la nube de puntos y la malla 3D.

3.- Modelo digital de elevación, ortomosaico e índices: Ésta tercera etapa del procesamiento comprende la creación del modelo digital del terreno, el ortomosaico y los índices de mapa (útiles principalmente en el área de agricultura), a partir de las imágenes rectificadas y de los puntos generados en el procesamiento inicial y en la densificación de la nube.

Es posible ejecutar la etapa 3 del procesamiento sin haber ejecutado la etapa 2, pero los resultados obtenidos serán de menor calidad, pues la cantidad de puntos a utilizar será menor al haber generado la densificación.

5. PRODUCTOS OBTENIDOS

5.1 Ortofoto de la zona de estudio

Imagen fotográfica procesada con escala constante y propiedades de una proyección ortogonal, que nos permite medir y vectorizar los distintos elementos que en ella se encuentran (ver figura 5).



Figura 5: Detalle de la ortofoto procesada

5.2 Nube de puntos

Nube de puntos georreferenciada, densificada y clasificada, donde cada uno de los puntos tiene un valor de coordenadas, que será utilizada para la realización de plano de curvas de nivel, perfiles, cálculos de volúmenes, modelos digitales de elevación, etcétera (ver figura 6).



Figura 6: Detalle de la nube de puntos densificada obtenida de la zona de trabajo.

6. RESULTADOS

Se obtuvo un GSD final por pixel de 3.46 cm. Es decir, que el tamaño del objeto más pequeño que se puede distinguir en la ortofoto es de 16 cm. La resolución espacial de los resultados obtenidos está relacionada con el GSD del proyecto. Las precisiones se estiman tomando dos veces el GSD en horizontal (6.92 cm para este proyecto) y tres veces en vertical (10.38 cm para este proyecto), debido a que no se puede asegurar que la representación de la superficie en un pixel sea exacta, y debe considerarse que un punto representado en el interior del área de un pixel podría encontrarse realmente dentro de la zona cubierta por uno de los pixeles consecutivos.

7. CONCLUSIONES

El uso de los VANT permite la obtención de fotografías aéreas comparables con las que se obtienen mediante las técnicas de la fotogrametría tradicional, en áreas relativamente pequeñas, reduciendo el tiempo de ejecución de vuelo y su costo; permitiendo obtener resultados confiables, con todos los beneficios posibles del uso de la fotogrametría.

- Para la obtención de productos topográficos y cartográficos de buena calidad mediante el empleo de esta metodología, el punto clave está en la buena planificación del proyecto de vuelo fotogramétrico, considerando la orografía del terreno y las características de elementos presentes en el mismo (vegetación densa, cuerpos de agua, campos de agricultura, etc.), así como también el tipo de aeronave a utilizar.

- El uso, elección y distribución adecuado del número y tamaño de los Puntos de Apoyo a utilizarse en un proyecto permite obtener productos fotogramétricos más preciso y con mejores resultados en la georreferenciación del proyecto, permitiendo escalarlo y trasladarlo a su verdadera posición en el espacio reduciendo el error de la geolocalización de las imágenes.

- Para el procesamiento, las imágenes tomadas deben ser nítidas y tener la menor cantidad de ruido. Tales imágenes pueden ser obtenidas cuando la escena está bien iluminada y los parámetros de la cámara están bien ajustados. Si la escena no está lo suficientemente clara, las imágenes tendrán más ruido y serán menos nítidas, lo que disminuye la precisión de los resultados; por lo cual, la ejecución del vuelo se debe realizar en horas cercanas al medio día, cuando el sol se encuentra en su máxima altura sobre el horizonte del lugar, en días soleados evitándose las nubes dispersas, con vientos en calma y la atmosfera libre de polvo. Por lo anteriormente mencionado se puede afirmar que el clima es un factor principal a tener en cuenta al momento de la ejecución del vuelo, ya sea para el buen funcionamiento y seguridad de la aeronave como para la eficiente adquisición de datos.

8. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (CICYT-UNSE).

9. REFERENCIAS

- DJI, *Manual de Usuario Phantom IV*, 2016.
- Instituto Geográfico Nacional, *Sistemas Aerofotogramétricos*, <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Fotogrametria/VuelosFotogrametricos>, 2020.
- Llanos, L.M., *Trabajo Final de Graduación La Tecnología VANT en el Campo de la Fotogrametría y sus Aplicaciones Topográficas y Cartográficas*, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina, 2019.
- Pérez Álvarez, J. A., *Apuntes de Cátedra Fotogrametría III*, Universidad de Extremadura, Mérida, España, 2001.
- Pix4D SA, *Pix4Dmapper 4.1 User Manual*, 2020.

- Pix4D SA, *Pix4Dcapture-Manual y Configuración*, 2020.
- Quispe, E. O., *Análisis de GSD para la generación de cartografía utilizando la tecnología drone, huaca de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 2015.
- Segetarra Carretero, S., *Proyecto de Fin de Grado Modelos Digitales del Terreno Mediante Fotogrametría Aérea Realizada con un VANT*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2015.
- Torres Nieto, A., Villate Bonilla, E., *Topografía 4ta Edición*, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 2000.

Análisis morfométrico de la cuenca del río El Tala, Catamarca, Argentina

Lobo, Ada P.^{1,2}; Purulla, Francisco B.¹

(1) *Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca*
adapatri@yahoo.com.ar; purullafrancisco@gmail.com

(2) *Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos, Catamarca.*

RESUMEN

En la provincia de Catamarca las crecientes repentinas y procesos hídricos asociados constituyen una amenaza natural generando cuantiosos daños, ya que por su condicionamiento natural los cursos fluviales presentan características torrenciales. El río El Tala es uno de los ríos con más actividad antrópica de la provincia debido a que su red de drenaje discurre por zonas densamente pobladas hasta unirse con el río del Valle hacia el sur-oeste de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. El objetivo de este estudio es analizar la morfometría de la cuenca del río El Tala desde su nacimiento hasta su confluencia con el río del Valle, con el fin de comprender el comportamiento fluvial de la misma y que sirva como aporte para una adecuada gestión del recurso hídrico. Se determinaron para la cuenca en estudio los parámetros de forma, relieve y las características de la red de drenaje. Se concluye que la cuenca del río El Tala posee un tamaño intermedio pequeño de forma alargada rectangular, con pendientes fuertes en sus laderas y moderadas en el cauce principal, su red de drenaje es baja de patrón dendrítico y con una respuesta moderada ante precipitaciones intensas.

ABSTRACT

In Catamarca province the sudden flooding and associated hydric processes constitute a natural threat causing extensive damage because of their natural conditioning the river courses have torrential characteristics. El Tala river is one of the most affected by anthropic activities of the province because its drainage network runs through densely populated areas until it joins El Valle River to the south-west of the city of San Fernando del Valle de Catamarca. The main goal of this study is to analyze the morphology of El Tala river basin from its nascent to its confluence with El Valle river, in order to understand the river behavior and thus contribute to an adequate water resource management. For the basin under study, the standards of shape, relief and the characteristics of the basin drainage network were determined. It is concluded that the basin of the El Tala river has a small to intermediate size of rectangular elongated shape. It has steep slopes on its hillsides and moderate in the main channel. Its drainage network is low with dendritic pattern and has a moderate response to intense precipitation.

Palabras Clave: Parámetros Morfométricos- Río - El Tala - Catamarca

Keywords: Morphometric Parameters- River - El Tala- Catamarca.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas fluviales presentan características topográficas, litológicas y fitogeográficas propias del ambiente geográfico donde se desarrollan. Aun cuando dos cuencas estén sometidas a fenómenos climáticos similares, los regímenes de escorrentía superficial pueden ser muy diferentes dadas las características físicas de cada una de las cuencas ya que, si ambas cuencas tienen

características similares en cobertura y uso de suelo, pero la primera presenta una pendiente más pronunciada con respecto de la segunda, la primera presentará una respuesta más violenta ante una determinada precipitación. Así podemos decir que la geometría, tamaño y longitud de una cuenca y la topografía de su relieve adquieren relevancia en la magnitud y forma del escurrimiento.

La cuenca del río El Tala forma parte de la

cuenca del Faldeo Oriental del Ambato. Dos subcuencas principales conforman las nacientes del sistema: la subcuenca del río El Tala al norte y la subcuenca del A° Potrero, al sur. Ambas con desarrollo en la vertiente oriental escalonada de la Sa. de Ambato. El río El Tala tiene sus nacientes a 4241 m.s.n.m. en los cordones inmediatos al sur del cerro El Manchao en la Sierra de Ambato. Desde las nacientes con sentido de escurrimiento O-E recorre una distancia de 18 km para luego, por efecto del fuerte control que ejerce la falla regional implicada en el levantamiento de la Sa. de Los Colorados, adoptar en el valle estructural sentido de escurrimiento N-S. Completan el marco hidrográfico arroyos menores de carácter temporal no identificados en la toponimia, que aportan al colector principal que corre por el valle. El área de interés se caracteriza por poseer un clima árido de sierras y bolsones, con un periodo estival lluvioso, que se extiende desde el mes de diciembre al mes de abril, y un periodo seco que abarca desde el mes de mayo al mes de noviembre, del año hidrológico. La cuenca del río El Tala presenta una distribución espacial de la precipitación que disminuye en sentido norte-sur en coincidencia con la disminución de altitudes presentando para la cuenca alta, precipitaciones medias anuales cercanas a 600 mm y para la cuenca baja precipitaciones medias anuales que rondan los 400 mm como es el caso de la ciudad capital. La vegetación predominante en la cuenca alta y media corresponde a la provincia fitogeográfica Chaqueña, distrito Chaco Serrano caracterizada principalmente por un bosque xerófilo con vegetación densa y árboles de gran porte como Algarrobos, Terebintos y Palos Borrachos que se extiende hasta aproximadamente 1600 m.s.n.m. alternando con especies arbustivas hasta los 2000 m.s.n.m. y estepas de gramíneas duras en altitudes superiores. La cuenca baja corresponde al distrito Chaco Árido siendo éste, el sector más xérico dentro de la Provincia Fitogeográfica Chaqueña con una vegetación típica que corresponde a un bosque abierto de *Aspidosperma (quebracho – blanco)* con un estrato arbustivo continuo y un estrato herbáceo bien desarrollado en ausencia de ganado, dado por gramíneas anuales y perennes y por dicotiledóneas herbáceas (Morlans 1995). A nivel de ambientes geomorfológicos dentro del ámbito de la cuenca, desde las nacientes hasta la

confluencia con el río Del Valle, se distinguen el *ambiente de montaña*, el *ambiente de valle* y el *ambiente del piedemonte*. El ambiente de montaña se caracteriza por un descenso escalonado de bloques menores por efecto de fallas inversas entre los que se generan valles estructurales secundarios asimétricos. El descenso se comprende entre más de 4.300 m.s.n.m. a los 1.450 m.s.n.m. en la parte norte de la cuenca y disminuye progresivamente al sur, dentro del rango comprendido entre 1.900 m.s.n.m. a los 950 m.s.n.m. Este ambiente se caracteriza por un marcado predominio de relieve medio escarpado con pendiente medias mayores al 50%. El material geológico en su totalidad se corresponde con el basamento cristalino antiguo donde alternan rocas metamórficas (esquistos, gneis y migmatitas) y rocas ígneas (granito). El ambiente de valle comprende los valles estructurales N-S por efecto del fallamiento regional. Al este del valle principal corre el colector principal de la cuenca del río El Tala y al oeste, el valle secundario Del Potrero, drenado por el arroyo homónimo. El relieve medio en ambos casos es plano (0 - 3%) a suave (3 - 7%) y localmente mediano (7 - 12%). En éste ambiente se distinguen los depósitos de piedemonte a lo que se le suma la faja fluvial del río El Tala cuyo material geológico está formado por depósitos fluvio-torrenciales y flujos densos por acción de la remoción en masa (limos, limos arenosos y fanglomerados). El ambiente piedemonte, comprende la cuenca baja y está formado por un extenso abanico aluvial a la salida de la montaña, que domina por su extensión las bajadas aluviales antiguas y actuales. La geoforma se generó por la acumulación detrítica sucesiva producida cuando el cauce a la salida de la montaña por brusco cambio de pendiente, pierde capacidad de carga y genera acumulación aluvional. El material geológico se representa por flujos donde alternan depósitos gruesos poco clasificados de canales activos (bloques) y depósitos más finos de gravas, arenas, limos ligados a los desbordes de estos (Barveito *et al.* 2018).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio abarca la cuenca del río El Tala desde su nacimiento hasta la confluencia con el río Del Valle (Fig. 1). Para la delimitación, el trazado de la red de drenaje y la parametrización de la misma se utilizó el Modelo Digital de Elevación

(MDE) Alos Palsar obtenido de <https://search.asf.alaska.edu/#/>.

La cuenca con su correspondiente red de drenaje fue trabajada con un sistema de información geográfico (SIG), a partir del cual se pudieron obtener las variables que permitieron calcular los parámetros morfométricos de la misma utilizando el módulo Arc Hydro Tools de Arc Gis.

Se determinaron las variables morfométricas de medición directa como área, perímetro, longitud axial y ancho promedio de la cuenca, definido éste último como la relación entre el área de la cuenca (Ac) y su longitud axial mediante la siguiente ecuación:

$$W_p = \frac{Ac}{La} \quad (1)$$

La tabla 1 muestra la clasificación de las cuencas según su superficie.

Rangos de Áreas (km ²)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - pequeña
500 a 2500	Intermedia - grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

El índice de forma se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca (Wp) y su longitud axial (La); y está dado por la siguiente expresión:

$$If = \frac{W_p}{La} \quad (3)$$

El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius se expresa según la ecuación:

$$Kc = \frac{0.282 * Pc}{Ac^{1/2}} \quad (4)$$

siendo Ac el área de la cuenca en km² y Pc su perímetro en km. Éste coeficiente permite inferir como influyen las precipitaciones torrenciales en el escurrimiento superficial y da una idea de la forma de la cuenca. La tabla 2 muestra la clasificación del índice de compacidad de Gravelius. Un índice de compacidad cercano a 1 indica que la cuenca se asemeja a un círculo, por lo tanto, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque existe una equidistancia relativa de los puntos de la divisoria con respecto a uno central. A medida que nos alejamos de la unidad las cuencas tienden a ser más alargadas y con menor peligrosidad de crecidas, (Gaspari *et al.* 2012). Lo anterior se explica debido a que las cuencas alargadas, se caracterizan por poseer un largo canal principal recolector y tributarios cortos y pocos ramificados, por lo que el hidrograma de crecientes se presenta achatado ya que el agua que proviene de los tributarios presenta una larga circulación a través del cauce principal, además el agua de los tributarios cercanos a la cabecera tarda mucho tiempo en llegar a la desembocadura y el agua de los tributarios próximos al cierre lo hace más rápido, por lo que la descarga se atenúa en la salida de la cuenca alcanzando un caudal pico inferior pero que llega más rápido a la salida que una cuenca de forma circular en similares condiciones.

Tabla 2: Clasificación del índice de Compacidad de Gravelius. Fuente: Gaspari *et al.* (2012).

Kc	Clasificación
1 a 1,25	Casi redonda a oval-redonda

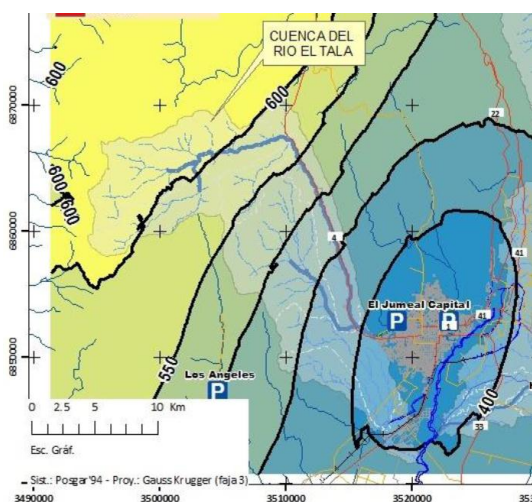


Figura 1: Área de estudio y curvas isohietas medias anuales. Fuente: Burgos *et al.* (2015).

La forma de la cuenca fue analizada mediante el cálculo de: el índice de forma, el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius, y el factor de forma. La razón de elongación (Re) es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma. La fórmula es la propuesta por Shumm (1956) y está dada por:

$$Re = \frac{1.128 * Ac^{1/2}}{La} \quad (2)$$

Valores inferiores a la unidad de Re implican cuencas de formas alargadas.

Tabla 1: Clasificación del tamaño de cuenca Fuente: Aranda (1992) en Caminos *et al.* (2018).

1,25 a 1,50	Oval redonda a oval-oblonda
1,50 a 1,75	Oval oblonda a rectangular-oblonda
< 1,75	Rectangular

El Factor de forma (Tabla 3) está dado por:

$$Ff = \frac{Ac}{La^2} \quad (5)$$

siendo (A_c) el área de la cuenca en km^2 y (L_a) su longitud axial en km. El factor de forma permite la comparación de la cuenca con distintas formas geométricas simples (Vich 1999). Una cuenca alargada tiene una menor probabilidad de recibir una precipitación intensa y uniforme en toda su superficie por lo que se espera que la misma esté expuesta a creciente de menor magnitud que una cuenca de igual superficie y un índice de forma cercano a la unidad (Camino *et al.* 2018).

Tabla 3: Rangos aproximados del Factor de Forma. Fuente: Pérez (1979) en Córdova (2016).

Factor de Forma (valores aproximados)	Forma de la Cuenca
<0,22	Muy alargada
0,22 a 0,30	Alargada
0,30 a 0,37	ligeramente alargada
0,37 a 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 a 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 a 0,80	Ensanchada
0,80 a 1,20	Muy ensanchada
> 1,20	Rodeando el desague

A posterior se procedió a la medición directa de las variables de relieve, altura máxima, mínima, y media de la cuenca, su desnivel absoluto calculado como diferencia entre el máximo y mínimo nivel, y la pendiente media de la cuenca (Pend) en (%) que brinda información sobre la característica de los hidrogramas ya que las cuencas de mayor pendiente tienden a responder con más celeridad ante las precipitaciones. La tabla 4 presenta la clasificación del tipo de relieve según el porcentaje de pendiente.

Con los datos de elevación del MDE y mediante geoprocesamientos se determinó la curva hipsométrica correspondiente a la cuenca en estudio y se la comparó con las curvas características que representan el grado de evolución del relieve de una cuenca (Fig. 2). La curva hipsométrica es la forma más conveniente y

objetiva para describir la relación entre las características de la cuenca en el plano y las alturas. Según Strahler, la curva hipsométrica es un reflejo del estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca. (Llamas 1993).

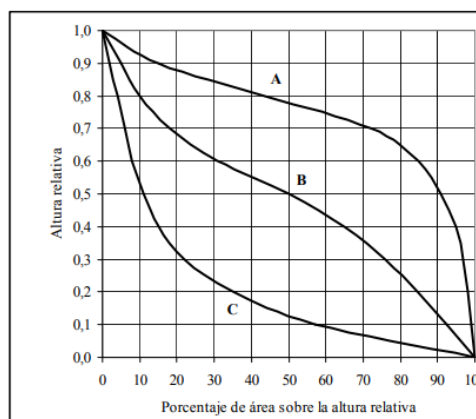


Figura 2: Curvas hipsométricas característica del ciclo de erosión según Strahler. Fuente: Llamas (1993).

Tabla 4: Clasificación de pendientes medias Fuente: Vera (2004) en Caminos *et al.* (2018).

Pendiente (%)	Tipo de Relieve
0 a 3	Plano
3 a 7	Suave
7 a 12	Mediano
12 a 35	Accidentado
35 a 50	Fuerte
50 a 75	Muy Fuerte
>75	Escarpado

Por último y para completar la caracterización se procedió al análisis de la red de drenaje. Para ello se determinaron las variables que explican la configuración y el comportamiento del drenaje del río como ser la densidad y patrones de la red de drenaje, la longitud y pendiente del cauce principal siendo éste un indicador del grado de respuesta del cauce, el número de orden, grado de ramificación de la cuenca, coeficiente de torrencialidad, coeficiente de masividad y el tiempo de concentración. La densidad de drenaje (D_d) fue establecida por Horton según el cociente entre la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca (L_n) y el

área total de la cuenca (Ac). En un principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una menor longitud de ladera, con una mayor velocidad de escurrimiento (Gaspari *et al.* 2013). La tabla 5 muestra las clases de drenaje con respecto a los rangos aproximados de la red de drenaje.

Una baja densidad de drenaje tiende a ser mínima en ambientes desértico de relieves llanos y terrenos permeables y alta en regiones húmedas con suelos relativamente impermeables con pendiente fuerte y escasa cobertura vegetal (Vich 1999)

Tabla 5: Clases de densidad de drenaje. Fuente: IBAL (2009).

Rangos de Densidad	Clases
0,1-1,8	Baja
1,9-3,6	Moderada
3,7-5,6	Alta

Valores altos de densidad de drenaje indican que las precipitaciones intervienen rápidamente sobre las descargas de los ríos, generalmente, estas regiones tienen suelos impermeables y pendientes fuertes (Córdova 2016).

Para la determinación del número de orden de la cuenca se utilizó el criterio de Strahler que consiste en asignarle un número a cada uno de los cursos tributarios desde el inicio de la línea divisora de aguas hasta llegar al cauce principal de manera que el número final señale el orden de la red de drenaje en la cuenca. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida y depende mucho de la escala del plano utilizado en su determinación, en éste sentido las comparaciones entre una cuenca y otra deben hacerse con cuidado (Aparicio 1996). Por último, la caracterización de la red de drenaje concluyó con el cálculo de los coeficientes de torrencialidad y masividad y el tiempo de concentración de la cuenca.

El coeficiente de torrencialidad Ct resulta de dividir el número de cauces de agua de orden uno (N1) por el área de la cuenca en km² (Ac). Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de

llegada al pico y alta torrencialidad (Camino *et al.* 2018)

El coeficiente de masividad define la relación entre la altura medida (H_{med}) de la cuenca en metros medida por la curva hipsométrica y el área de la misma en km². Su resultado toma valores muy grandes para cuencas pequeñas que presentan grandes desniveles y valores muy pequeños para grandes cuencas de relieve poco acentuado (Vich 1999). Por último, con la longitud del cauce principal en metros (L) y la pendiente (S) del mismo en m/m se determinó el tiempo de concentración de la cuenca usando para ello la fórmula de Kirpich.

$$Tc = 0,000325 * \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (6)$$

El tiempo de concentración se define como el tiempo que transcurre entre el inicio de la precipitación y el establecimiento del gasto de equilibrio, es decir, el tiempo que tarda el agua en pasar por el punto más alejado a la salida de la cuenca (Mijares 1999). El tiempo de concentración también es conocido como el tiempo de respuesta o de equilibrio (Vélez *et al.* 2011). El mismo define la rapidez de la respuesta de una cuenca ante una precipitación efectiva. Esta última variable adquiere una vital importancia en el establecimiento del caudal de diseño y depende fundamentalmente de las características del cauce principal como ser su longitud y pendiente entre otras.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados morfométricos realizados mediante el análisis con SIG, permitieron generar una cartografía temática descriptiva de la cuenca en estudio.

La Fig. 3 presenta el mapa del modelo digital de elevación cuya cota mínima es 499 m.s.n.m. y la máxima es de 4463 m.s.n.m.

En términos generales la cuenca del río El Tala posee un desarrollo longitudinal en sentido nortesur. Con un área de 294,86 km² es una cuenca intermedia pequeña según la clasificación de Aranda (Tabla 1).

El análisis de los resultados presentados de la tabla 6 establece que la cuenca presenta una forma rectangular cuyas aguas escurren en general por un solo curso principal con una susceptibilidad moderada a las crecidas.

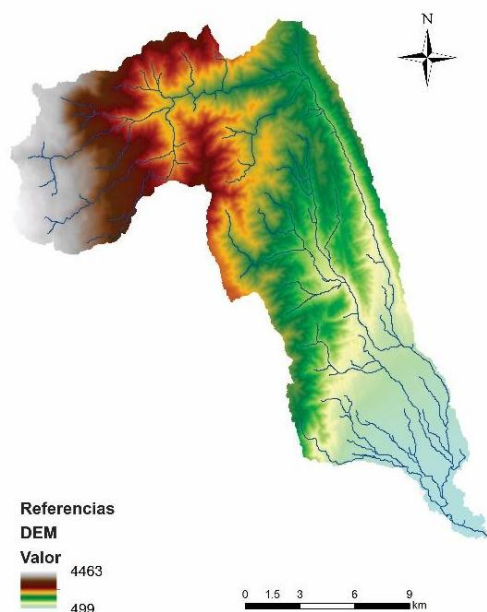


Figura 3: Modelo digital de elevación y red de drenaje.

El factor de forma F_f encontrado arroja un valor de 0,30 característico de una cuenca alargada (Tabla 3). Debido a su forma y a la caracterización de la distribución espacial de precipitaciones que presenta el área en estudio (Fig. 1), existe una menor probabilidad de que la cuenca reciba una precipitación uniforme en toda su superficie generando así hidrogramas que se ven afectados por un abatimiento areal de la precipitación disminuyendo en consecuencia sus descargas. El coeficiente de compacidad (K_c) encontrado de 2,43 refleja que la misma se asemeja a una forma geométrica rectangular (Tabla 2), en consecuencia, la cuenca en estudio presenta una gran longitud del cauce principal por lo que el agua que está más alejada de la salida tardará más tiempo en llegar a la misma. Ésta condición se traduce en un tiempo de respuesta menor ante precipitaciones intensas y un caudal pico menor característico de un hidrograma achatado debido a los diferentes tiempos de traslado de los tributarios al cauce principal lo que hace que los mismos no contribuyan en forma simultánea a la salida de la cuenca. En concordancia con el factor de forma y el coeficiente de compacidad la razón de elongación R_e de 0,24 encontrada para la cuenca en estudio ratifica lo dicho.

Tabla 6: Resultados.

Identificador	Unidad	Resultado
Área de la cuenca (A_c)	km ²	294,86
Perímetro de la cuenca (P)	km	148,38
Longitud axial de la cuenca (L_a)	km	31,57
Ancho promedio de la cuenca (W_p)	km	9,34
Longitud del cauce principal (L)	km	58,67
Longitud total de ríos (L_n)	km	262,18
Factor de forma	-	0,30
Coefficiente de compacidad de Graveluis (K_c)	-	2,44
Pendiente media de la cuenca	%	45,91
Altitud media de la cuenca	m.s.n.m.	1944,66
Altitud máxima de la cuenca	m.s.n.m.	4963
Altitud mínima de la cuenca	m.s.n.m.	499
Pendiente media del cauce principal (S)	m/m	0,07
Altitud máxima del cauce principal	m.s.n.m.	4441
Altitud mínima del cauce principal	m.s.n.m.	499
Número de orden de la cuenca	-	4
Densidad de drenaje	km/km ²	0,89
Número de cauces de orden 1 (N_1)		
Coefficiente de Torrencialidad (C_t)		79
Coefficiente de masividad (C_m)	ríos/km ²	0,27
Tiempo de Concentración (T_c)	m/km ²	6,60
	hs	4,33

Del análisis de los parámetros de relieve se puede visualizar que la cuenca alcanza una importante diferencia altitudinal de 4464 m en un corto trayecto presentando así una pendiente media de 45,91 % lo que da la pauta de un relieve escarpado que favorece los procesos erosivos y de remoción en masa, como así también a una pronunciada velocidad del escurrimiento superficial.

Debido a que la pendiente media del cauce principal del 7 % cae en el rango de moderada podemos decir que la velocidad de escurrimiento superficial disminuye cuando el mismo desemboca en el cauce principal.

La curva hipsométrica adimensional correspondiente a la cuenca en estudio se asemeja más a la curva característica de una cuenca en fase de equilibrio como se observa de la

comparación de la curva hipsométrica del río El Tala desarrollada en la Fig. 4 y la curva b de la Fig. 2.

A su vez, del polígono de frecuencias de alturas se visualiza que el 50% del área acumulada responde a la altitud media de la cuenca de 1944 m.s.n.m., el 36% de su superficie se ubica entre las cotas 1558 y 2206 m.s.n.m., el 24% se encuentra por encima de los 2206 m.s.n.m. y el resto 40% corresponde al valor inferior por debajo de los 1558 m.s.n.m.

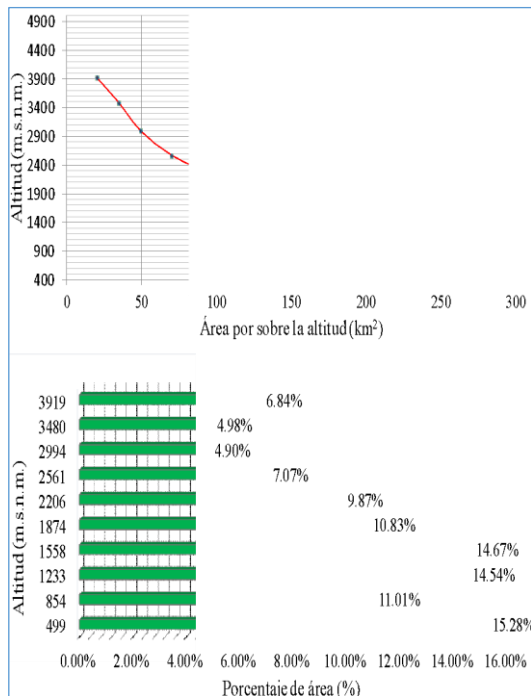


Figura 4: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de altura cuenca del río El Tala.

La cuenca del río El Tala presenta una baja densidad de drenaje de 0,88 km/km². Dicho valor podría estar influenciado principalmente por el clima semiárido, el tipo de suelo y cubierta vegetal prevaleciente en la cuenca media y baja. Las características allí, están relacionadas a un suelo más permeable como el que presenta el ambiente del valle y piedemonte y una cubierta vegetal de bosque denso con un estrato arbóreo de gran porte y un estrato arbustivo continuo y bien desarrollado en correspondencia con la vegetación predominante de la región fitogeográfica del chaco árido y serrano hasta una altura de 1700 m.s.n.m.

Debido a su baja densidad de drenaje se deduce que la respuesta de la cuenca ante una tormenta es moderada y podría repercutir en el hidrograma atenuando el pico del mismo. Según el criterio de Strahler la cuenca es de orden 4 para un umbral de 10 km², el cual representa la superficie límite sobre la que una vez determinada la dirección del flujo, el mismo se acumula para definir la red de drenaje. Éste umbral de superficie define la escala de los tributarios analizados y está en función de la cantidad de detalle de la red que se desee obtener. La red de drenaje presenta un patrón dendrítico con un aumento continuo de los tributarios desde la desembocadura hacia la cabecera. (Fig. 5).

El bajo valor del coeficiente de torrencialidad sugiere una baja susceptibilidad a la erosión y una moderada torrencialidad. El coeficiente de masividad encontrado para el área de estudio revela una cuenca intermedia a pequeña con grandes desniveles y fuerte relieve lo cual sustenta lo expuesto mediante los valores encontrados de área y pendiente media.

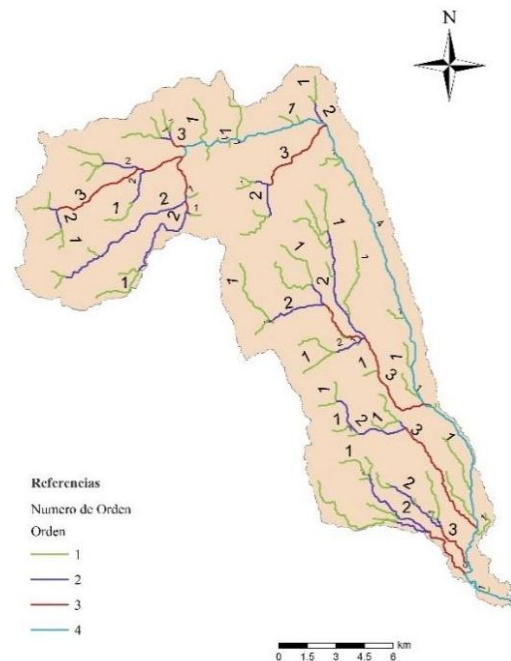


Figura 5: Número de orden de la red de drenaje. Por último, el tiempo de concentración de la cuenca es de 4,33 horas, siendo éste valor bajo para permitir altas tasas de infiltración y alimentación de flujo subsuperficial y subterráneo.

4. CONCLUSIONES

La cuenca del río El Tala presenta un desarrollo longitudinal en sentido norte-sur.

Los índices de forma revelan una cuenca rectangular alargada de tamaño intermedio a pequeño con una baja probabilidad de ocurrencia de una precipitación uniforme en toda su superficie.

Los procesos erosivos, de remoción en masa y velocidad del escurrimiento superficial se ven favorecidos por la marcada diferencia altitudinal en un corto trayecto que presenta la cuenca.

La pendiente media del cauce principal es moderada, por lo que la velocidad del escurrimiento superficial disminuye al entrar al cauce principal.

La curva hipsométrica adimensional de la cuenca en estudio se asemeja más a la curva característica de una cuenca en fase de equilibrio. La baja densidad de drenaje de la cuenca del río El Tala podría estar relacionada con el tipo de suelo y la cubierta vegetal predominante en la parte media y baja de la cuenca dando origen a una respuesta moderada ante una tormenta de magnitud considerable.

La pendiente, forma y densidad de drenaje permitió una aproximación al entendimiento del sistema hídrico analizado.

El análisis geoespacial logrado con SIG, constituyó un aporte fundamental en la determinación de las diferentes variables que actúan a una misma escala espacial y altitudinal sobre la extensión de la red de drenaje y dinámica hídrica.

El entendimiento del comportamiento hidrodinámico de la cuenca del río El Tala resulta imprescindible para implementar programas y planes de gestión en la zona. Sin embargo, se recomienda considerar las intervenciones antrópicas que puedan afectar su dinámica.

5. REFERENCIAS

- Aparicio Mijares, F., *Fundamento de Hidrología de Superficie*, Editorial Limusa, México, 1996.
- Barbeito, O., Ambrosino, S., Rydzewski, A., Estudio hidrogeomorfológico, cuencas del río El Tala –Ongolí –Catamarca, Informe Final presentado a la Dirección de Hidrología de la provincia de Catamarca, 2018.
- Burgos V., López P., Maza J., Salcedo A., Bonilla J., Cartagena A., Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por las crecidas de los ríos El Tala y Paclín- Catamarca, Informe Final presentado a la Dirección de Hidrología de la provincia de Catamarca, 2015.
- Camino, M., Bo, M., Cionchi, J., Lopez, A., Del Río, J., De Marc, S., Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27 (1), 73-97, 2018.
- Córdova, M. Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas, PRONTUBEAN https://prontubeam.com/articulos/articulos2016/04_2016_param_geom_cuencas/04_2016_param_geom_cuencas_articulo.pdf/. 20.8.2020.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Besteiro, S., Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, *AUGMDOMUS*, 4:143-158, 2012.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Besteiro, S., *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. 1 Edición, La Plata, Universidad Nacional de La Plata, 2013.
- Ibal, Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas las panelas y la balsa. CORTOLIMA.GOV.CO. https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/diagnostico/2.2aspectos_biofisicos.pdf. 20.8.2020, 2009.
- Llamas, J. *Hidrología General. Principios y Aplicaciones*, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, 1993.
- Morlans, M., *Regiones Naturales de Catamarca, provincias geológicas y provincias fitogeográficas*, Editorial Científica Universitaria, San Fernando del Valle de Catamarca, 1995.
- Vélez Upegui, J., Botero Gutiérrez, A. Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales, *Dyna*, 165:58-71, 2011.
- Vich, A. *Aguas Continentales. Formas y Procesos*, Talleres gráficos del centro de economía, legislación y administración del agua y del ambiente, Mendoza, 1999.

Análisis de Lluvias Intensas en la Provincia de Santiago del Estero

Olmos L., Prieto Villarroya J., Giordana Ruiz Luisina, Van Meer H.

*Instituto de Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (IRHiFCEyT).
Universidad Nacional de Santiago del Estero. lolmos@unse.edu.ar,
jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar*

RESUMEN

En la mayoría de los proyectos de obras hidráulicas de pequeña a mediana envergadura la disponibilidad de caudales máximos medidos es escasa. En consecuencia, para poder plantear un caudal de diseño para dichas obras se requiere el conocimiento del comportamiento de las precipitaciones máximas y luego transformarlas en hidrogramas de creciente. Por otro lado existe un déficit de información pluviográfica que implica que las curvas IDT se obtengan mediante metodologías sintéticas y por último las metodologías tradicionales para obtener el hietograma de diseño no se ajustan al comportamiento real de las tormentas.

En consecuencia, en este trabajo en primer lugar se comparan una metodología sintética para la obtención de las IDT, como el modelo DIT, con las IDT medidas y por otro lado se estudia la distribución temporal real de las tormentas extremas caracterizadas por su magnitud considerable y duraciones cortas, mediante la aplicación de los métodos de Distribución Acumulada (DA), y el de Ordenamiento de Intervalos (OI).

El análisis se lleva a cabo sobre una serie de estaciones pluviográficas (Árraga, La Banda, Santiago capital Frías y Termas de Río Hondo), lo que permitirá generar una serie de recomendaciones aplicables al diseño hidrológico dentro del ámbito de la provincia de Santiago del Estero.

ABSTRACT

In most small to medium-sized hydraulic works projects, the availability of maximum measured flows is scarce. Consequently, in order to propose a design flow for such works, it is necessary to know the behavior of the maximum rainfall and then transform them into growing hydrographs. On the other hand, there is a deficit of pluviographic information that implies that the IDT curves are obtained using synthetic methodologies and, finally, the traditional methodologies to obtain the design hietogram do not adjust to the real behavior of storms.

Consequently, in this work, in the first place, synthetic methodologies for obtaining IDTs are compared, such as the DIT model with the measured IDTs and, on the other hand, the real temporal distribution of extreme storms characterized by its considerable magnitude and short durations, through the application of the Cumulative Distribution (DA) and Interval Ordering (OI) methods.

The analysis is carried out on a series of pluviographic stations (Árraga, La Banda, Santiago capital Frías and Termas de Río Hondo), which will generate a series of recommendations applicable to hydrological design within the scope of the province of Santiago del Estero.

Palabras clave: Caracterización, Lluvias, Máximas, Intensas.

Keywords: Characterization, Rains, Maximum, Intense.

1 INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los proyectos de obras hidráulicas de pequeña a mediana envergadura la disponibilidad de caudales máximos medidos es escasa. En consecuencia, para poder plantear un caudal de diseño para dichas obras se requiere el conocimiento del comportamiento de las precipitaciones máximas y luego transformarlas en hidrogramas de creciente. Por otro lado existe un déficit de información pluviográfica que implica que las curvas IDT se obtengan mediante metodologías sintéticas y por último las metodologías tradicionales para obtener el hietograma de diseño no se ajustan al comportamiento real de las tormentas.

El proceso de definición de la lluvia de diseño es sensiblemente más complejo que el proceso de tratamiento estadístico de una serie de caudales, ya que dicha lluvia debe reflejar la estructura temporal y espacial de dicho evento.

La manera clásica en la práctica es estimar la relación I-D-T y desde allí en base al tiempo de concentración de la cuenca obtener la lluvia sintética precipitada. Posteriormente, resulta necesario distribuir espacial y temporalmente la lluvia obtenida. Según la literatura las diferencias en la escorrentía resultante entre esta metodología y las propuestas en este trabajo pueden ser mayores al 10%.

En este trabajo se analiza en primer lugar la situación más desfavorable en la que se deben determinar las curvas IDT a partir de lluvias máximas diarias y en segundo lugar se busca determinar cuál sería la distribución temporal de la lluvia dentro del hietograma de diseño que se asemeje al comportamiento real de las tormentas intensas.

Para acometer la obtención de las curvas IDT existen diferentes metodologías (del S.C.S., Bell, Cheng, Hernández, Lafragua y Aparicio, DIT) que han sido desarrolladas para la estimación de las intensidades máximas de las lluvias para diferentes duraciones hasta 24 horas. En este trabajo se compara las IDT obtenidas a partir de registros pluviográficos con las IDT sintéticas obtenidas mediante el método DIT 3P (Caamaño Nelli et al. 2010) y el modelo de Bell

Con respecto al estudio de la distribución temporal real de las lluvias intensas, se analizan datos históricos de tormentas con duraciones hasta 3 horas de manera de caracterizar las mismas y que tienen una lluvia total mayor a 20

mm. Buscando obtener la distribución temporal real de las tormentas extremas, mediante la aplicación de los métodos de Distribución Acumulada (DA), y el de Ordenamiento de Intervalos (OI).

El análisis se lleva a cabo sobre una serie de estaciones pluviográficas (Árraga, La Banda, Santiago, Frías y Termas de Río Hondo), lo que permitirá generar una serie de recomendaciones aplicables al diseño hidrológico dentro del ámbito de la provincia de Santiago del Estero.

Los datos de pluviografía corresponden a datos desde el año 2008 hasta el 2019, con series que van desde 8 años a 12 años de registros.

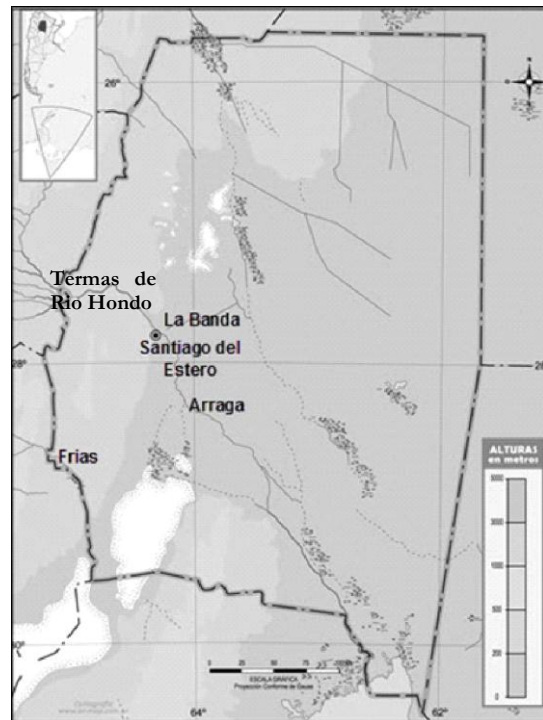


Figura 1: Ubicación geográfica de estaciones pluviográficas

2 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS IDT MEDIDAS Y SINTÉTICAS

2.1.- Curvas IDT Medidas

El análisis de frecuencia hidrológico (AFH) se lleva a cabo con la serie del máximo anual (AMS). Los AMS contienen el evento más grande en cada año completo de registro.

Si bien es cierto que desde el punto de vista hidrológico se pueden hacer inferencia probabilística del orden del doble de años de

registros disponibles en lo que al período de retorno se refiere (Paoli et al, 1992). Se considera que los valores a obtener pueden ser utilizables para la mayoría de los proyectos hidráulicos de pequeña y mediana escala, por lo que este aspecto ratifica el criterio adoptado de trabajar con el método AMS, ya que en dos localidades la cantidad de años de registros es de 10 años.

El análisis de frecuencia se realiza para cada duración de precipitación y periodo de retorno de manera de aplicar un modelo de distribución factible para los datos medidos. En este caso en base a los estudios antecedentes (Olmos et al, 2010) se trabaja con la función de Valores Extremos Generalizada la cual verifico un buen ajuste en base al Índice de X^2 .

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - k\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]^{1/k}\right\} \text{ V.E.G. (1)}$$

A los fines de visualizar dichos ajustes se presenta el resultado para la duración de 1 hora para las localidades de Río Hondo, Frías y Las Marías, aclarándose que para Santiago del Estero ya se disponía de la curva IDT.

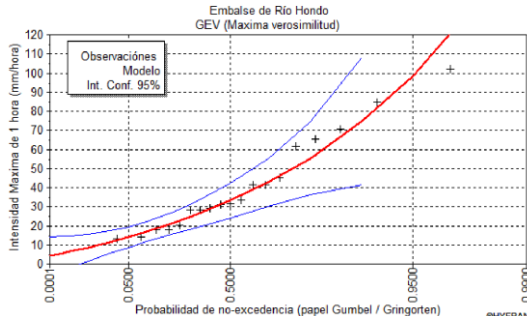


Figura 2: Intensidades Máximas de 1 hora en Río Hondo

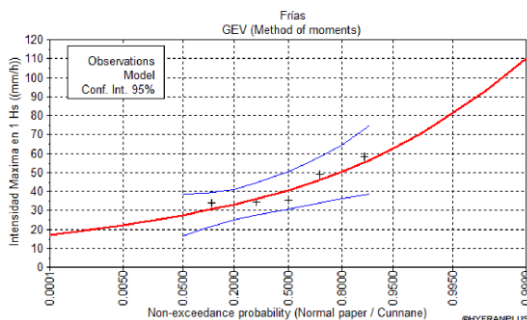


Figura 3: Intensidades Máximas de 1 hora en Frías

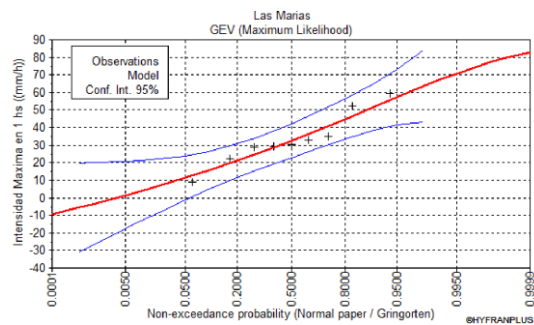


Figura 4: Intensidades Máx. de 1 hora en Las Marías

Una vez que se obtiene los valores probables de la intensidad para cada duración y período de retorno se procede a ajustar las curvas IDT en base al modelo propuesto por Sherman. Este tipo de modelo hiperbólico tiene cuatro parámetros a determinar que son a, b, c, y d. El ajuste matemático de las mediciones procesadas permite definir los valores resultantes de los parámetros para las estaciones analizadas que se presentan en la Tabla 1.

$$I = \frac{a \cdot T_R^b}{(t_r + c)^d} \text{ Expresión tipo Sherman (2)}$$

con I (mm/h), T_R (años) y t_r (horas).

Tabla 1: Parámetros de Curvas IDT ajustadas

Estación/Parámetro	a	b	c	d
Santiago del Estero	65,017	0,22	0,67	1,130
T. de Río Hondo (Hidroeléctrica)	38,315	0,47	0,68	0,895
Árraga (La María INTA)	116,68	0,17	1,53	1,335
Frías (INTA)	138,02	0,16	1,41	1,484

2.2.- Curvas IDT a partir del Modelo DIT

La relación I-d-T en el modelo DIT 3P (Caamaño Nelli y García, 1999), en su expresión final logarítmica es:

$$\ln I_{d,t} = A \cdot \varphi_y - B \cdot \delta_y + C \quad (3)$$

Siendo I,d,T la intensidad media máxima de lluvia en mm/h, para una duración d en minutos, esperable en el período de retorno T en años Φ_y y el factor de frecuencia (Chow, 1994) dado por

$$\phi_y = 2,584458 \cdot (\ln T)^{3/8} - 2,252573 \quad (4)$$

mientras que δ_y es el factor de persistencia, definido como

$$\delta_y = (\ln d)^q \quad (5)$$

La Ecuación (3) presenta tres términos independientes entre sí, que provienen de la hipótesis de independencia entre duración, explicitada en δ_y , y recurrencia, incluida en Φ_y . Los coeficientes A, B, C de la Ecuación (3) y el exponente q, de la Ecuación (5) son los cuatro parámetros resultantes del modelo; A y C incorporan las características de la lluvia local, mientras que B y q, son parámetros zonales. En el caso de q se ha demostrado que su valor puede adoptarse constante e igual a 1,67.

Por lo tanto los valores de coeficientes restantes se extraen de mapas clasificados del trabajo “Regionalización de parámetros de un modelo de predicción de lluvias máximas” (Rico et al, 2010) y los valores adoptados se observan en la tabla 2.

Tabla 2: Parámetros adoptados del modelo DIT

Estación/Parámetro	A	B	C
Santiago del Estero	0,369	0,139	5,103
T. de Río Hondo (Hidroeléctrica)	0,360	0,139	5,250
Árraga (La María INTA)	0,369	0,140	5,103
Frías (INTA)	0,360	0,160	5,200

2.3.- Resultados

La aplicación de las dos metodologías permite obtener las IDT medidas y las sintéticas generadas mediante el modelo DIT (3P) cuyos resultados se presenta en las Figuras 5, 6, 7 y 8.

En base a los resultados obtenidos de la aplicación de los dos métodos, se pone mayor énfasis en lo que sucede con duraciones hasta 5 horas que son los eventos que generan mayores escurrimientos y se observa lo siguiente:

Para Santiago del Estero para duraciones hasta 1 hora el modelo DIT tiene un muy buen comportamiento con errores menores al 10%. Para duraciones entre 1 hora y 5 horas y en todos

los Tr las sintéticas dan valores mayores que van entre los 5 y 39%.

En el caso de Termas de Río de Hondo el modelo DIT estima valores mayores a los medidos para los períodos de retorno de 2 años (del 42 al 30%, para 1 y 5 horas respectivamente) y 5 años (24 al 14%, para 1 y 5 horas respectivamente), tiene valores con diferencias menores al 10% para los 10 años de recurrencia (5 a -4%, para 1 y 5 horas respectivamente) y da valores menores para períodos de retorno de 20 años (-21 al -14%, para 1 y 5 horas respectivamente) y 50 años (-41 al 35%, para 1 y 5 horas respectivamente).

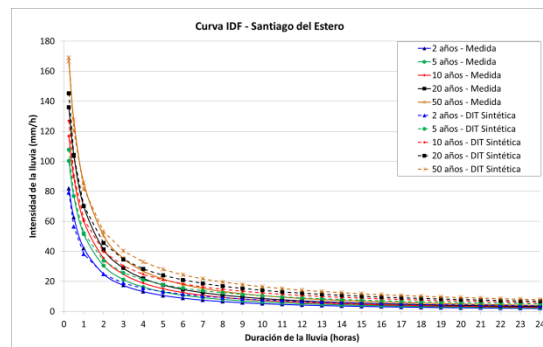


Figura 5: Comparación de curva IDT medida y Sintética en Santiago del Estero.

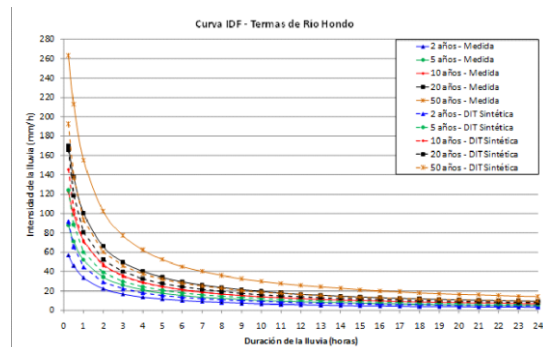


Figura 6: Comparación de curva IDT medida y Sintética en T. de Río Hondo

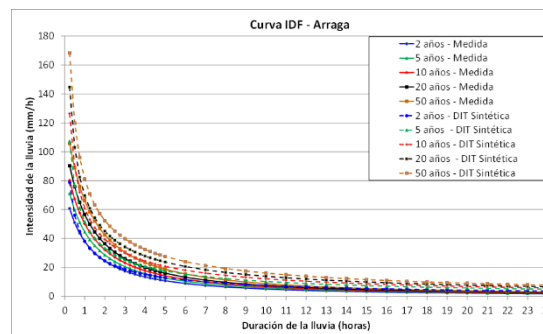


Figura 7: Comparación de curva IDT medida y Sintética en Árraga

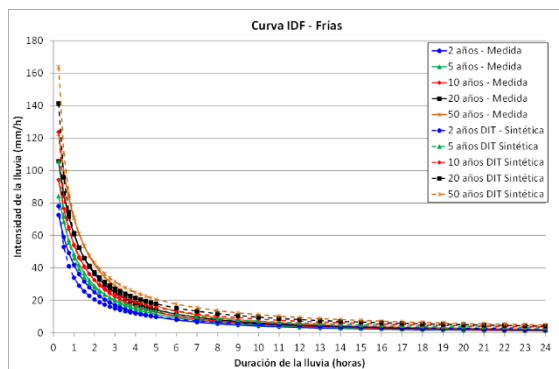


Figura 8: Comparación de curva IDT medida y Sintética en Frías.

En el caso de Árraga (La María INTA) el modelo DIT 3P arroja valores mayores a los medidos para todos los períodos de retorno con diferencia máximas de 20% (2 años), 39% (5 años), 46% (10 años), 48% (20 años) y 47% (50 años), para la duración de 5 horas por lo que decrecen para duraciones menores, presentando un mínimo de 1, 15, 20, 21 y 22% respectivamente para duraciones de 0,5 horas.

En el caso de Frías (INTA) el modelo DIT 3P genera valores menores (20%) a los medidos para el período de retorno de 2 años y mayores para el resto de los periodos de retorno analizados con un rango que va desde el 17% (5 años) al 25% (50 años), con las diferencias máximas para las 5 horas, y decreciendo para duraciones menores con valores mínimos de 0, -6, -2, 0 y 0 % para duraciones de 1,5 horas.

Para el período de registros analizados, a nivel regional se puede decir que Río Hondo presenta intensidades mayores a los 3 sitios para las duraciones hasta 5 horas y todos los períodos de retorno. Además, la estación de Termas de Río Hondo es la que presenta un mayor escalonamiento para los distintos períodos de retorno, le siguen Santiago del Estero y Arraga que son similares y Frías es la que presenta menores diferencias entre periodos de retorno.

3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL HIETOGRAMA DE LAS TORMENTAS

Para llevar a cabo la caracterización de las lluvias se aplican los métodos de Distribución Acumulada, DA, (Huff, 1967) y el de

Ordenamiento de Intervalos, OI, (Pilgrim et al. 1969).

La precipitación durante una tormenta es un proceso continuo, pero su tratamiento se lleva a cabo de manera discreta. Como se trabaja en la caracterización de tormentas y no de los intervalos de precipitación máxima anual (IMA) como en el proceso de obtención de las IDT, la partición se hace en fracciones de la duración, para poder comparar la forma en eventos de distinta duración total. Es decir, cada tormenta se debe dividir en una cantidad fija de lapsos iguales, entre 4 (cuartiles) y 10 (deciles), con lo que varía la duración de éstos bloques o intervalos de lluvia de una tormenta a otra al analizar todas las tormentas con duraciones menores a 3 horas. Con menos de cuatro intervalos no es posible reflejar adecuadamente la distribución y con más de diez se pierde la visión de conjunto. La desagregación se completa determinando láminas parciales -absoluta y porcentual- precipitadas. (Caamaño Nelli y Dasso, 2003)

El método DA, cuyo uso es generalizado en Estados Unidos, se aplica a cada percentil por separado, para delinear distribuciones empíricas de frecuencia de porcentaje de lámina (porción de los sucesos que no supera determinado límite de clase). Requiere instaurar un valor de no excedencia, para elaborar la curva de porcentajes acumulados hasta cada bloque, que se desagrega para obtener el hietograma de diseño con esa probabilidad de ocurrir. Este valor se establece normalmente en 0,5 (mediana de la muestra), que es el que menos altera la probabilidad instituida por la relación i-d-T para la lámina total.

El método OI es el estándar para diseño hidrológico en Australia y consiste en categorizar en cada intervalo de máxima anual (IMA), las proporciones de lluvia por bloque y promediarlas según su jerarquía. Sus ubicaciones promedio en los gráficos permiten adjudicar el orden cronológico de los percentiles en el hietograma tipo. (Caamaño Nelli et al., 2013)

Las mediciones disponibles corresponden a las estaciones de las localidades de Árraga (INTA), Frías (INTA), La Banda (ITA- El Liberal) y Santiago del Estero (IRHi). Los datos disponibles son cada 15 minutos, salvo en la estación de Santiago del Estero que son cada 10 minutos.

3.1.- Aplicación a las Estaciones y Resultados

Como se dijo anteriormente la mayoría de las estaciones tienen datos cada 15 minutos por lo que el criterio adoptado para particionar las tormentas fue dividir en 4 (cuartiles). Entonces la duración mínima con que se trabaja es de 1 hora y la máxima como se dijo de 3 horas. En el caso de que la duración de las tormentas al dividirse entre 4 no da intervalos enteros medidos se distribuye proporcionalmente hacia el bloque anterior y posterior.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la aplicación del Método de Pillgrim para la estación de IRHi (Santiago del Estero).

Se puede observar que los porcentajes de precipitación acumulada son del orden del 25% para el 1° cuartil y del 66 % para el 2° Cuartil y que las intensidades picos se dan en el 2° cuartil. En la Tabla 5 se dan los resultados correspondientes a Huff para dicha estación. Se puede deducir que para el 50% de probabilidad de ocurrencias de las tormentas el comportamiento es semejante al de Pillgrim, con valores acumulados cercanos al 60% para el 2° cuartil y con un pico menos marcado en el dicho cuartil.

Tabla 3: Aplicación de Método de Pillgrim para la estación del IRHi (SDE)

Tormenta	Porcentaje por cuartil			
	1°	2°	3°	4°
1	49,03	35,60	6,13	9,24
2	36,76	23,06	12,10	28,08
3	17,09	62,39	6,41	14,10
4	32,18	27,20	24,14	16,48
5	40,70	20,93	20,64	17,73
6	20,29	39,71	20,00	20,00
7	19,74	38,16	22,37	19,74
8	18,89	40,00	21,11	20,00
9	22,02	55,05	11,47	11,47
10	21,25	28,75	30,42	19,58
11	11,89	23,78	30,77	33,57
12	2,18	19,65	37,55	40,61
13	40,91	28,41	15,34	15,34
14	16,52	26,34	28,57	28,57
TIPO	26,32	40,58	19,22	13,89

Además el método de OI da por encima en un 15 y 4% que el método de DA en el 2° y 3° cuartil respectivamente y un 3% menor en el 1° cuartil

para la estación del IRHi, lo que puede visualizarse en la Figura 9.

Tabla 4: Aplicación de Método de Huff para la estación del IRHi (SDE)

	Interva.	Marca de Clase	% de tormentas por cuartil			
			1°	2°	3°	4°
l á m i n a a c u m u l a d a	0 - 10	5%	7	0	14	7
	10 - 20	15%	43	7	43	71
	20 - 30	25%	64	57	79	86
	30 - 40	35%	79	86	100	93
	40 - 50	45%	100	86	100	100
	50 - 60	55%	100	93	100	100
	60 - 70	65%	100	100	100	100
	70 - 80	75%	100	100	100	100
	80 - 90	85%	100	100	100	100
	90 - 100	95%	100	100	100	100
% de lámina acumulada para 50 % de tormentas			25,76	31,55	24,29	18,40

Aplicando el método de OI para las demás estaciones los resultados son los siguientes:

Los resultados de la aplicación del Método de Pillgrim para la estación de INTA (Frías) indican que los porcentajes de precipitación acumulada son del orden del 17% para el 1° cuartil y del 63 % para el 2° Cuartil y que las intensidades picos se dan en el 2° cuartil.

En cuanto a los resultados correspondientes a Huff se puede observar que para el 50% de probabilidad de ocurrencias de las tormentas el comportamiento no es el mismo en cuanto al ordenamiento de los cuantiles, ya que en este caso el 2° orden lo tiene el 3° cuartil. En cuanto a los valores acumulados son mayores hasta el 2° cuartil, lo que se observa en la Figura 10 y coinciden con el método anterior en que los valores picos se dan en 2° cuartil, aunque este método da un valor menor al de Pillgrim.

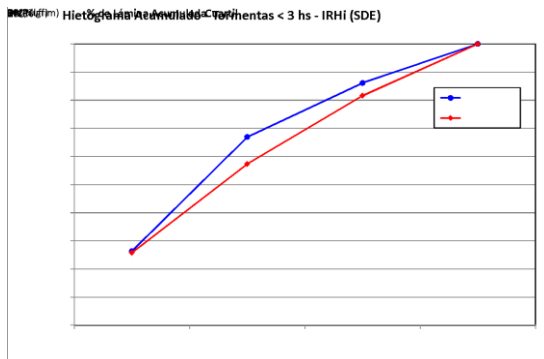


Figura 9: Comp. de hietogramas acumulados. Est. IRHi

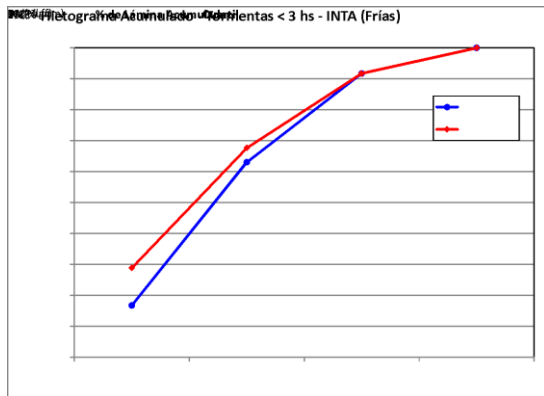


Figura 10: Comparación de hietogramas acumulados en estación INTA (Frías)

La aplicación del Método de Pillgrim para la estación de INTA (Árraga) dio como resultado que los porcentajes de precipitación acumulada son del orden del 21% para el 1° cuartil y del 63 % para el 2° Cuartil y que las intensidades picos se dan en el 2° cuartil.

Con respecto a los resultados de Huff 6 se puede observar que para el 50% de probabilidad de ocurrencias de las tormentas el comportamiento no es el mismo en cuanto al ordenamiento de los cuantiles, es fluctuante siendo mayor para el 1°, similar para el 2° y menor para el 3° lo que se observa en la Figura 11. En cuanto a los valores picos se dan en 2° cuartil, aunque este método da un valor menor al de Pillgrim con una diferencia del 17%.

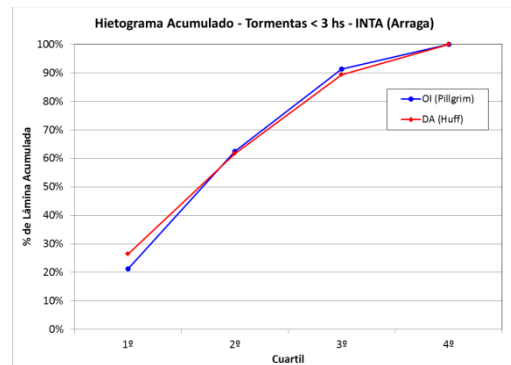


Figura 11: Comparación de hietogramas acumulados en estación INTA (Árraga)

En la Figura 12 se muestran los resultados de la aplicación de los métodos para la estación de ITA (La Banda). Se puede observar que los porcentajes de precipitación acumulada son del orden del 23,5% para el 1° cuartil y del 59,5 % para el 2° Cuartil en el método de Pillgrim y que las intensidades picos se dan en el 2° cuartil.

Con respecto a los resultados correspondientes a Huff se observa que para el 50% de probabilidad de ocurrencias de las tormentas el comportamiento es muy similar al ordenamiento de los cuantiles, dando el pico en el 2°. La forma de la acumulación es semejante al caso del INTA (Frías) según se aprecia en la Figura 11. En cuanto a los valores picos este método da un valor similar al de Pillgrim alrededor del 35%.

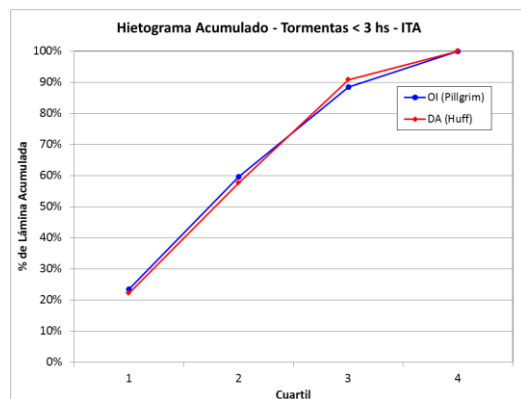


Figura 12: Comparación de hietogramas acumulados en estación ITA (La Banda)

4 CONCLUSIONES

Con respecto al estudio de las curvas IDT, los resultados obtenidos permiten establecer que el comportamiento del modelo DIT 3P no tiene un

patrón de comportamiento definido con respecto a las localidades analizadas que disponen de pluviografía.

Esto puede justificarse en el hecho de que la información usada en el ajuste del modelo DIT 3P, estación de Santiago del Estero, es más larga y no coincide con el período de registros disponibles para las localidades de referencia.

Otra justificación factible es el hecho de que la tendencia del orden de magnitud de los parámetros A, B y C dentro de los mapas regionales no es el mismo en las localidades analizadas. Otra posible explicación radicaría en el hecho de que la interpolación espacial de la que se han extraído los parámetros A, B y C, fue realizada con el método Spline, siendo posible que los resultados mejoren al emplear otros métodos. Esto sugiere como una posible línea de investigación futura, la actualización de los mapas regionales con nuevos valores y diferentes técnicas de interpolación espacial.

En cuanto al comportamiento regional se puede decir que la estación de Río Hondo presenta intensidades mayores que las otras estaciones creciendo de manera sustancial a medida que aumenta el periodo de retorno para todas las duraciones.

Se observa también que la diferencia porcentual entre las intensidades para diferentes períodos de retorno es más notable en la estación de Río Hondo, lo que podría deberse a otras condiciones climáticas y por ende las tormentas están dentro de otra región hidrológica.

Con respecto a la diferencia entre Frías y Arraga y Santiago del Estero las mismas no superan el 20% teniendo Frías intensidades mayores.

Con respecto al estudio de la distribución temporal de la precipitación dentro de las tormentas intensas, sobre las cuatro localidades de la provincia de Santiago del Estero indican que el comportamiento de las tormentas en las localidades analizadas es prácticamente homogéneo con las intensidades picos que se producen en el 2° cuartil.

Que el método de OI da valores mayores a DA con valores que no superan el 15% para el caso de la Estación IRHi, lo que su adopción estaría del lado de la seguridad en el diseño con un error aceptable desde el punto de vista hidrológico.

Que el método de OI da valores menores que el DA con valores del orden del 20% para la estación de Frías, por lo que se recomienda tener una mayor longitud de registros que sean más

representativos y ver si dichas diferencias se reducen.

En las estaciones de Arraga y La Banda, los comportamientos son prácticamente semejantes con diferencias menores al 10%.

Los porcentajes acumulados hasta el 2° cuartil, en el orden del 65%, permiten inferir una situación favorable para el proceso lluvia-escorrentía, ya que para eventos aislados (sin lluvias previas) generaría que el proceso de infiltración atenúe el pico del Hietograma y por ende el pico del Hidrograma sea menor.

El método de Pillgrim da un porcentaje de precipitación pico del orden del 42,5% para el 2° cuartil y el de Huff de 35,2%.

Estos avances en el procesamiento de los registros históricos pluviográficos serán contrastados con otros procedimientos como el IMA, que se usan para la obtención de las IDT, de manera de comparar con el método de bloque alterno o de Intensidad Instantánea a los fines de definir un criterio de aplicación en la zona de estudio.

5 REFERENCIAS

- Bell, F. C. Generalized rainfall duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*. Vol. 95, 1969, pp. 311-327. 1969
- Caamaño Nelli, G. y Dasso C.M. "Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias". CONICET. Universitatis-Editorial Científica Universitaria. Córdoba, Argentina. 2003
- Chen, C-I. "Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*. Vol. 109-12, pp. 1603-1621." 1983
- Chow, V.T., D.R. Maidment D.R. y Mays L.W. "Hidrología Aplicada". ISBN:958-600-171-7. Mc Graw-Hill Interamericana S.A. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 1994.
- Huff, F. A. "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms". *Water Res. Research*, Vol. 3, N° 4, 1007-1019. USA. 1967.
- Pilgrim, D.; Cordery, I. y French, R. "Temporal Patterns of Design Rainfall for Sydney". *Civil Engineering Transactions*, Vol. CE 11, N° 1. The Institution of Engineers. Sydney, Australia. 1969
- Ponce, V.M. "Engineering Hydrology – Principles and practices". Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey 07632; 637 p. 1994
- Vasková, I. y Francés García, F. "Cálculo de

- hietogramas de diseño con incorporación de las propiedades de escala y dependencia temporales de la precipitación”. XXI Cong. Latinoamericano de Hidráulica. IAHR Res. p.74. São Pedro, Brasil. 2004
- Olmos L., Ibáñez J., Farias H. D. “Estudio Regional de las Lluvias Máximas Diarias. Aplicación a la Llanura Chaqueña Argentina” (2010). XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Libro de resúmenes, pag.46. Libro de Trabajos en CD: ISBN: 978-9974-0-0690-4. Trabajo 3A-635. 21 al 25 de Noviembre de 2010. Punta del Este, Uruguay. 2010
- Rico A., Caamaño Nelli G. y Garcia C.M. Regionalización de parámetros de un modelo de predicción de lluvias máximas. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. IHLLA, Azul, Buenos Aires, Argentina. 2010

Aplicación de SRTM 90 m, ALOS World 3D – 30 m y TanDEM-X 90 m en la provincia de Santiago del Estero.

Orieta, Jorge¹; Galván, Lucrecia¹; Infante, Claudia¹; Duro, Javier.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
jorietafernandez@gmail.com; galvanlucrecia@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo utiliza las alturas de los Modelos Digitales de Elevación (DEM) de la Misión Topográfica de Radar del Transbordador Espacial (SRTM 90 m); de la misión del satélite avanzado de observación terrestre ALOS, ALOS World 3D – 30 m (AW3D30) y de la misión satelital para medición digital de elevación TerraSAR-X (TanDEM-X) y las compara con las alturas de la Red de Posiciones Geodésicas Argentinas (POSGAR 07) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), aplicadas a la provincia de Santiago del Estero. La metodología usada consiste en formular los DEM en términos de alturas elipsoidales (SRTMe, AW3D30e), esto se logra, mediante la adición de la altura geoidal del Modelo Gravitacional Terrestre 1996 (EGM96) a las alturas SRTM y AW3D30. El modelo TanDEM-X DEM viene expresado en alturas elipsoidales. Como resultado de ello, se han estimado los errores provenientes de las diferencias de alturas entre SRTMe, AW3D30e y TanDEM-X y las alturas de la red geodésica. Los RMS obtenidos para los DEM mencionados son de: 2,83 m; 1,95 m y 1,36 m, respectivamente. Se presentan los estadísticos de los resultados y la distribución espacial de los mismos para la zona de estudio, como así también las conclusiones del trabajo.

ABSTRACT

The present work uses the heights of the Digital Elevation Models (DEM) of the Radar Topographic Mission of the Space Shuttle (SRTM 90 m); of the advanced earth observation satellite (ALOS) mission, ALOS World 3D - 30 m (AW3D30) and of the satellite mission for digital elevation measurement TerraSAR-X (TanDEM-X) and compares them with the heights of the Argentine Geodesic Positions (POSGAR07) of the National Geographic Institute (IGN), applied to the province of Santiago del Estero. The methodology used consists of formulating the DEMs in terms of ellipsoidal heights (SRTMe, AW3D30e), this is achieved by adding the geoidal height of the Earth Gravitational Model (EGM96) to the SRTM and AW3D30 heights. The TanDEM-X Model is expressed in ellipsoidal heights. As a result, the errors arising from the height differences between SRTMe, AW3D30e and TanDEM-X and the heights of the geodetic network have been estimated. The RMS obtained for the mentioned DEMs are: 2.83 m; 1.95 m and 1.36 m, respectively. The statistics of the results and their spatial distribution for the study area are presented, as well as the conclusions of the work.

Palabras claves: (Modelo Digital de Elevación – SRTM – ALOS – TanDEM-X)

Keywords: (Digital Elevation Model – SRTM – ALOS – TanDEM-X)

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En diversas aplicaciones de las ciencias de La Tierra, es fundamental el conocimiento de las alturas. Desde el análisis de relieves para obras de ingeniería a correcciones gravimétricas con interés geofísico, la necesidad de contar con

alturas confiables representa una condición básica.

Sin embargo, el problema es conceptualmente profundo y es necesario distinguir entre diferentes tipos de alturas de carácter geométrico y físico. Por ejemplo, la información altimétrica inducida de los sistemas de satélites GNSS no es suficiente para la mayoría de las aplicaciones que

comprometen el escurrimiento de fluidos y otras magnitudes de la física terrestre. Pero si esa información se combina con un modelo de geoide compatible, es posible obtener alturas físicamente significativas.

Los modelos de elevaciones globales basados en interferometría de radar de apertura sintética, como el SRTM DEM 90 m y el TanDEM-X DEM 90 m, o en estereoscopia como AW3D30, representan una fuente accesible y relevante para disponer de alturas sobre una superficie de referencia física y sobre el elipsoide WGS84. Pero las precisiones son realmente variables sobre diferentes regiones del planeta. Por ello, en este trabajo se propone avanzar en el manejo de estos modelos y en el análisis de su comportamiento en la provincia de Santiago del Estero, Argentina.

1.2 Objetivo general y específicos

El objetivo general de este trabajo es analizar el comportamiento de los modelos de elevación digital SRTM DEM 90 m, AW3D30 y TanDEM-X DEM 90 m para la provincia de Santiago del Estero. Entre los objetivos específicos se adquiere el manejo de datos de los DEM y de modelos gravitacionales terrestres (EGM) provistos por organismos internacionales, como así también se analizan y aplican datos geodésicos provenientes de la Red POSGAR07 para la provincia de Santiago del Estero.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Zona de estudio

Para el desarrollo del presente trabajo se estudia una zona comprendida entre las latitudes de 25°30' S y 30° S y las longitudes de 61°30' O y 65° O, abarcando gran parte de la provincia de Santiago del Estero. La misma se caracteriza por la presencia de extensas llanuras, y zonas serranías hacia el noroeste, el oeste y el suroeste.

2.2 Descripción de las misiones satelitales

2.2.1 Misión SRTM

Las especificaciones principales de SRTM DEM 90 m se muestran en la Tabla 1 (Farr et al., 2007).

Tabla 1: Especificaciones del producto SRTM DEM.

Cobertura	60°N a 56°S
-----------	-------------

Banda	C
Técnica	InSAR
Resolución horizontal (m)	90
Sistema de referencia horizontal	WGS84
Superficie de referencia vertical	EGM96
Mosaico	5° x 5°
Celdas	6001 x 6001
Error de altura absoluta vertical (m)	< 16
Error de altura relativa vertical (m).	< 10
Error de geolocalización absoluta circular (m). Banda C	< 20
Error de geolocalización relativa circular (m). Banda C	< 15
El error de altura relativa. Banda X (m).	< 6

El Modelo Gravitacional Terrestre EGM96 (Lemoine et al., 1998), es la superficie física de alturas del SRTM DEM. (Centro Internacional de Modelos Globales de la Tierra, ICGM).

La misión SRTM operó como interferómetros de radar de una sola pasada, utilizando las bandas C y X. Cada uno de los dos radares SRTM estaba equipado con una antena principal de transmisión/recepción situadas en el transbordador y antenas adicionales de sólo recepción en el extremo de un mástil retráctil de 60 m (ver Fig. 1 y Fig. 2) (Farr et al., 2007, Rodríguez et al., 2005).

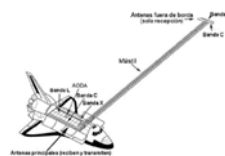


Figura 1. Componentes principales de SRTM.

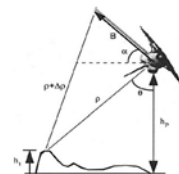


Figura 2. Geometría del interferómetro SRTM (no está en escala).

En la Tabla 2 se encuentran las especificaciones de la misión SRTM. (Farr et al., 2007, Rodríguez et al., 2005).

Tabla 2: Especificaciones de la misión SRTM.

Vehículo espacial	Transbordador Endeavour (NASA)
Tripulación (personas)	6
Fecha lanzamiento	11 febrero 2000
Duración misión (días)	10
Ancho de la cobertura de imagen ScanSAR (km)	225

Altura nominal (km)	233
Inclinación orbital	57°
Altura sobre el Ecuador (km)	218
Franjas discretas. Ancho (km)	50

Los datos han sido obtenidos en el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR).

2.2.2 La técnica

Las imágenes radar de dos antenas se adquieren simultáneamente y desde puntos de vista suficientemente cercanas, la fase de retrodispersión observada en ambas imágenes desde cada punto en el suelo será la misma. La diferencia de fase ($\Delta\phi$) entre cada punto de imagen será simplemente la diferencia del camino ($\Delta\rho$) entre las dos mediciones del punto. Si se conoce la posición de las dos antenas (la "línea de base interferométrica B"), las dimensiones del triángulo interferométrico se pueden determinar con precisión como así también la altura de un punto dado (ver Fig. 2) como se muestra en la ecuación (1). (Far et al., 2007; Rodriguez et al., 2000).

$$h_t = h_p - \rho \cos \cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{\lambda\phi}{2\pi B} \right) + \alpha \right] \tag{1}$$

En donde h_p es la altura de la plataforma (altura de la antena con respecto al elipsoide de referencia WGS84, ρ es la distancia entre el sensor y el punto objetivo, ϕ es la fase interferométrica medida, α es el ángulo de referencia (inclinación de la base), λ es la longitud de onda de observación, B es la longitud de la línea de base y θ es el ángulo de incidencia del haz o de visión.

2.2.3 ALOS. Satélite Avanzado de Observación de la Tierra

Las especificaciones principales del DEM AW3D30 se exponen en la tabla 3 (Tadono et al., 2014).

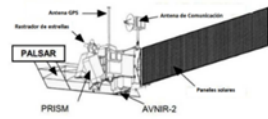
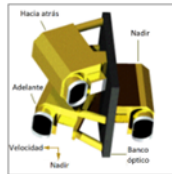
Tabla 3. Especificaciones del producto AW3D30.

Cobertura	60°N a 60°S
DSM liberado	Mayo 2016
Sensor	Radiómetro pancromático
Técnica	Imágenes estereoscópicas

Resolución horizontal (m)	30
Sistema de referencia horizontal	GRS80
Superficie de referencia vertical	EGM96
Mosaico	1º x 1º
Celdas	3600 x 3600
RMS esperado	4 a 5 m

Las principales características de la misión DAICHI se muestran en la Tabla 4 (Agencia de exploración aeroespacial de Japón, JAXA). La Fig. 3 y 4 muestran los sensores a bordo de la misión espacial.

Tabla 4. Especificaciones de la misión DAICHI.

Vehículo espacial	DAICHI (JAXA)
Lugar lanzamiento	Centro Espacial Tanegashima. Japón.
Fecha lanzamiento	24 de enero de 2006.
Duración misión	2006 a 2011
Sensores	PRISM (Instrumento Pancromático de Teledetección para Mapeo Estéreo)
	
<p>Figura 3. Descripción general del satélite ALOS.</p>	
Aplicación PRISM	Medición precisa de las elevaciones de la Tierra.
	
<p>Figura 4. Conjunto de telescopios del radiómetro PRISM.</p>	
Características de PRISM	
Número de bandas	1 (Pancromático)
Longitud de onda (µm)	0.52 a 0.77
Número de ópticas	3 (Nadir; Adelante; Hacia atrás)
Relación base-altura	1.0 (entre la vista hacia delante y hacia atrás)
Resolución espacial (m)	2.5 (en Nadir)
Ancho de swath (km)	70 km (solo Nadir) / 35 km (modo Triplet)

2.2.4 La técnica

PRISM es un radiómetro pancromático que opera en la región visible del infrarrojo cercano, y tiene tres telescopios para una vista hacia adelante, nadir y hacia atrás (ver Fig. 4). Por estereoscopia este instrumento mide la elevación precisa del suelo.

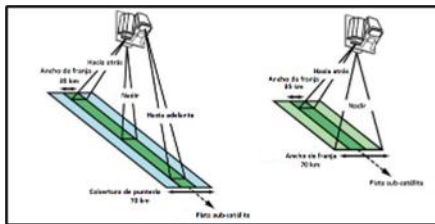


Figura 5. Geometrías de observación de PRISM. (Tadono et al., 2014).

Cada telescopio de PRISM tiene más de 70 km de campo de visión. El ancho de observación es de 35 km en el modo de observación normal con los tres telescopios. (Ver Fig. 5).

2.2.5 TanDEM-X

En las Tablas 5 y 6 se citan las especificaciones principales del TanDEM-X DEM y de la misión TanDEM-X (Krieger et al., 2012; Wessell et al., 2016).

Tabla 5. Especificaciones del producto TanDEM-X DEM.

Cobertura	90°N a 90°S
Banda	X
Técnica	InSAR
Resolución horizontal (m)	90
Sistema de referencia horizontal	WGS84
Sistema de referencia vertical	WGS84
Mosaico	1° x 1°
Celdas	3600 x 3600
Error de altura absoluta vertical (m)	< 10
Error de geolocalización absoluta circular (m).	< 10
El error de altura relativa. (m).	No está especificado

Tabla 6. Especificaciones de la misión TanDEM-X

Satélites	TanDEM-X y TerraSAR-X
Fecha lanzamiento	TanDEM-X (2010) y TerraSAR-X (2007)
Duración misión (días)	2007 a 2015
Orbita	Helicoidal
Separación entre satélites	120 a 500

(m)	
Ancho de pasada (km)	30
Altura nominal (km)	514
Inclinación orbital	97.4°

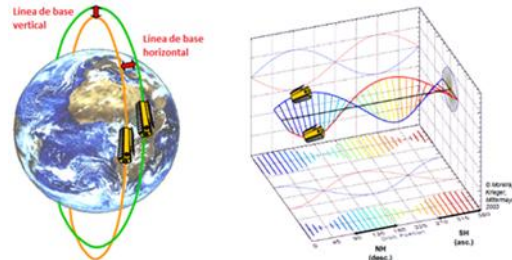


Figura 6. Formación de hélices satelitales para TanDEM-X.

En la Fig. 6 a la izquierda se muestra la ilustración de órbitas, mientras que a la derecha se observan las líneas de base transversales y radiales en función del argumento de la latitud. Las posiciones de latitud corresponden a una órbita completa.

2.2.6 La técnica

La adquisición de datos interferométricos con la formación de satélites TanDEM-X se logra mediante operaciones biestática, monostática y biestática alterna (ver Fig. 7). El modo biestático usa uno de los satélites como transmisor para iluminar una huella de radar común en la superficie de la Tierra. La señal dispersa es luego registrada por ambos satélites simultáneamente. (Krieger et al., 2012; Wessell et al., 2016).

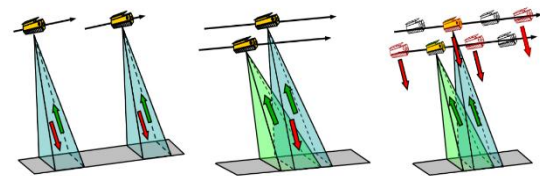


Figura 7. Modos de adquisición de datos para TanDEM-X.

2.3 Red POSGAR 07

La red POSGAR 07 es el Marco de Referencia Geodésico Nacional del IGN de la República Argentina. La red está referida a ITRF 05 Época 2006.632 compatible con el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) y responde a los más estrictos estándares de precisión y ajuste en vigencia. La provincia de Santiago del Estero cuenta con 81

puntos de la red POSGAR 07 con una precisión de $\pm 0,005$ m. (IGN).

2.4 Métodos

La metodología aplicada en el presente trabajo utiliza diferentes tipos de alturas de puntos situados sobre la superficie terrestre. Si la superficie de referencia depende de la gravedad, las alturas son físicas. En caso contrario son alturas geométricas.

Si se establece la posición de un punto P por medio de las coordenadas naturales o astronómicas Φ , Λ y H, se puede proyectar sobre el geode a lo largo de la línea (ligeramente curvada) de la plomada, la altura ortométrica H (ver Fig. 8). La altura ortométrica es la distancia entre el punto P sobre la superficie terrestre y su proyección P_0 sobre el geode, medida a lo largo de la línea de la plomada. Aunque este modo de proyección es completamente natural, el geode no es adecuado para realizar cálculos directamente en él, por lo tanto, el punto P_0 , se proyecta sobre el elipsoide de referencia, por medio de la normal al elipsoide, obteniendo así un punto Q_0 . De esta manera, el punto de la superficie terrestre P y el punto Q_0 correspondiente en el elipsoide están conectados por una proyección doble, es decir, por dos proyecciones que se desempeñan una a continuación de la otra y que son la altura ortométrica $H = PP_0$ y la altura del geode sobre el elipsoide $N = P_0Q_0$. Esta doble proyección se llama proyección de Pizzetti.

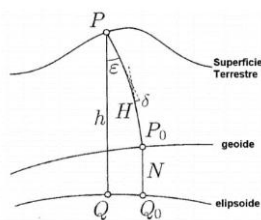


Figura 8. La proyección de Helmert y de Pizzetti. (Hofman-Wellenhof & Moritz, 2006).

Es más sencillo proyectar el punto P de la superficie topográfica directamente sobre el elipsoide a través de la normal elipsoidal, obteniendo así un punto Q. La distancia $PQ = h$ es la altura sobre el elipsoide. El punto P sobre la superficie terrestre es determinado por la altura elipsoidal h y las coordenadas elipsoidales de Q sobre el elipsoide, de modo que, las coordenadas elipsoidales ϕ , λ y h toman el lugar de las

coordenadas naturales Φ , Λ y H. Esta es la proyección de Helmert. La diferencia práctica entre las proyecciones de Pizzetti y de Helmert es pequeña (Hofman-Wellenhof & Moritz, 2006). La ecuación (2) es una aproximación en la que se desprecia el efecto de la desviación de la vertical y relaciona a la altura elipsoidal h con la altura ortométrica H, a través de la altura geoidal N (Hofman-Wellenhof & Moritz, 2006).

$$h = H + N \tag{2}$$

Se comparan las alturas de los DEM con las alturas de la red POSGAR 07. Se considera que la precisión de las coordenadas POSGAR 07 satisfacen el requisito de precisión en las posiciones (Felicísimo, 1994). Los Sistemas de referencia de los conjuntos de datos son consistentes. En relación con las superficies de referencia de las alturas, los DEM SRTM 90 m y ALOS DEM refieren sus alturas al Modelo Geopotencial EGM96, o sea son alturas físicas, mientras que las posiciones POSGAR 07 proporcionan alturas elipsoidales. Con la finalidad de comparar las alturas, respecto de la misma superficie de referencia, se han procesado los datos de SRTM DEM 90 m y AW3D30, para cada nodo de la grilla, para la obtención de las alturas elipsoidales, aplicando la ecuación 2. El modelo TanDEM-X DEM tiene sus coordenadas y alturas expresadas respecto del elipsoide de revolución WGS84, por lo que se comparan las alturas elipsoidales del mismo con las alturas elipsoidales POSGAR 07, sin procesamiento previo.

A continuación, se comparan las alturas elipsoidales de cada uno de los DEM con las alturas elipsoidales de los puntos POSGAR 07, usando la ecuación (3) (Felicísimo, 1994).

$$d^h = h^{DEM} - h^{POSGAR\ 07} \tag{3}$$

En donde d^h es la diferencia de alturas o error; h^{DEM} es la altura elipsoidal del DEM; $h^{POSGAR\ 07}$ es la altura elipsoidal de los puntos POSGAR 07.

Con la finalidad de analizar el comportamiento de la componente aleatoria de los DEM en la zona de trabajo se aplican los estadísticos: valor máximo, el valor mínimo, el promedio o error medio (EM) y el error cuadrático medio (ECM o RMS) (Felicísimo, 1999). También se aplica la desviación estándar (σ) que es una medida de

dispersión de los errores con respecto al valor promedio, como otro indicador de la precisión vertical del DEM (Rodríguez et al., 2005; Galván, L. 2014).

3. RESULTADOS

Se calcularon los errores para 71 puntos de la red POSGAR 07 y sus homólogos en los modelos, obteniendo los resultados en la Tabla 7, aplicando la ecuación (3). Del total de puntos POSGAR 07 disponibles para la provincia, no se han tenido en cuenta los puntos correspondientes a las estaciones permanentes, debido a que los instrumentos GPS se encuentran estacionados sobre las terrazas de los edificios gubernamentales y las alturas de las antenas no están publicadas. Los restantes puntos se encuentran al oeste de la provincia, en lugares fuera de los mosaicos procesados.

Tabla 7. Estadísticos.

Estadísticos (m)	SRTM DEM	AW3D30	TanDEM-X DEM
Promedio	2,20	1,52	0,07
Máximo	5,94	4,89	2,34
Mínimo	-6,74	-1,24	-6,87
σ	1,80	1,23	1,37
RMS	2,83	1,95	1,36

Se puede observar en la tabla 7 que TanDEM-X DEM presenta un promedio de 7 cm, el modelo AW3D30 1,52 m y SRTM DEM 2,20 m. El modelo TanDEM-X DEM es el que presenta el menor valor de error en promedio. El RMS para TanDEM-X DEM es de 1,36 m lo que pone de manifiesto que los errores grandes son escasos. El RMS para AW3D30 es de 1,95 m y de 2,83 para SRTM. Con respecto a la desviación estándar, AW3D30 mostró un valor de 1,23 m lo que muestra las menores dispersiones respecto del promedio. Los DEM SRTM y TanDEM_X, presentan un sigma de 1,80 m y 1,37 m respectivamente.

Se han calculado los histogramas de frecuencia para visualizar la distribución de los errores.

La Fig. 9 muestra el histograma de frecuencia de SRTM DEM. La distribución de puntos está centrada en el intervalo de [2 m; 3 m]. Se observa la presencia de un punto fuera de la distribución.

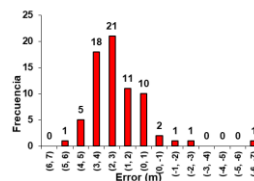


Figura 9. Histograma de frecuencia para SRTM DEM.

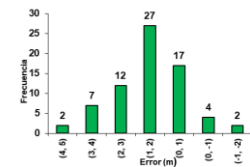


Figura 10. Histograma de frecuencia para AW3D30.

El histograma de frecuencia de AW3D30 se muestra en la Fig. 10. La distribución de los errores es más simétrica con respecto al valor central, que no coincide con el cero, sino esta desplazada hacia el intervalo [1 m; 2 m].

En el histograma correspondiente a TanDEM-X DEM (ver Fig. 11), se observa una distribución de los errores, en la que, la mayor cantidad de puntos se encuentra en el intervalo [0 m; -1 m]. La mayor cantidad de los puntos analizados se encuentran entre los intervalos positivos. También se observa la presencia de puntos fuera de la distribución.

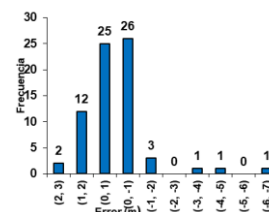


Figura 11. Histograma de frecuencia para TanDEM-X DEM.

La Fig. 12 muestra la dispersión de los errores respecto del promedio. En color rojo se presentan los errores entre los modelos: SRTM DEM (rojo), AW3D30 (verde), TanDEM-X (azul) y las alturas de la red geodésica. El conjunto de errores correspondiente al modelo TanDEM-X muestra la menor dispersión, respecto del promedio.

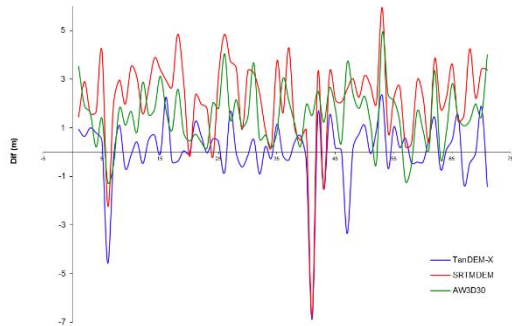


Figura 12. Diagrama de dispersión de los errores entre los modelos SRTM DEM, AW3D30, TanDEM-X DEM y las alturas POSGAR 07.

A continuación, se presentan los mapas de diferencias que muestran la distribución geoespacial de los errores en ubicación y magnitud.

En la Fig. 13 se observan las diferencias con respecto al modelo SRTM DEM, con un buen ajuste general para la provincia. Se distinguen diferencias mayores a 4 m en zonas ubicadas al noroeste en las Sierras de Medina, al oeste de las Sierras de Guasayán, al suroeste de la provincia, en las Sierras de Sumampa y Ambargasta y una zona al este, cercana a la localidad de Árbol Blanco (09-009). En la zona centro-norte y la zona sudoeste de la provincia se encuentran errores menores a 2 m en valor absoluto. Las restantes regiones muestran errores entre 2 y 4 m en valor absoluto.

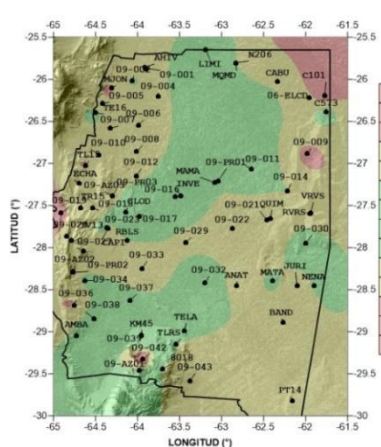


Figura 13. Mapa de diferencias de alturas entre SRTM DEM y POSGAR07.

Por su lado, en la figura 14 se observa el mapa de diferencias de alturas entre AW3D30 y POSGAR07. En el mismo se aprecia un mejor ajuste del DEM a la zona de estudio, en donde

solo hay errores mayores a 2 m en valor absoluto en el noroeste, en el oeste, sudoeste y noreste de la provincia.

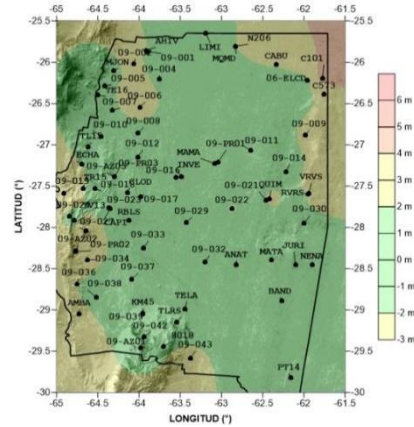


Figura 14. Mapa de diferencias de alturas entre AW3D30 y POSGAR07.

TanDEM-X DEM presenta en la Fig. 15, el mapa de diferencias de alturas con respecto a POSGAR07. El modelo TanDEM-X presenta muy buen ajuste en la zona de estudio. Los errores no superan los 2 m de altura, en toda la provincia. Sólo se observan pequeñas zonas en la que los errores superan los 2 m. Estas zonas están ubicadas en las Sierras de Sumampa y Ambargasta (sudoeste) y en la localidad de Monte Quemado, al norte de la provincia.

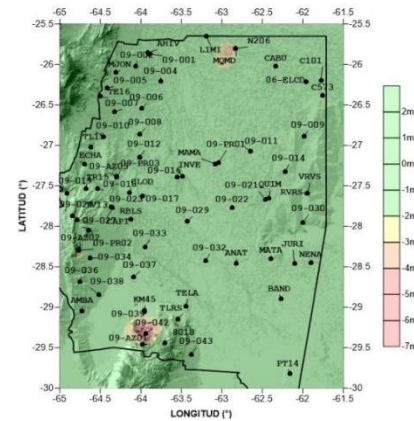


Figura 15. Mapa de diferencias de alturas entre TanDEM-X DEM y POSGAR07.

4. CONCLUSIONES

La desviación estándar para Sudamérica esperada para SRTM DEM se espera menor a 4,1 m y una precisión vertical absoluta menor a 16 m. El SRTM DEM presenta un sigma de 1,8 m y

errores menores a 4 m en la zona de estudio, por lo cual el DEM presenta un buen ajuste en la provincia de Santiago del Estero. La presencia de zonas de elevadas pendientes y suelos salinos introducen errores en la determinación final de las alturas del DEM. Las diferencias entre el modelo y las mediciones de campo son producto de errores interferométricos de la misión del transbordador, de las características topográficas y del tipo de cobertura del terreno.

El RMS esperado para el modelo AW3D30 es de 5 m. El RMS obtenido para la zona de estudio es de 1,95 m, lo que demuestra el buen ajuste de este modelo a la región. Los errores no sobrepasan los 4 m para casi toda la provincia. Una gran superficie de la zona de estudio tiene errores menores a 2 m. Los errores entre 2 m y 4 m están geolocalizados en resultados. Las razones de estos errores tienen que ver con la presencia de serranías y suelos salinos, eventualmente por errores estereoscópicos y/o cobertura de nubes.

Los errores esperados en altura para TanDEM-X son menores a 10 m. Los errores encontrados son menores a 2 m en la zona de estudio. El modelo TanDEM-X DEM presenta un muy buen ajuste en la provincia. Los errores mayores a 2 m y menores a 7 m son escasos y bien localizados. Uno de ellos por efectos de la pendiente y la presencia de suelos salinos. Este DEM opera en la banda X, que ya había mostrado mejores resultados en SRTM que trabajó con las bandas C y X. La banda X mostró evaluaciones más precisas. Asimismo, la misión satelital ha mejorado la obtención de los datos desde satélites gemelos con órbitas estables y distancia ajustable entre ellos.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de Ciencia y Tecnología (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

6. REFERENCIAS

DLR Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt. Centro Aeroespacial Alemán. “TanDEM-X. The Earth in three dimensions”. 2010.

Farr, T. G.; Rosen, P. A.; Caro, E.; Crippen, R., et al. “The Shuttle Radar Topography Mission”. Published 19 May 2007.

Felicísimo, A. M. “Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales”. 1994.

Galván, Lucrecia. “Análisis y Ajuste de Modelos Digitales de Elevaciones en la Región Central de la Argentina. Integración de Modelos Geopotenciales e Información Altimétrica Local”. 2014.

Hofman-Wellenhof & Moritz. *Physical Geodesy*. Springer Wien New York. 2006.

Japan Aerospace Exploration Agency. “ALOS Data User Handbook”. 2008.

Krieger, G.; Zink, M.; Schulze, D.; Hajnsek, I.; Moreira, A. “TanDEM-X: Mission Overview and Status”. 2012.

Lemoine, F.; Pavlis, N.; Rapp, R. “New high-resolution model developed for Earth's gravitational field”. 1998.

Rodríguez E.; Morris C. S.; Belz J.E.; Chapin E. C.; Martin J. M.; Daffer W.; Hensley S. “An Assessment of the SRTM Topographic Products”. JPL. Jet Propulsion Laboratory D-31639. NASA. 2005.

Tadono, T.; Ishida, H.; Oda, F.; Naito, S.; Minakawa, K.; Iwamoto, H. “Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM”. 2014.

Tadono, T., Nagai, H., Ishida H., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K., Iwamoto, H. *Generation of the 30 m-mesh global digital surface model by ALOS PRISM*. 2016.

Wessel, B. “TanDEM-X. Ground Segment. DEM Products Specification Document”. 2016.

Sistema Geodésico Mundial 1984. https://earthinfo.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr850_2.html. 28.8.2020.

Fuente de datos SRTM. <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> 28.8.2020

ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)". <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>. 28.8.2020.

Centro Internacional de Modelos Globales de la Tierra (ICGEM). <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>. 28.8.2020.

The TanDEM-X 90m Digital Elevation Model. <https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/>. 28.8.2020.

Instituto Geográfico Nacional. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Introduccion>. 28.8.2020.

Aplicación del Modelo Hidrológico SWAT a la Planificación Hídrica de Cuencas del NOA. Caso práctico: Cuenca Salí-Dulce.

Prieto Villarroya, Jorge^{1,2}; Farias, Hector Daniel¹; Van Meer, Howard³.

(1) *Instituto de Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

irhi.fceyt.unse@gmail.com

(2) *Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

(3) *Instituto de Tecnologías Agropecuarias. EEA INTA Santiago del Estero.*

RESUMEN

La Planificación Hídrica requiere conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca. En base a esta esta premisa, los modelos de Balance Hídrico constituyen el insumo prioritario, que posibilite poder establecer una planificación integrada y sustentable sobre el uso y distribución del recurso hídrico de la cuenca. En el presente trabajo se presenta la aplicación del Modelo Hidrológico SWAT, para un periodo de 50 años (1968-2017) con paso de tiempo mensual, la calibración se efectuó para un periodo de 12 años (1988-1999) y la validación para un periodo de 9 años (2000-2008). El modelo hidrológico aplicado demostró la capacidad de capturar, de una manera aceptablemente razonable, los procesos dominantes en las relaciones precipitación escorrentía (a nivel diario y mensual) en la cuenca alta del Sistema Fluvial Salí-Dulce. Ello se debe fundamentalmente al hecho de que fue posible conseguir una calibración satisfactoria del modelo SWAT en el “punto nodal” correspondiente a la presa de Río Hondo. Los indicadores de bondad de los ajustes (entre caudales “observados” y aquellos correspondientes a las predicciones del modelo) muestran valores relativamente satisfactorios de acuerdo a la bibliografía específica sobre el tema, y teniendo en cuenta la naturaleza (cantidad y calidad) de la información disponible.

ABSTRACT

Water Planning requires knowing the hydrological behavior of the basin. Based on this premise, the Water Balance models constitute the priority input, which makes it possible to establish an integrated and sustainable planning on the use and distribution of the water resource of the basin. In the present work the application of the SWAT Hydrological Model is presented, for a period of 50 years (1968-2017) with a monthly time step, the calibration was carried out for a period of 12 years (1988-1999) and the validation for a 9-year period (2000-2008). The applied hydrological model demonstrated the ability to capture, in an acceptably reasonable way, the dominant processes in the precipitation-runoff relationships (daily and monthly) in the upper basin of the Salí-Dulce Fluvial System. This is mainly due to the fact that it was possible to achieve a satisfactory calibration of the SWAT model at the “nodal point” corresponding to the Rio Hondo dam. The indicators of the goodness of the fits (between “observed” flows and those corresponding to the model's predictions) show relatively satisfactory values according to the specific bibliography on the subject. taking into account the nature of the information available.

Palabras claves: Grandes Cuencas – Balance Hídrico – Planificación Hidrológica – Modelización Hidrológica

Keywords: Large Watersheds – Water Balance – Water Management – Hydrologic Modelling

1. INTRODUCCIÓN

Para la Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Salí-Dulce resulta imprescindible conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca, la producción de sedimentos que esta genera y, si fuera posible, la calidad de las aguas que por ella escurren y sus materiales transportados.

Bajo estas premisas, los modelos de Balance Hídrico constituyen un insumo prioritario, para poder establecer una planificación integrada y sustentable sobre el uso y distribución del recurso hídrico de una cuenca.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene por objeto describir las experiencias adquiridas y resultados obtenidos a través de la aplicación del Modelo SWAT como elemento vertebrador para la Planificación de la Cuenca Salí-Dulce.

El modelo SWAT se aplica para predecir el efecto en la toma de decisiones en el manejo de la producción de agua, sedimentos, nutrientes y pesticidas con razonable precisión, en cuencas pobremente instrumentadas (Arnold et al., 1987), caso típico en Latinoamérica.

Los sub-modelos o módulos que forman parte de SWAT se pueden agrupar en climáticos, hidrológicos, de erosión, de nutrientes, agrícolas y urbanos. El módulo principal, que sirve de sustento a todos los demás, es el hidrológico, lo que significa que cualquier error en su calibración puede comprometer todos los resultados posteriores obtenidos con el resto de módulos (Figura 1). Es por este motivo por el que en el presente trabajo se hace especial hincapié en el procedimiento seguido para la validación y calibración del modelo, lo que resultó especialmente significativo por la dificultad que implica la escasez y heterogeneidad de la información disponible en la cuenca Salí-Dulce, altamente compleja, y uno de los principales sistemas endorreicos argentinos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo numérico hidrológico desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Investigación Agrícola (ARS). Es un modelo de tiempo continuo, semi-distribuido, diseñado para predecir

el impacto del uso y manejo del suelo, el agua, sedimentos y productos químicos agrícolas en las cuencas hidrográficas.

El modelo SWAT subdivide a la cuenca en múltiples subcuencas, que a su vez se subdividen en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs por sus siglas en inglés), que conforman unidades homogéneas en cuanto a uso de la tierra, topografía y características hidrológicas del suelo. Los principales datos empleados en el modelo son información hidrometeorológica (precipitación, temperatura mín./máx., humedad, radiación y velocidad de viento), usos de suelo, modelo digital de elevaciones y tipología de suelos.

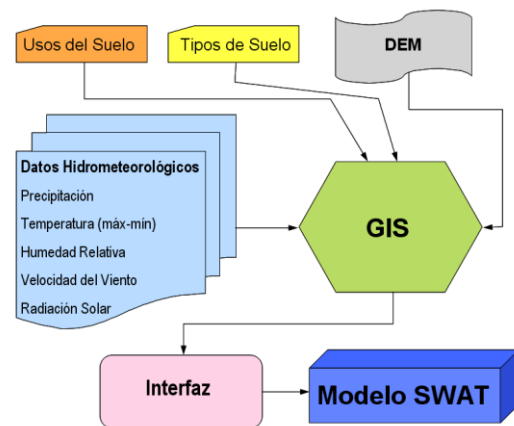


Figura 1: Datos de entrada para reproducir procesos del balance hídrico por medio del Modelo SWAT en la cuenca Salí-Dulce.

Respecto al primero de los insumos (información hidrometeorológica), pudo constatar que una de las limitaciones que tiene la cuenca Salí-Dulce es la carencia de registros pluviométricos con una adecuada distribución espacial. Por ello, se procedió a analizar diferentes tipos de re-análisis con el fin de utilizar sus datos pluviométricos en lugares donde existe escasez de datos. Los re-análisis proporcionan instantáneas integrales de las condiciones climáticas en intervalos regulares durante largos períodos de tiempo, a menudo años o décadas. Se basan tanto en observaciones como en modelos de pronósticos que estiman condiciones climáticas.

La cuenca del Sistema Salí-Dulce tiene tres sectores bien diferenciados: (i) el de su cuenca de aporte (ó “Cuenca Superior”, tal como se denominará en el presente estudio), en las provincias de Tucumán, Salta y Catamarca, constituida por afluentes que en su mayoría descienden desde el faldeo oriental de las sierras

Calchaqués y del Aconquija. El límite inferior de la cuenca superior lo constituye la presa de Río Hondo, en donde se considera que se inicia el Río Dulce. (II) El otro sector de la cuenca lo constituye la zona de llanura, patrón con el cual el Río Dulce ingresa en la provincia de Santiago del Estero, donde no recibe prácticamente ningún afluente. La “Cuenca Media” se considera que se extiende desde Río Hondo hasta la sección de bifurcación del Río Dulce, y nacimiento del Saladillo del Rosario. En efecto, ello ocurre aguas abajo de las ciudades de Santiago del Estero y La Banda, a unos 120 km aproximadamente, donde en proximidades de la localidad denominada Los Tolosa, el curso principal se bifurca en dos. (iii) A partir de esta bifurcación, el curso adquiere una pendiente extremadamente suave y una capacidad de conducción limitada, dispersando sus aguas de creciente en una vasta zona de bañados, sistemas lagunares, paleo-cauces, de las cuales rebasa en épocas de abundancia de agua, llegando entonces a la gran depresión cerrada de Mar Chiquita (Ansenusa) en la provincia de Córdoba.

Para el modelo se valoraron tres tipos de re-análisis, que se describen a continuación:

(1) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR): Es un sistema de pronóstico del clima desarrollado por National Centers for Environmental Prediction (NCEP) de Estados Unidos (Saha et al., 2010). El CFSR incluye (1) acoplamiento de la atmósfera y el océano durante la generación del campo de prueba de 6 horas, (2) un modelo interactivo de hielo marino y (3) asimilación de radiación de satélite. Tiene una resolución de ~ 38 km con 64 niveles. El océano global tiene una resolución de 0.25 ° en el ecuador, extendiéndose a 0.5 ° global más allá de los trópicos, con 40 niveles. El modelo global de superficie terrestre que tiene 4 niveles de suelo y el modelo global de hielo marino tiene 3 niveles. El modelo atmosférico CFSR contiene variaciones observadas en el dióxido de carbono (CO₂), junto con cambios en gases traza y variaciones solares.

(2) Climatic Research Unit (CRU): Es un re-análisis desarrollado por la Universidad de East Anglia. Los datos disponibles corresponden a numerosos parámetros meteorológicos, con promedios diarios y mensuales. La desagregación temporal es de 6 horas. Generalmente se extienden desde el presente hasta 1948, y cubren todo el mundo (Harris et al., 2014).

(3) The Physical Sciences Division (PSD): Este re-análisis es desarrollado por el Earth System

Research Laboratory (ESRL) que hace parte The National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos. Estos datos se utilizan principalmente para medir las interacciones entre el océano y la atmósfera. Los datos (grillados) son tomados a partir de observaciones diarias provenientes de estaciones meteorológicas en Sudamérica, que fueron generadas en cada punto promediando las observaciones cercanas dentro de un determinado radio. Los puntos que no disponen observaciones cercanas se definen como datos faltantes. Los datos del PSP no son representativos en las zonas montañosas por escasez de observaciones in situ (Ault et al., 2013).

Para analizar su comportamiento y representatividad, se utilizó una serie de 13148 datos de precipitación diaria sin datos faltantes desde 1979-2014 de dos estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la cuenca. Una estación ubicada en zona llana [Tucumán Aéreo (SMN)] y otra ubicada en zona de montaña [Potrero de Clavillo (EVARSA)]. Para analizar el ajuste de los re análisis para representar la precipitación observada se utilizaron diferentes estadísticos como Nash-Sutcliffe (NS) coeficiente de determinación (R²) y sesgo porcentual (P_{BIAS}). En base a ello, pudo concluirse que los mejores resultados obtenidos corresponden al re-análisis PSD.

Tabla 1.- Estadísticos calculados para cada re-análisis.

Re-análisis	Estadístico	Tucumán Aéreo (SMN)	Potrero del Clavillo (EVARSA)
CFSR	R ²	0,00	0,06
	NS	-0,34	-0,09
	P _{BIAS}	28,70	63,32
CRU	R ²	0,60	0,02
	NS	0,60	-0,07
	P _{BIAS}	14,21	65,71
PSD	R ²	0,70	0,04
	NS	0,67	-0,45
	P _{BIAS}	-11,64	-5,94

SWAT requiere como dato de entrada el cálculo de estadísticos climáticos para crear la base datos de clima. Para el cálculo de estos estadísticos se utilizaron finalmente 18 estaciones con una serie de 50 años de datos diarios desde el 01/1/1968 al 31/12/2017. De las 18 estaciones utilizadas, 14

correspondieron a estaciones hidrometeorológicas tradicionales y las 4 restantes a re-análisis. A partir de estos datos tabulados se calcularon los estadísticos climáticos por medio de una matriz creada en *MS ACCESS*® para cada estación.

Como insumo topográfico se utilizó el modelo de elevación digital (MDE) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Este MDE creado por un proyecto cooperativo entre la administración espacial y aeronáutica nacional de Estados Unidos (NASA) y la agencia de imágenes y cartografía nacional (NIMA) del departamento de defensa de Estados Unidos. La misión fue diseñada para utilizar un interferómetro de radar, para producir un modelo de elevación digital de la superficie de la tierra entre aproximadamente 60° N y 56° S, lo que representa alrededor del 80 por ciento de la masa terrestre del planeta (Rabus et al., 2003). Esta misión se llevó a cabo durante 11 días del mes de febrero del 2000. Este MDE tiene una referencia espacial de 1 segundo de arco (~ 30 m), y tiene una precisión vertical ± 16 metros (Gesch, 2006; Kelldorfer et al., 2004; Sun et al., 2003).

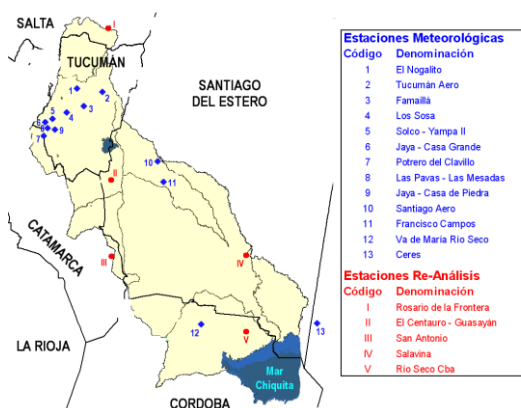


Figura 2: Estaciones en la Cuenca Salí-Dulce.

El MDE SRTM tiene una referencia horizontal elipsoidal en WGS84 y el datum vertical es EGM08 que es de tipo geoidal. Este modelo fue descargado del link <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Al MDE utilizado se le realizó un reacondicionamiento para que represente adecuadamente el flujo superficial hacia las redes de drenaje existentes en la cuenca Salí-Dulce. Esto se logró por medio de la digitación de la red drenaje a escala de detalle por medio de una imagen satelital de alta resolución espacial. Luego se implementaron dos algoritmos denominados como “DEM Reconditioning” y “Burnstream”. Estas técnicas permiten corregir

los patrones de drenaje derivados de los MDE, minimizando el impacto de los errores topológicos. En la Fig. 2 se presenta un mapa de la cuenca y las estaciones usadas.

A partir del MDE mediante la herramienta QSWAT, pudo calcularse la dirección y acumulación de flujo agua y a partir de este resultado, delimitar la cuenca, subcuencas, y red de drenaje, así como también calcular área, perímetro, rangos de pendiente (%), y parámetros morfométricos de la cuenca y del cauce para el cálculo del transporte hidráulico en la Cuenca.

La información incorporada al modelo incluyó tanto el análisis y actualización de cartografía de usos de suelo como de tipos de suelo presentes en la cuenca, incorporando al modelo las funciones de pedo-transferencia calculadas para cada horizonte de cada tipo de suelo de la cuenca.

En base a la información anterior, se realizó una discretización espacial, estableciendo un umbral 50000 ha, desagregando a la Cuenca Salí-Dulce (de 87050 km²) en 98 subcuencas (Fig. 3).

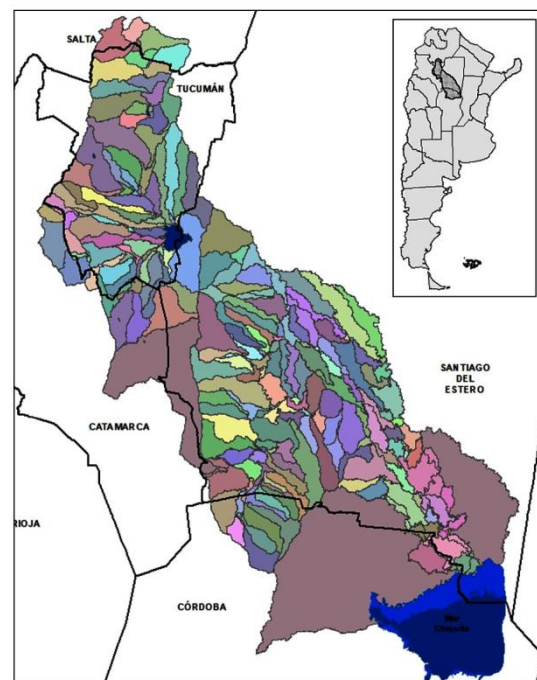


Figura 3: Desagregación en Subcuencas de la Cuenca Salí-Dulce.

El modelo también contempló la inclusión de tres mayores embalses presentes en la cuenca: Río Hondo, Cadillal y Escaba (Fig. 4), requiriendo información de caudales de entrada/salida para

cada uno de ellos y la caracterización de su geometría y órganos de descarga.

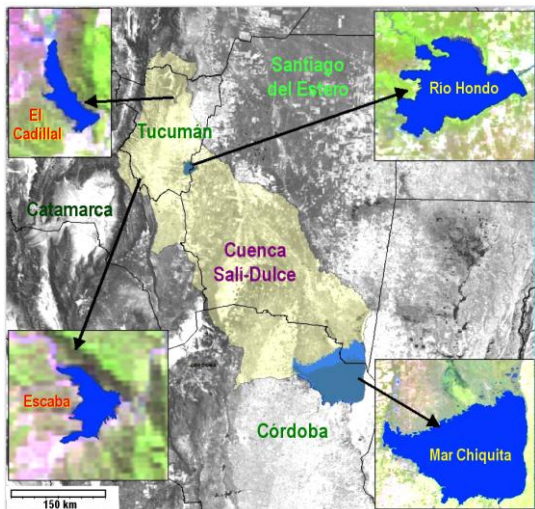


Figura 4: Principales cuerpos de agua de la cuenca, incorporados al Modelo Salí-Dulce.

El modelo SWAT realiza una estimación diaria del estado del volumen del reservorio, para ello se debe definir el área superficial en dos volúmenes de agua diferentes. Las variables que se refieren al vertedero principal se pueden considerar como variables que se refieren al volumen normal de almacenamiento del reservorio, mientras que las variables que se refieren al aliviadero de emergencia se pueden considerar como variables que se refieren al volumen máximo de almacenamiento del reservorio.

Las principales variables de caracterización que el modelo requiere para la incorporación de cada uno de los reservorios son: Área del reservorio, se refiere al área cuando el depósito se llena hasta el aliviadero de emergencia (ha), Área superficial del reservorio cuando el reservorio se llena hasta el vertedero principal (ha), Volumen de agua necesario para llenar el reservorio hasta el aliviadero de emergencia, Volumen de agua necesario para llenar el reservorio hasta el vertedero principal,

Volumen inicial del reservorio, Conductividad hidráulica del fondo del reservorio, manejo del reservorio (controlado o no controlado), fecha de entrada en operación, tiempo de llenado y caracterización de la temporada de inundaciones.

4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

La modelación en la cuenca Salí-Dulce se realizó para un periodo de 50 años (1968-2017) con paso

de tiempo mensual, la calibración se efectuó para un periodo de 12 años (1988-1999) y la validación para un periodo de 9 años (2000-2008). Se tomó un periodo de calentamiento de 20 años (1968-1987) para la estabilización de las condiciones iniciales del contenido de agua en el suelo en la cuenca.

La calibración de los parámetros que controlan el movimiento de agua superficial y subterránea se realizó a través del programa SWAT-CUP con el algoritmo de ajuste de incertidumbre secuencial “SUFI” (Abbaspour, 2004).

El análisis realizado permitió jerarquizar la secuencia de la calibración a fin de representar las condiciones físicas naturales existentes en la cuenca. A partir de ello se confirmó la importancia de 28 parámetros.

Los parámetros de mayor repercusión en el ajuste del modelo SWAT para la cuenca Salí-Dulce, son los que controlan el movimiento vertical de agua en el reservorio, número de curva, capacidad de agua disponible en la capa de suelo, la longitud de la pendiente, tiempo de retardo de la escorrentía superficial, flujo base, rugosidad en el cauce, percolación hacia el acuífero y la conductividad hidráulica efectiva en el cauce principal.

Los parámetros que mostraron una mayor sensibilidad, fueron aquellos que controlan la evaporación en el reservorio (WURCH), el tránsito o ‘ruteo’ (routing) de agua en superficie (SLSUBBSN y SURLAG) y la descarga de agua subterránea (ALPHA_BF). En total se consideraron en la calibración 28 parámetros (Fig. 5) considerando en cada uno de ellos, el valor del modelo, valor calibrado y variabilidad de los rangos de los parámetros.

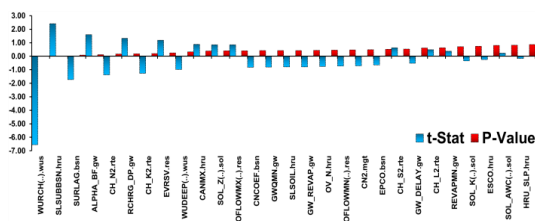


Figura 5: Análisis de Sensibilidad del Modelo

El modelo representó adecuadamente los procesos de flujo mensual (Tabla 2), ya que se considera que valores >0,65 del coeficiente de Nash-Sutcliffe, porcentajes ±10 % de PBIAS y valores >0,7 de R², indican una muy buena calibración/validación del modelo para la cuenca.

Tabla 2.- Análisis de Caudales observados vs calculado

Período	R ²	Nash	P _{BIAS} (%)
Calibración (1988 - 1999)	0.71	0,70	10
Validación (2000 - 2008)	0.69	0.68	5

Asimismo, se muestra una regresión lineal entre los caudales calculados por el modelo SWAT y observados para el punto de control “Embalse Río Hondo” (Figura 6) en el periodo de calibración.

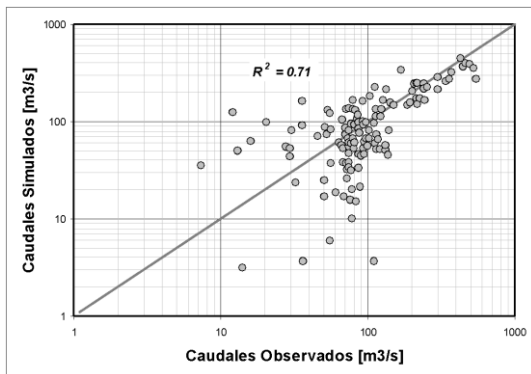


Figura 6.- Regresión lineal entre caudales calculados vs caudales observados en Río Hondo.

5. CONCLUSIONES

El modelo SWAT representa adecuadamente los caudales para periodos secos con ligeras subestimaciones en los periodos de calibración (10%) y validación (5%) respectivamente.

Asimismo, el modelo fue capaz de capturar satisfactoriamente el efecto de la regulación que el embalse de Río Hondo ejerce sobre las descargas originadas en los embalses de Escaba y El Cadillal (Fig. 4). El valor de R² fue de 0.71

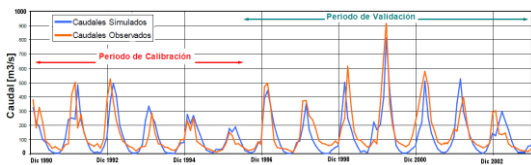


Figura 7.- Hidrograma mensual calculado (azul) y observado (rojo) para el punto de control “Embalse Río Hondo” (Periodo 1988-2008)

A nivel de Balance Hídrico Anual se observa cómo el modelo representa adecuadamente periodos húmedos, como el representado por los años 1990, 1992, 2000, 2001 y 2002. De igual modo, para los periodos secos que se presentaron en los años 1988,1995, 2004, 2005, 2008 y 2013 las simulaciones también resultaron satisfactorias.

A nivel de Balance Hídrico Promedio Mensual los resultados muestran a los meses de julio y agosto como proclives a sufrir déficit hídrico en la cuenca debido a que la evapotranspiración es más alta, y las precipitaciones son ínfimas en vastos sectores de la cuenca. En cuanto a los meses de exceso hídrico, se observa que los mismos se presentan principalmente en la temporada estival, de diciembre a abril, en concordancia con los patrones de comportamiento observados en los datos (estimaciones) de caudal disponibles en algunos sectores de la cuenca.

En ambos gráficos, correspondientes al punto de control, se muestra en el eje principal recarga (rojo), escurrimiento superficial (verde) y descarga de agua subterránea (violeta). En el eje secundario precipitación (azul), evapotranspiración real (naranja) y humedad del suelo (amarillo)

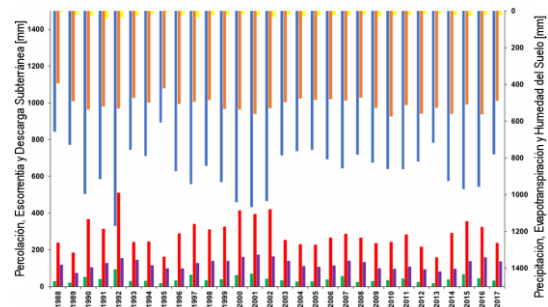


Figura 8.- Balance Hídrico Anual (1988 – 2008).

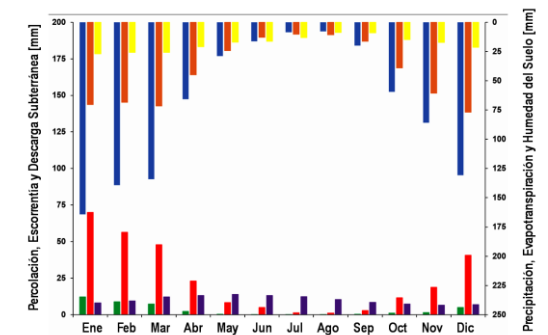


Figura 9.- Balance Hídrico Promedio Mensual (1988 – 2008).

Los resultados del modelo, también fueron visualizados a nivel de subcuenca, mediante mapas representativos de valores promedio anual (1988 - 2017) (mm) de precipitación, escurrimiento (Fig 10), percolación y evapotranspiración.

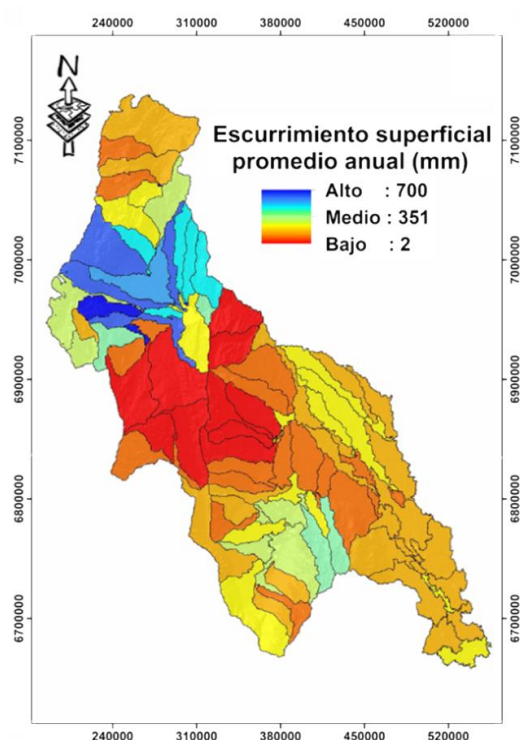


Figura 10.- Balance Hídrico Promedio Anual desagregado a nivel de sub-cuencas.

Finalmente, se llevaron a cabo las Jornadas de Capacitación y Transferencia de Modelos Hidrológicos y de Gestión Hídrica. Las mismas se efectivizaron a través de un previo proceso de coordinación con el Comité Interjurisdiccional de Cuenca y las reparticiones provinciales y administración nacional.

El objetivo general de las Jornadas fue el de transferir los modelos implementados para la cuenca Salí-Dulce al Comité Interjurisdiccional de la Cuenca Salí – Dulce, y a representantes de las provincias. De este modo pudo realizarse la transferencia de tecnología y las características fundamentales de los modelos (SWAT y modelo de Gestión) como una herramienta para la simulación hidrológica de cuencas y para la planificación y el manejo de los recursos hídricos.



Figura 11.- Capacitación y transferencia del modelo al organismo de cuenca.

Como conclusión final, el modelo hidrológico aplicado ha sido capaz de capturar, de una manera aceptablemente razonable, los procesos dominantes en las relaciones precipitación escurrimiento (a nivel diario y mensual) en la cuenca alta del Sistema Fluvial Salí-Dulce. Ello se debe fundamentalmente al hecho de que ha sido posible conseguir una calibración satisfactoria del modelo SWAT en el “punto nodal” correspondiente a la presa de Río Hondo.

Los indicadores de la bondad de los ajustes (entre caudales “observados” y aquellos correspondientes a las predicciones del modelo) muestran valores relativamente satisfactorios de acuerdo a la bibliografía específica sobre el tema. Esos indicadores, tanto el coeficiente de correlación (R^2) y el factor de Nash & Sutcliffe [$r_{(NS)}$] mostraron en el nodo Río Hondo valores muy aceptables (mayores a 0.7 en ambos casos), teniendo en cuenta la naturaleza de la información disponible para su implementación y calibración.

Los parámetros resultantes de la calibración estuvieron fuertemente condicionados por la calidad y cantidad de información disponible para ello. Cuando se refiere a “caudales observados”, téngase en cuenta que ningún caso se trata de caudales “medidos” en estaciones de aforo (tanto aguas arriba como aguas abajo de los embalses), sino que corresponden a datos de caudal resultantes de inferencias basadas en una serie de hipótesis de confiabilidad dudosa.

6. REFERENCIAS

Abbaspour KC (2009). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT, version

2. Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Suiza. 95 pp.
- Arnold, J. G., Fohrer, N., 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes: An International Journal*. 19(3), 563-572. <https://doi.org/10.1002/hyp.5611>.
- Arnold, J. G., Gassman, P. W., White, M. J., 2010. New developments in the SWAT ecohydrology model. In *21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings*, 21-24 February 2010, Universidad EARTH, Costa Rica. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Arnold, J. G., Williams, J. R., 1987. Validation of SWRRB—simulator for water resources in rural basins. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 113(2), 243-256.
- Arnold, J. G., Williams, J. R., Srinivasan, R., King, K. W., Griggs, R. H., 1994. SWAT: Soil and water assessment tool. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, TX, 494.
- Ault, T. R., Deser, C., Newman, M., Emile - Geay, J., 2013. Characterizing decadal to centennial variability in the equatorial Pacific during the last millennium. *Geophysical Research Letters*. 40(13), 3450-3456. <https://doi.org/10.1002/grl.50647>.
- Gesch, D. B., Muller, J., Farr, T. G., 2006. The Shuttle Radar Topography Mission-Data Validation and Applications. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72, 233-235.
- Harris, I. P. D. J., Jones, P. D., Osborn, T. J., Lister, D. H., 2014. Updated high - resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International journal of climatology*, 34(3), 623-642. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>.
- Kelldorfer, J., Walker, W., Pierce, L., Dobson, C., Fites, J. A., Hunsaker, C., Clutter, M., 2004. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. *Remote Sensing of Environment*. 93(3), 339-358. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.017>.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of hydrology*. 10(3), 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
- Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R., 2005. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (V2005).
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R., 2003. The shuttle radar topography mission a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 57(4), 241–262. [Doi:10.1016/S0924-2716\(02\)00124-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00124-7).
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H. L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., ... Liu, H., 2010. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 91(8), 1015-1058. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>.
- Sun, G., Ranson, K., Kharuk, V., Kovacs, K., 2003. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. *Remote Sensing of Environment*. 88(4), 401-411. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.09.001>.
- Troin, M., Vallet-Coulomb, C., Piovano, E., Sylvestre, F., 2012. Rainfall–runoff modeling of recent hydroclimatic change in a subtropical lake catchment: Laguna Mar Chiquita, Argentina. *Journal of hydrology*. 475, 379-391. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10>.

Utilización de instrumental tecnológico para el monitoreo de las variaciones piezométricas en el acuífero aluvial de la quebrada del río Pomán – Catamarca - Argentina

Tálamo, Esteban¹, Vilches Fátima¹, Díaz Ramos Federico¹ y Morales Gustavo¹

(1) *Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.*
esteban.talamo@gmail.com

RESUMEN

El monitoreo de variables naturales que podrían ser muy sensibles a los cambios normales que ocurren en una cuenca hidrológica, requiere de un programa de mediciones frecuentes y sistemáticas para lograr rigor científico. Tal es el caso de las variaciones piezométricas que tendría el acuífero aluvial desarrollado en la quebrada del río Pomán, en el faldeo oriental de la sierra de Ambato. Los escasos recursos económicos disponibles en materia de investigación, impiden diagramar viajes frecuentes a la zona de estudio, como para lograr registros temporales suficientes, del comportamiento de esta variable. Ante esta situación se emplea un instrumental tecnológico, que tiene la particularidad de poder medir en tiempos programados los datos y almacenarlos en una memoria interna para su posterior descarga. En esta contribución se describe el sensor de presión hidrostática, su programación, instalación, descarga de datos y se muestran los resultados obtenidos entre abril de 2019 y febrero de 2020, advirtiendo un interesante comportamiento del nivel piezométrico, que demuestra la efectividad del instrumento y posibilita una correcta interpretación de los fenómenos naturales que explicarían esas variaciones.

ABSTRACT

The monitoring of natural variables that could be very sensitive to the normal changes that occur in a hydrological basin, requires a program of frequent and systematic measurements to achieve scientific rigor. Such is the case of the piezometric variations that the alluvial aquifer developed in the ravine of the Pomán river, on the eastern slopes of the Sierra de Ambato would have. The scarce economic resources available in research matters prevent the planning of frequent trips to the study area, in order to achieve sufficient temporal records of the behavior of this variable. In this situation, a technological instrument is used, which has the particularity of being able to measure the data in programmed times and store them in an internal memory for later downloading. This contribution describes the hydrostatic pressure sensor, its programming, installation, data download and shows the results obtained between April 2019 and February 2020, noting an interesting behavior of the piezometric level, which demonstrates the effectiveness of the instrument and enables a correct interpretation of the natural phenomena that would explain these variations.

Palabras claves: Registrador de nivel, acuífero, variaciones

Keywords: Level recorder, aquifer, variations

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática abordada

El presente trabajo constituye una de las etapas metodológicas planteadas en el Proyecto de Investigación de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Catamarca denominado: “Variaciones de niveles

piezométricos en el subálveo del río Pomán, una metodología para entender el aporte a la recarga del sistema acuífero de Pipanaco”, en el cual se busca determinar procesos de recarga al sistema acuífero regional del Salar de Pipanaco.

La recarga de un acuífero es una de las componentes que surge del balance hidrológico global, con mayor incertidumbre en regiones

áridas. La cuenca hídrica del río Pomán, colecta las aguas del faldeo occidental de la sierra de Ambato y las conduce por su colector principal hasta abandonar el sistema serrano. Es en este sitio, donde se investiga la existencia de un flujo subterráneo pasante por las facies acuíferas aluviales, transfiriendo luego agua al Sistema Acuífero Regional de Pipanaco, Tálamo (2019). La cuantificación del flujo pasante por subálveo, requiere del conocimiento del gradiente hidráulico, el espesor de la zona saturada y por ende, de las variaciones de los niveles piezométricos en las distintas estaciones del año. Las variaciones de niveles piezométricos, solo pueden ser registradas tomando una cantidad de datos de niveles estáticos, medidos en los pozos existentes en la zona de estudio. Estos datos deberían ser sistemáticos y con una frecuencia diaria, para lograr advertir pequeñas variaciones o tendencias que puedan explicarse con el comportamiento del entorno: variación de caudales superficiales, precipitaciones ocurridas en la alta cuenca, etc.

Ante la imposibilidad de realizar campañas diarias al sitio estudiado, por cuestiones de distancia, logística y presupuestarias, se decidió emplear una tecnología que permite la medición de cargas hidráulicas en una perforación mediante un instrumento especial (también conocido como level logger, o diver o data logger), que almacena los datos en una memoria interna para su posterior descarga.

1.2 Objetivos

El principal objetivo del trabajo, es mostrar la tecnología empleada para el registro frecuente de niveles piezométricos, explicando su funcionamiento, programación, instalación, descarga y procesamiento de los datos almacenados.

En esta contribución se muestran los datos logrados entre abril de 2019 y febrero de 2020, constituyendo este segmento de tiempo, un parcial de los dos años que se pretenden medir en el marco del proyecto de investigación.

Las variaciones de nivel, serán indicadoras del espesor del acuífero estudiado y por ende de la sección de flujo subterráneo, por el cual se transfiere agua desde el ambiente montañoso al piedemonte occidental de la sierra de Ambato.

1.3 Ubicación

La zona de estudio se encuentra ubicada en el faldeo occidental de la sierra de Ambato, entre las coordenadas 28° 23' 52.54" latitud Sur y 66° 12' 9.75" longitud Oeste (extremo Norte), y 28° 24' 46.78" latitud Sur y 66° 12' 9.06" longitud Oeste (extremo Sur), en el departamento Pomán, Provincia de Catamarca. Ver Fig. 1.

1.4 Funcionamiento de los registradores o "Divers"

Los manuales de los sensores empleados describen que "La sonda es una registradora de datos diseñada para medir la presión y la temperatura del agua. Una vez tomadas, las mediciones se almacenan en su memoria interna. La sonda incluye un sensor de presión, diseñado para medir la presión del agua, un sensor de temperatura y una batería que hace funcionar el sistema electrónico, encargado de recopilar y almacenar las mediciones. La sonda es una registradora de datos autónoma que el usuario puede programar y su carcasa está totalmente sellada. La comunicación entre las sondas y los ordenadores portátiles y dispositivos de campo se basa en la comunicación óptica. Las sondas miden la presión absoluta, lo que significa que el sensor de presión no solo mide la presión del agua, sino también la presión que el aire ejerce sobre su superficie. Si la presión del aire varía, la presión medida del agua también variará, pero no así el nivel del agua." La presión del aire puede medirse con una sonda barométrica para su posterior compensación. Posteriormente se utiliza un software especial para convertir las lecturas de presión, en nivel del agua.

2 METODOLOGÍA

2.1 Programación e instalación de Divers

Para la medición de las variaciones del nivel piezométrico se programaron los divers (tanto el que registra niveles bajo agua como el que registra la presión atmosférica en superficie) para adquirir un dato cada hora. Para esta etapa se emplea el software Diver Office y la interfaz óptica que comunica el ordenador con el instrumento de medición.

Posteriormente se procedió a instalar los divers en el Pozo N° 3 de la quebrada de Pomán (ver Fig.1 y Fig.5). El sensor de medición de niveles

hidráulicos se colocó a una profundidad de 14 mbbp (metros bajo boca de pozo), sostenido mediante un cable de acero. Estos dispositivos se sumergen en el interior del pozo y miden mediante una membrana, la presión hidrostática, almacenando en su memoria la altura de agua existente sobre el instrumento (ver Fig. 3 y 4)

El Diver de medición barométrica, quedó instalado en el gabinete del tablero eléctrico de la bomba.

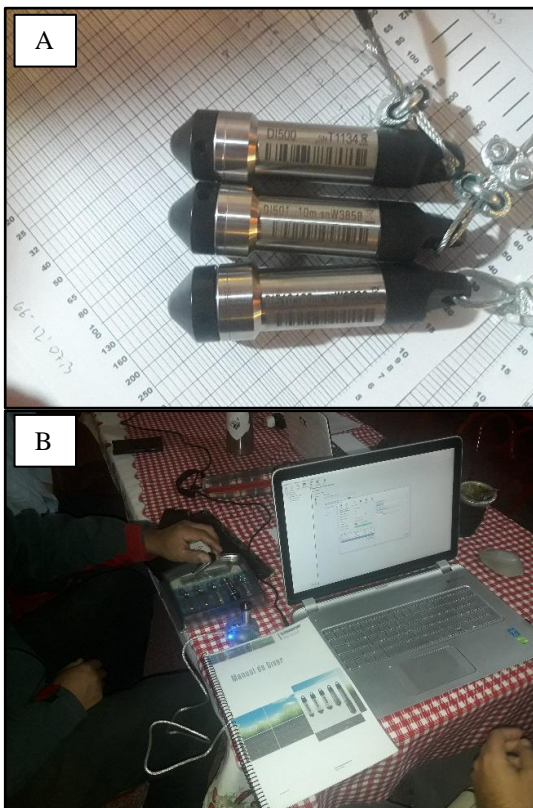


Figura 2. A) Divers utilizados para mediciones de nivel. B) Programación de los divers.

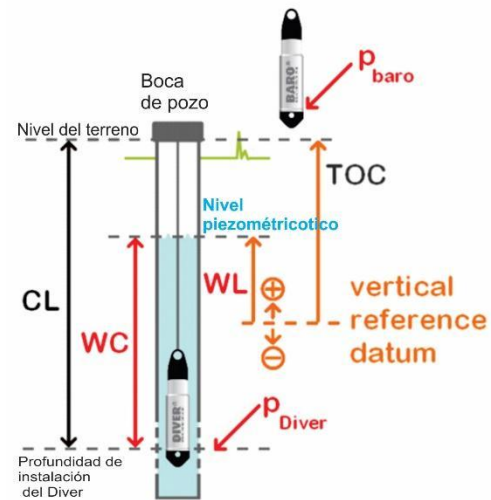


Figura 3. Esquema de instalación del diver en el interior de una perforación.



Figura 4. Instalación del diver en la perforación.

2.2 Descarga y conversión de los datos almacenados

Los registros de nivel y temperatura almacenados en el Diver, son descargados mediante comunicación óptica a una notebook, mediante el software antes mencionado.

Posteriormente, los datos de presión hidrostática, son compensados con las mediciones de presión atmosférica adquiridas con el barómetro instalado en las proximidades de las perforaciones. De esta manera se logran registros que no muestran la incidencia de la presión exterior.

Los datos de la columna de agua (compensados barométricamente), se transforman luego en nivel, referido a la boca del pozo, mediante la

medición manual del nivel estático realizada en el momento de la instalación de los equipos (ver Fig.4).

Los archivos de descarga son del tipo “.dat” o “textos delimitados”, razón por la cual pueden fácilmente ser tratados con planillas de cálculo para su administración, gestión y generación de gráficos.

3 RESULTADOS

El período de registro expuesto en este trabajo generó 7582 datos de presión y temperatura del agua, producto de registrarlos de manera horaria entre abril de 2019 y febrero de 2020. Luego de su compensación barométrica y de referirlos al nivel estático original (medido directamente en el pozo), se procedió a graficar los datos utilizando el eje vertical principal para mostrar los niveles estáticos (en mbbp), y el eje horizontal el tiempo (fechas). Ver Fig. 5 y 6.

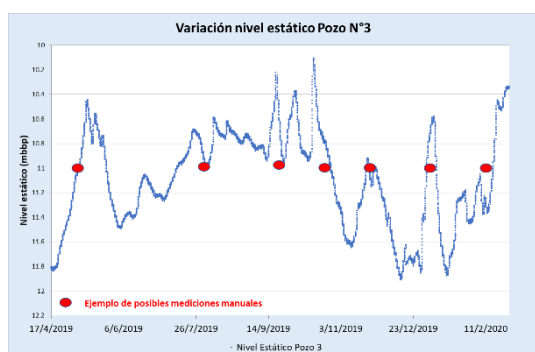


Figura 5. Variaciones del nivel estático en Pozo N°3.

Al observar el gráfico de variaciones de los niveles estáticos, puede afirmarse que, si se hubiesen realizado mediciones manuales esporádicas, podría darse el caso de medir siempre el mismo nivel (Puntos rojos), permitiendo pensar que el acuífero monitoreado, no posee cambios en su espesor saturado, situación que no es real.

4 CONCLUSIONES

- La utilización de instrumentos de registro continuo de presión de agua en perforaciones, permitió medir las variaciones del nivel estático en una perforación cada una hora durante un lapso de 316 días. Esto permite luego el análisis, de variaciones piezométricas de un acuífero.
- La presión atmosférica influye en el dato de presión hidrostática que el instrumento mide y almacena.
- El registro de la presión atmosférica en mediante el diver barométrico, permite compensar y eliminar la influencia que ejerce sobre el registro de presión hidrostática.
- La cantidad de datos adquiridos, permite registrar pequeñas variaciones de niveles dentro de la perforación, que obedecerían a la respuesta del acuífero ante episodios relacionados con las precipitaciones de la cuenca.
- Las variaciones piezométricas observadas muestran que, si se hubiesen realizado solo mediciones manuales esporádicas, podrían haberse llegado a conclusiones conceptuales erróneas.

5 REFERENCIAS

Tálamo E., Brusa S., Martínez G., Vilches F. y Morales G. Determinación del caudal pasante y parámetros hidráulicos en una sección del subálveo del río Pomán. Provincia de Catamarca. 2019. Actas de Trabajos Completos, ICES 2014. San Rafael, Mendoza. Pp 346-358.

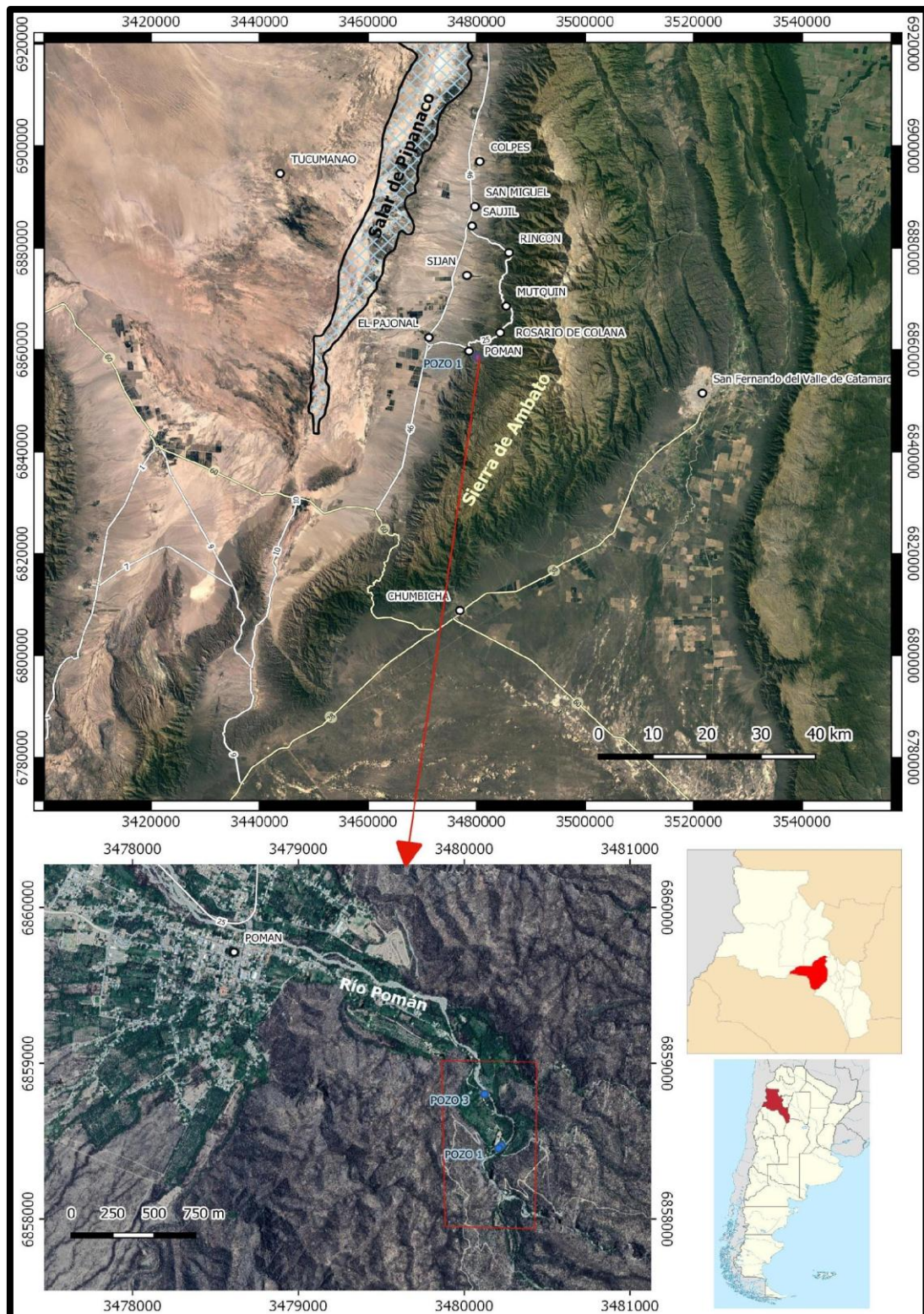


Figura 1. Ubicación y vías de acceso del área de estudio



Figura 5. Ubicación de perforaciones y del termopluviómetro.

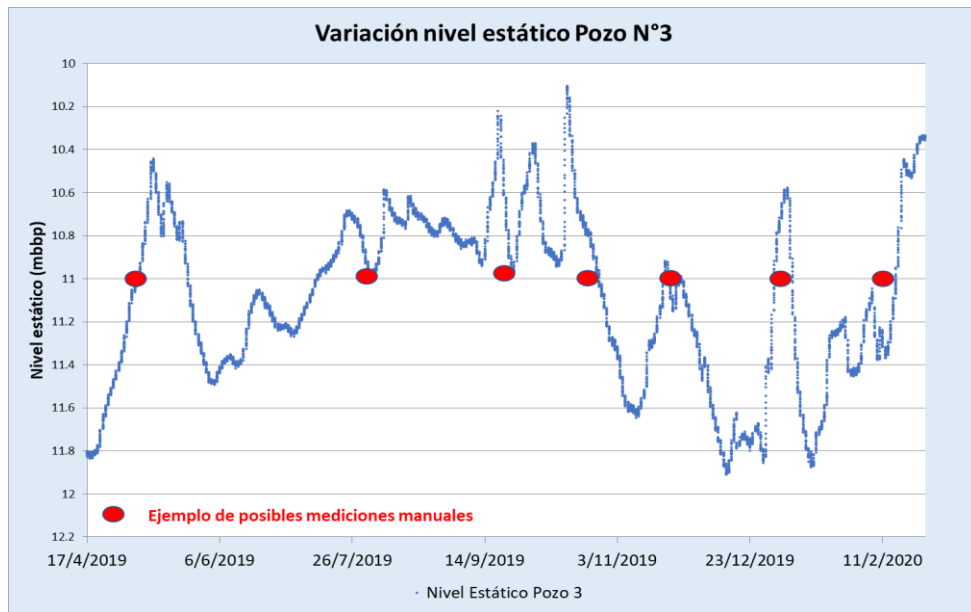


Figura 6. Gráfico ampliado de variaciones de nivel piezométrico estático.

CIENCIAS BÁSICAS DE LA INGENIERÍA



Experiencia Innovadora en enseñanza y evaluación en Ingreso en Física

Anriquez, Claudia B.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero; claudiabanriquez@gmail.com*

RESUMEN

El Ingreso Universitario de la FCEyT-UNSE, sigue trabajando para dar respuesta a las exigencias de la enseñanza superior de nuestra institución, en este caso el desafío ante la formación por competencias. La experiencia innovadora llevada a cabo fue la estrategia de enseñanza y la consecuente evaluación de proceso o formativa en el curso de Ingreso de Física. La evaluación inédita para nuestro sistema, formó parte de un proceso de enseñanza que combina conocimiento de la disciplina, con el conocimiento didáctico de la misma. El diseño de la evaluación reemplazó a la evaluación sumativa que tradicionalmente se realizaba, pretendiendo que estas estrategias sean una oportunidad de cambio para mejorar el aprendizaje.

ABSTRACT

The University Entrance of the FCEyT-UNSE, continues working to respond to the demands of higher education of our institution, in this case the challenge of training by competencies. The innovative experience carried out was the teaching strategy and the consequent process or formative evaluation in the Physics Admission course. The unprecedented evaluation for our system was part of a teaching process that combines knowledge of the discipline with didactic knowledge of it. The evaluation design replaced the summative evaluation that was traditionally carried out, pretending that these strategies are an opportunity for change to improve learning.

Palabras Clave: Experiencia Innovadora Ingreso de Física. Innovación en enseñanza y evaluación.

Keywords: Innovative Physics Entry Experience. Innovation in teaching and assessment.

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo expone la manera como se implementó la experiencia, con nuevo criterio de enseñanza que incorpora la evaluación como parte de la estrategia del proceso de enseñanza, pretendiendo llegar a resultados de aprendizaje definidos previamente por los docentes. Se reemplazó la prueba sumativa por puntos, por una evaluación de lápiz y papel a libro abierto, pero acompañada por estrategias de enseñanza que se llevaron a cabo durante todo el cursado (aún no concluido). Se pretende lograr prácticas más reflexivas, significativas, pertinentes, tendientes a lograr las competencias de Ingreso requeridas para las carreras de la Facultad de Ciencias Exactas Y Tecnologías (FCEyT-UNSE). Esto motivó a organizar el saber disciplinar agrupando contenidos tanto conceptuales como

procedimentales y actitudinales, en una propuesta siguiendo una secuencia didáctica que responda a saberes previos de los alumnos que en mayor medida son del Nivel Secundario y a las competencias de ingreso. Los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales son trabajados de manera que puedan ser desagregados en contenidos más específicos, expresados como resultados de aprendizaje.

2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

En el Ingreso 2017- 2018 se llevó a cabo la primera secuenciación didáctica del contenido plasmados en una cartilla. A esto se sumó el trabajo mancomunado que se emprendió desde el GAME(Gabinete de Mediación Educativa), donde la propuesta de secuenciación se extendió

a algunos colegios de la escuela Secundaria, a manera de articulación (Anriquez- Zapella, 2018)

En un primer momento se trabajó con la innovación de la enseñanza es decir en la estrategia de enseñanza, lo que según Anijovich-Mora (2017) es lo que el docente elige y decide, presentando dos dimensiones, la dimensión reflexiva (planificación del docente) y la dimensión de acción, que es la puesta en marcha de las decisiones tomadas. A su vez esas dimensiones se traducen en tres momentos:

- 1) Momento de la planificación
- 2) El momento de la acción propiamente dicha, momento de la interacción
- 3) Momento de evaluar la implementación de la estrategia de enseñanza, donde se reflexiona la alternativa probada y se surgieron otros modos posibles de enseñar.

Los momentos 1 y 2 ya se los vino trabajando, sólo faltaba la evaluación de proceso, esto tardó un poco más, ya que el sistema Ingreso en nuestra Facultad, requiere autorización para cualquier innovación que se implemente, y sobre todo en evaluación. La estrategia de enseñanza ya fue realizada desde el año 2018, estructurando la secuencia didáctica. Dicha secuencia se fundamentó en diversos resultados obtenidos a partir de la investigación en didáctica de las ciencias, tales como secuencia didáctica y alfabetización gráfica. Según Farré- Lorenzo (2017) este campo de conocimiento tiene como objetivos la planificación, la ejecución y la evaluación de la enseñanza de las ciencias en base a un planteamiento teórico, produciendo conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias y por otro lado, intenta que ese conocimiento repercuta de un modo positivo en la práctica áulica (Estany e Izquierdo, 2001).

El lenguaje científico presenta características particulares y el discurso escolar científico se aleja del lenguaje cotidiano con el cual los estudiantes están socializados. Eso provoca dificultades a los estudiantes cuando son sometidos a un ambiente poblado con códigos no familiares a ellos (El-Hani y Mortimer, 2010; Maldaner y Zanon, 2010; Mortimer, 2010; Santos, 2014; Souza, 2015).

Los aspirantes a las carreras de la FCEyT- UNSE que cursaran Física, no escapan a estas dificultades relacionadas con los niveles de comprensión de gráficos, como también la dificultad de lectura de textos especializado en los cuales existe simbología a la que no están

habitados, como así también la ausencia de contenidos no desarrollados en la Secundaria

Muchas veces las imágenes y diagramas en física cumplen simplemente una función decorativa y en aquellos otros casos en que cumplen una función informativa, suelen estar apenas comentados en el texto central (Ocelli y Valeiras, 2013), dando por sobreentendido que la lectura de la información gráfica resulta sencilla, cuando no obvia, para el estudiante-lector. Sin embargo, estudios sobre el procesamiento de este tipo particular de información han puesto de manifiesto las dificultades que conllevan su aprendizaje y los procesos de visualización requeridos para su interpretación (Gilbert, 2005, Pozo y Lorenzo, 2009). Esto implica que para una lectura autónoma de la información gráfica presente en el libro de texto, el alumno necesita desarrollar ciertas estrategias conocidas como “alfabetización gráfica” (Postigo y Pozo, 2000).

Izquierdo (1997) plantea que los estudiantes deben aprender a leer libros de texto, de manera tal que el discurso no se desconecte de la realidad, para que los símbolos, tablas, ecuaciones... que se presentan por escrito no se sobredimensionen, adquiriendo importancia en ellas mismas y perdiendo el sentido de los fenómenos del mundo, que se intentan explicar. Pero también deben entender la oralidad, es decir las palabras técnicas- científicas que maneja el docente.

Para la propuesta presentada se tuvo en cuenta los niveles para la alfabetización gráfica dados por la taxonomía de Bloom, (Tabla 1) a la hora de impartir la enseñanza específica de cada tema. Así también según Idoyaga et al (2017) expresan la existencia de niveles referidos a la alfabetización gráfica en la que: un nivel superficial es el procesamiento de la información explícita como la lectura, que alude a la identificación de los elementos presentes en el gráfico (título, número, nombre, tipo y los distintos valores de las variables). Un nivel más profundo es el procesamiento a nivel de la información implícita, es la interpretación, que requiere encontrar patrones y tendencias identificando relaciones entre las variables involucradas; exige que el gráfico sea interpretado globalmente y supone un cierto conocimiento y dominio del sistema semiótico (por ejemplo, determinar la pendiente de una recta). Un nivel mayor de procesamiento es la interpretación a nivel conceptual, requiere en gran medida de los niveles anteriores y está centrado en el establecimiento de relaciones conceptuales a

partir del análisis global de la estructura del gráfico.

Por otro lado, para el desarrollo de los contenidos conceptuales, como procedimentales según el Asociación Iberoamericana de Enseñanza de Ingeniería, ASIBEI (2016), “el desempeño competente no surge de la mera adquisición de conocimientos, sino que es el resultado de la puesta en funciones de una compleja estructura de conocimientos, habilidades, destrezas, y actitudes. que requiere ser reconocida expresamente en el proceso de aprendizaje para que la propuesta pedagógica incluya las actividades que permitan su desarrollo. Este mismo documento especifica las competencias genéricas de acceso de un estudiante de nivel secundario que desee continuar estudios superiores. Con ello se define un punto de partida mínimo para desarrollar los currículos de todas las carreras para alcanzar las competencias de egreso al finalizar el proceso formativo.

Según Zabala y Arnou (2008) cualquier acción competente implica un “saber hacer” en el que se hace necesario el dominio de sucesivas habilidades. Se puede decir que es un procedimiento de procedimientos al constatar que es un proceso en el que es necesario dominar unas habilidades previas de interpretación/compreñsion de la situación objeto de estudio en toda su complejidad: identificación de los problemas o cuestiones que plantean una intervención eficaz, reconocimiento de la información relevante para la resolución de las cuestiones planteadas, revisión de los distintos esquemas de actuación aprendidos que pueden dar respuesta a cada una de las cuestiones o problemas planteados, análisis de la información disponible en función de cada uno de los esquemas, valoración de las variables reales y su incidencia en los esquemas aprendidos, y finalmente aplicación del esquema de actuación de forma adecuada e integrando los hechos, conceptos, procedimientos y actitudes que conforman la competencia.

Es por tanto necesario establecer una secuencia de actividades de enseñanza como señalan Zabala y Arnou (2008) que cumplan con las pautas de significatividad, actividades guiadas, modelizadas, sistemáticas, para dar luego espacio para el trabajo independiente del alumno, donde se lo pondrá en situación para evaluar su “actuación competente”. La evaluación formativa debe acompañar este proceso, estableciendo

resultados de aprendizaje, que aportarán a las competencias establecidas para cada carrera.

En este proceso formativo se incluyó actividades de enseñanza y de evaluación.

Casanova (1999) distingue entre evaluación sumativa y formativa. Mencionando las siguientes características para la evaluación sumativa:

- Es aplicable a la evaluación de los productos terminados.
- Se sitúa puntualmente al final de un proceso, cuando éste se considera acabado
- Su finalidad es determinar el grado en que se han alcanzado los objetivos previstos y valorar positiva o negativamente
- Permite tomar medidas a mediano y largo plazo.

Mientras que para la evaluación formativa:

- Es aplicable a la evaluación de procesos.
- Se debe incorporar al mismo proceso de funcionamiento como un elemento integrante del mismo.
- Su finalidad es la mejora del proceso evaluado.
- Permite tomar medidas de carácter inmediato.

Anijovich (2017) señala que la evaluación es una oportunidad para contribuir a los procesos formativos, ala vez reflexionar sobre la enseñanza.

Tabla1. Niveles de comprensión expresados por la taxonomía de Bloom.

NIVEL 6	Decidir / Seleccionar Critical Juzgar	Evaluación
NIVEL 5	Predecir / Estimar Combinar / Reformular Crear / Diseñar	Pensamiento sintético
NIVEL 4	Clasificar / Categorizar Comparar / Contrastar Ordenar	Pensamiento analítico
NIVEL 3	Ilustrar / Demostrar Aplicar Construir	Resolución de problemas
NIVEL 2	Explicar Comprender Interpretar / Traducir	Pensamiento relacional
NIVEL 1	Recordar / Recitar Definir / Reproducir Listar	Memoria mecánica

3. LA PROPUESTA

La metodología usada fue aplicada en el Ingreso Anticipado 2020 con dos grupos de alumnos y en el Ingreso Tradicional 2020, con cinco comisiones de 80 alumnos aproximadamente cada una y a cargo de cinco docentes del Departamento Académico de Física de la FCEyT

La propuesta abordó la elaboración de la cartilla, como parte de la estrategia didáctica trabajando no sólo contenidos conceptuales, sino también destrezas (procedimientos) y actitudes. Por lo que se encaró en dos sentidos:

- a) Secuencia didáctica los contenidos, tomando como eje: la Medición.
- b) Evaluación formativa: tomando todo el proceso de aprendizaje, desde la instrucción hasta el último recuperatorio. Se explicitaron los aprendizajes pretendidos y se plasmaron los desempeños individuales, o los resultados de aprendizaje, de cada alumno, en la realización de ejercicios, en una hoja Excel.

3.1 Secuencia didáctica del contenido

La redacción de una nueva cartilla contempló la secuencia didáctica del contenido que se redujo a las herramientas matemáticas, y las destrezas que debe adquirir el estudiante, como por ejemplo uso de calculadora, de útiles geométricos de medición, y la actitud de aprendizaje autónoma. Esta parte ya fue realizada en el año anterior, (<https://fce.unse.edu.ar/?q=ingreso>)

La secuencia didáctica se estructuró sobre el “esqueleto” o secuencia, mostrado por la Figura 1. Sintetizando se tomó como eje la Medición, y como resultado de ésta, la medida. Como componentes fundamentales las Magnitudes con sus Sistemas de unidades correspondientes. La medida puede ser de una magnitud escalar o vectorial, y puede ser obtenida directa o indirectamente. Durante las clases se desagregan estos tópicos y se los trabaja más en detalle.

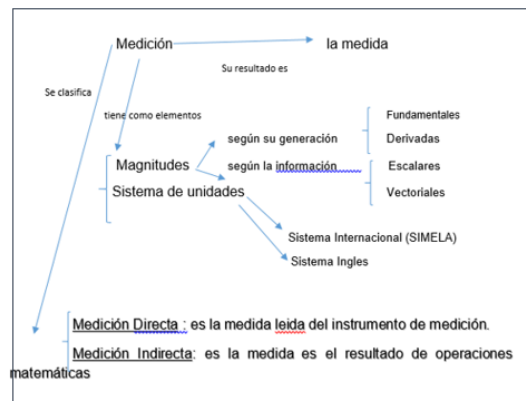


Figura 1. Esquema de secuencia didáctica para Física en cartilla de Ingreso Universitario FCEyT-UNSE (2019-2020)

Los niveles de comprensión se los trabaja en todos los contenidos. Por ejemplo el tema de análisis dimensional se lo relaciona con la Medición indirectas dentro de la secuencia. se presenta una expresión matemática, a la cual se la analiza con los distintos niveles de comprensión.

Dada la siguiente ecuación: $x = x_0 + v \cdot t$, donde $[x] = \text{metros}$

Responde, realizando el correspondiente análisis dimensional:

- 1) ¿qué unidad tienen “ x_0 ”?
- 2) ¿qué unidad tiene “ $v \cdot t$ ”?
- 3) ¿qué unidad tiene “ $x_0 + v \cdot t$ ”?
- 4) despeja “ v ” de la ecuación y realiza el análisis dimensional
- 5) despeja “ t ” de la ecuación y realiza el análisis dimensional

De la misma manera se trabaja la alfabetización gráfica en sus niveles de procesamiento como el ejemplo de la (Figura 2), aplicando el concepto matemático de vector, para representar una magnitud física como la velocidad.

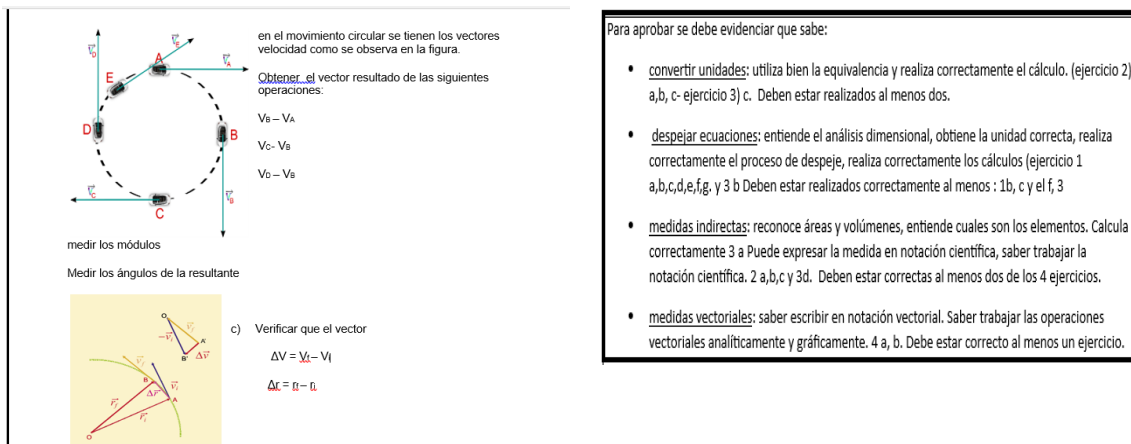


Fig. 2. Gráficos vectoriales aplicados a desarrollo de contenidos físicos, donde se trabaja la suma vectorial.

3.2. Evaluación como parte de la estrategia didáctica

Se pensó en tomar tres pruebas de lápiz y papel, una vez desarrollados todos los contenidos en 10 clases de 2 hs cada una (Ingreso Tradicional). Los estudiantes pudieron usar durante la prueba, sus apuntes, cartilla, además de su calculadora, excepto el celular. Se usó la modalidad a “carpeta abierta”, tratando con esto de que pongan en juego las habilidades adquiridas, como buscar la información, usar la calculadora, interpretar los gráficos, leerlos, entre otros contenidos. Las pruebas tuvieron ejercicios que abarcaron la totalidad de la temática seleccionada, es decir no fueron pruebas parciales, sino pruebas integrales. Tres en total.

Los criterios de evaluación se explicitaron al alumno en la misma hoja (Figura.3), aunque ya se había informado en las clases. La duración de las pruebas fue de 2,5 hs.

En la hoja se les presentaron los resultados de aprendizaje esperados, y en cuales ejercicios se los observarían, y cuantos de estos, debían hacer correctamente para aprobar (Figura 3). El alumno debió evidenciar que aprendió determinados contenidos (resultados de aprendizaje) y se los expresó como sigue:

- Para aprobar se debe evidenciar que sabe:
- **convertir unidades:** utiliza bien la equivalencia y realiza correctamente el cálculo. (ejercicio 2) a,b, c- ejercicio 3) c. Deben estar realizados al menos dos.
 - **despejar ecuaciones:** entiende el análisis dimensional, obtiene la unidad correcta, realiza correctamente el proceso de despeje, realiza correctamente los cálculos (ejercicio 1 a,b,c,d,e,f,g, y 3 b Deben estar realizados correctamente al menos : 1b, c y el f, 3
 - **medidas indirectas:** reconoce áreas y volúmenes, entiende cuales son los elementos. Calcula correctamente 3 a Puede expresar la medida en notación científica, saber trabajar la notación científica. 2 a,b,c y 3d. Deben estar correctas al menos dos de los 4 ejercicios.
 - **medidas vectoriales:** saber escribir en notación vectorial. Saber trabajar las operaciones vectoriales analíticamente y gráficamente. 4 a, b. Debe estar correcto al menos un ejercicio.

Los contenidos: conversión de unidades, despeje de ecuaciones, medición indirecta, medidas vectoriales a su vez se desagregan en otros contenidos (conceptuales o procedimentales), que son aplicados en más de un ejercicio. Es decir un mismo ejercicio servía para evaluar varios contenidos. Se elaboró una hoja Excel con los números de los ejercicios. Si estaban cumplidos se le ponía 1 y sino 0. El alumno pudo ver estos resultados y saber en que contenidos evidenciaba aprendizaje o cual le falta afianzar (Figura 4). Para que se considere que aprendió, por ejemplo, convertir unidades, debieron estar realizados al menos dos de los 4 ejercicios en donde se evaluó esta destreza.

El estudiante para poder aprobar, debió realizar correctamente el mínimo de la cantidad de ejercicios solicitados, demostrando el aprendizaje de un contenido determinado.

En caso de no alcanzar el aprendizaje de un contenido en particular, no aprueba, y en la siguiente prueba lo debe recuperar. Es decir, para aprobar se le exigió tener resuelto correctamente el mínimo solicitado de ejercicios, en todos los contenidos mencionados. La hoja de cálculo se la diseñó, para que automáticamente al cargarse los datos (0 ó 1), de cada ejercicio, “salte” el aprobado o el desaprobado, siguiendo el criterio narrado. De esta manera se eliminó la forma de evaluar de años anteriores, que era aprobar sumando al menos 50 puntos, sin discriminar que aprendió el estudiante.

3.3 Resultados parciales y discusión

The screenshot shows a student evaluation interface with the following content:

- Header: **Apellido, Nombre** DNI Aula
- Problem 1: "Se tiene la siguiente expresión matemática, $L = L_0 + L_0 \alpha T$, correspondiente a la dilatación térmica lineal. Donde $L = \dots$ m] y T [°C]"
 - a) L_0 que unidad tiene?
 - b) $L_0 \alpha$ que unidad tiene?
 - c) α que unidad tiene?
 - d) despeja " L_0 " de la ecuación y haz el análisis dimensional
 - e) despeja " T " de la ecuación y haz el análisis dimensional
 - f) despeja " α " de la ecuación y haz el análisis dimensional
 - g) si $T = 35^\circ\text{C}$ y $L_0 = 25,543\text{m}$ y $L = 25,212\text{m}$, calcule " α ", de la expresión dada.
- Problem 2: "La $a = 2,5 \times 10^{-1} \text{ m/s}^2$ exprésala en $\frac{\text{km}}{\text{h}^2}$, b) pie/s^2 c) exprésar en notación científica **todas** las medidas de aceleración."
- Problem 3: "Un tanque de agua como el de la foto:"
 - a) que forma tiene?
 - b) si el diámetro de su base es de 110 cm y su altura $1,30 \text{ m}$ cuánta agua puede contener?
 - c) exprese las medidas en m^3 y en litros
 - d) exprese estas últimas medidas en notación científica.
- Problem 4: "Las siguientes medidas vectoriales"
 - En el movimiento presentado en la figura se tienen los vectores posición como se observa en la figura. (Escala $35 \text{ km} = 1 \text{ cm}$)
 - Obtener el vector resultado de las siguientes operaciones gráfica y analíticamente
 - a) $r_1 - 0,5 r_2$
 - b) $r_2 - 2 r_1$
- Footer: "Medir los módulos y ángulos de las dos resultantes y **verificar los resultados, con ambos métodos.**"

Fig. 3. Evaluación presentada a los alumnos. Ingreso Anticipado de Física 2020- FCEyT-UNSE

Los resultados aún están en proceso, ya que se aplicó la innovación durante el Ingreso Tradicional 2020, pero la última evaluación quedó sin definir por la pandemia. En el Ingreso Anticipado, también se aplicó (con menos cantidad de alumnos), y se detectó que el 85 % de los alumnos tuvieron problemas con el “despeje” de variable, eso motivó a coordinar acciones con el equipo de docentes que dictan matemática, para afianzar lo referido a este aprendizaje, que sabemos que es un obstáculo y que persiste en el primer año inclusive. Para el Ingreso Tradicional se optó por quitar de la evaluación este tema, que es básicamente de competencia matemática. (Se lo quitó de la evaluación, pero no de la enseñanza).

Se observó que los alumnos utilizaron la totalidad del tiempo y no especularon, como lo hacían en evaluaciones anteriores con el sistema sumativo que, alcanzando ya los 50 puntos para aprobar, el alumno se retiraba de la prueba.

- dos.
- despejar ecuaciones: entiende el análisis dimensional, obtiene la unidad correcta, realiza correctamente el proceso de despeje, realiza correctamente los cálculos (ejercicio 1 a,b,c,d,e,f,g y 3 b) Deben estar realizados correctamente al menos : 1b, c y el f, 3
- medidas indirectas: reconoce áreas y volúmenes, entiende cuales son los elementos. Calcula correctamente 3 a) Puede expresar la medida en notación científica, saber trabajar la notación científica. 2 a,b,c y 3d. Deben estar correctas al menos dos de los 4 ejercicios.
- medidas vectoriales: saber escribir en notación vectorial. Saber trabajar las operaciones vectoriales analíticamente y gráficamente. 4 a, b. Debe estar correcto al menos un ejercicio.

Nombre	1A	1B	1C	2A	2B	2C1	2C2	2D	3A	3B	Condición
Osiris Naom	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Des
Cintia Carolina	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	Des
Fernando Nicolas	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Ap
Nilton Joaquín	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	Des
Nadia Valentina	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	Des
Roberto Carlos Daniel	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	Ap
Ignacio Agustín	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	Des
Nicolas Gabriel	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	Des
Luciano Fabian	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	Des
Ramon Antonio	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	Ap
Mario Esteban	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Ap
Franco Mariano	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	Des
Iris Yosephlin	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	Des
Lautaro Matias	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	Des
Joaquin Ezequiel	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	Des
Benjamin	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	Ap
Tiziana Sofia	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	Des
Tomás	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	Ap
Federico Alejandro	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	Ap

Fig. 4. Presentación de las resultados de la prueba a los alumnos. Ingreso FCEyT-UNSE (2020). Cada color representa un determinado contenido, evaluado en distintos ejercicios.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El modelo de evaluación es inédito para nuestro ámbito. Compatible y transferible para trabajarlo con el modelo de formación por competencias, ya que se trabajan con resultados de aprendizaje. Por otro lado, la evaluación no va desconectada de la estrategia de enseñanza, donde se seleccionaron los contenidos y se los organizó de una manera secuencial. La fuerte tradición en las aulas

universitarias con la evaluación sumativa, hace que tampoco se revisen las estrategias de enseñanza, por lo cual cualquier innovación en la forma de enseñanza y de evaluación producen una cierta resistencia en el profesorado.

Los estudiantes trabajaron de una manera autónoma, al realizar la evaluación “a carpeta abierta”, utilizando tanto la cartilla como los apuntes de clase. La toma de apuntes de clase es un contenido procedimental muy importante en el alumno universitario, y que al saber que podía tener sus apuntes durante la prueba, fomentó a que anotase durante las clases, todo lo que le parecía pertinente para su aprendizaje.

Los resultados finales de esta experiencia, aún no están ya que se encuentra hasta la fecha sin finalización, y sin contar con más datos debido al aislamiento por la pandemia.

La experiencia es totalmente transferible a otras asignaturas.

Se observó que sería bueno unificar entre las asignaturas del Ingreso una estrategia de enseñanza y la evaluación, como parte de la construcción del aprendizaje, y mejor aún que este tipo de estrategia se vaya extendiendo a las cátedras de 1º año, ya que una experiencia aislada no suma a la actuación competente que se pretende de los estudiantes.

La formación por competencias, es una oportunidad de mejora en la enseñanza, para lograr un aprendizaje estratégico, por una enseñanza estratégica. Implicará un profundo cambio en las estrategias de enseñanza y de evaluación por parte de los docentes, y una reorganización para poder articular, como si fuera una secuencia didáctica, una secuencia curricular entre las distintas cátedras. Esta será una gran transformación, y por eso un gran desafío, que romperá con las prácticas esclerosadas, ya casi naturalizadas en las aulas universitarias, prácticas inflexibles a los cambios sociales, prueba de ello es que ante la pandemia, muchos docentes se paralizaron, sin estar a la altura de los vertiginosos cambios en la sociedad, cambios que deben transformar las estrategias de enseñanza, para la mejora significativa y pertinente del aprendizaje.

5. REFERENCIAS

Anijovich, R- Cappelletti, G (2017) evaluación como oportunidad. Ed Paidós

Anijovich, R- Mora, S (2009) Estrategias de la enseñanza. Otra mirada al quehacer en el aula. Ed Aique.

Anriquez, C- Zapella, P (2018) "Intentando la Articulación: Experiencia en Física en Ingreso a Ingeniería de FCEyT-UNSE", publicada in the “XIII JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA 2018”

ASIBEI (2016) Documentos Plan Estratégico Competencias Y Perfil Del Ingeniero Iberoamericano, Formación De Profesores Y Desarrollo Tecnológico E Innovación

Casanova, M. A. (1998). La evaluación educativa. México: Muralla Casanova, M. A. (1998). La evaluación educativa. México: Muralla

Farré, A- Lorenzo, M.G (2017) Cap. 6 Cómo elegir un libro de texto. Lorenzo, M. G., Ortolani, A. E. y Odetti, H. S. (2017). Comunicando la ciencia: Avances en investigación en didáctica de la ciencia. Ediciones UNL: Santa Fe.

El-Hani, C. y Mortimer, E. F. (2010). O valor pragmático da linguagem cotidiana.

Estany, A., y Izquierdo, M. (2001). Didactología: Una Ciencia de diseño. ÉNDOXA: Series Filosóficas, 14, 13-33. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=178155>

Gilbert, J. (200). Visualization: A metacognitive skill in science ad science education. En J. Gilbert (ed.). Visualization in Science Education (pp. 9-27).

Idoyaga Ignacio J, Jorge E. Maeyoshimoto1,2, Hugo Granchetti3 y Ma. Gabriela Lorenzo1 Distintos tipos de gráficos cartesianos en el aprendizaje de la física. Dos casos típicos. Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 29, No. Extra, Nov. 2017, 153–162 La evaluación del presente artículo estuvo a cargo de la organización de la XX Reunión Nacional de Educación en Física 153 www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF

Izquierdo, M. (1997). ¿Cómo se escribe sobre los experimentos? Análisis de la función de los experimentos en textos de química del XIX y consecuencias para la enseñanza. En X. A. Fraga Vázquez (coord.)

Occelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: Una revisión bibliográfica. Enseñanza de las Ciencias, 31 (2), 133-152. Disponible en: <http://ensciencias.uab.es>

Postigo, Y. y Pozo, J. I. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1000 datos: interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, 23 (2), 89-110.

Zabala, A- Arnau, L (2008) Como enseñar y aprender competencias .Editorial GRAÓ, de IRIF,S.L.C! Francesc Tárrega, 32-34, 08027 Barcelonna. www.grao.com.ISBN: 978-84-7827-500-7

Experiencias de laboratorio de Física Nuclear en aislamiento

Carrillo, Miguel Angel¹ y Straube, Benjamín.¹

*(1) Laboratorio de Transductores y Física Nuclear – Departamento de Física - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
mcarrillo@herrera.unt.edu.ar*

RESUMEN

Durante el primer cuatrimestre de 2020 se restringió en todo el territorio nacional, el ingreso de docentes y estudiantes a los edificios universitarios en el marco del Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio “ASPO”. Ante esta situación, el Laboratorio de Transductores y Física nuclear (LTFN) de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, avanzó con la virtualización de sus experiencias de laboratorio para su asignatura “Física Nuclear” con el objeto de que los estudiantes no pierdan las vivencias propias de las experiencias reales. Las virtualizaciones fueron desarrolladas mediante herramientas de fácil acceso y, en lo posible, de costo cero. Herramientas tan populares como Microsoft Power Point→ y GeoGebra, fueron utilizadas de manera novedosa para crear instrumentación virtual de medición. Se logró concretar el dictado de la asignatura sin sacrificar contenidos ni carga experimental a pesar de la situación particular que vive el mundo por la pandemia de COVID 19. Se espera que estas implementaciones posibiliten, en un futuro cercano, la extensión de esta oferta formativa más allá de este aislamiento y de los límites provinciales y nacionales, como así también, su cursado en situaciones especiales con riesgo radiológico nulo pero con una considerable carga experimental.

ABSTRACT

During the first four-month period of 2020, the access of teachers and students to university buildings was restricted throughout the national territory within the framework of the Preventive and Mandatory Social Isolation. Faced with this situation, the “Transductores y Física Nuclear” laboratory of the “Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología” of the “Universidad Nacional de Tucumán” advanced with the virtualization of its laboratory experiences for its subject "Nuclear Physics" to students do not lose their own experiences from real experiments. The virtualizations were developed using tools that are easily accessible and, where possible, at zero cost. Popular tools such as Microsoft PowerPoint and GeoGebra were used in a novel way to create virtual measurement instrumentation. It was possible to specify the teaching of the subject without sacrificing content or experimental load despite the extraordinary situation that the world is experiencing due to the COVID 19 pandemic. It is expected that these implementations will make possible, shortly, the extension of this training offer more beyond this isolation and the provincial and national limits, as well as its course in particular situations with zero radiological risks but with a considerable experimental load.

Palabras claves: Virtualización – Laboratorio - Nuclear - Interactividad

Keywords: Virtualization - Laboratory - Nuclear - Interactivity

1 INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años, se viene dictando la asignatura “Física Nuclear” en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Su dictado nació, en el marco de la carrera Licenciatura en Física, como una asignatura optativa o de orientación. Poco a poco se fue

extendiendo a otras carreras de la UNT (Ingeniería Biomédica, Ingeniería Industrial y Tecnicatura Universitaria en Física Ambiental) y una parte, en particular la experimental, se integró a la asignatura “Radioquímica”, optativa de varias carreras de la Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia de la misma universidad (Bioquímica, Farmacia, Licenciatura en Química y Licenciatura en Biotecnología).

En vista de esto, se comenzó a pensar, allá por 2010, en la forma de posibilitar su expansión a otras carreras de universidades de provincias vecinas. En este contexto, surgió como una alternativa válida la educación virtual o e-learning.

Cuando se habla de e-learning (electronic learning) o aprendizaje electrónico, generalmente se entiende la educación puramente virtual, cuyas interacciones son exclusivamente mediadas por Internet. Si se alterna entre sesiones presenciales y actividades virtuales, se habla de b-learning (blended learning) o aprendizaje mixto. Esta modalidad se aplicó en la asignatura, durante los últimos años, bajo el concepto de “aula extendida”, como apoyo a las clases presenciales. Si bien la modalidad e-learning está ampliamente difundida en diversa áreas, no es el caso de las áreas científico-experimentales y menos de la Física Nuclear, al menos en nuestro país.

Esta carencia estaba causada, mayormente, por la falta de demanda (lo que cambió drásticamente en la primera parte de 2020 con la suspensión total de clases presenciales a causa de la pandemia de COVID-19) pero una razón también muy poderosa era y es la falta de confianza por parte de los docentes acerca de la efectividad de la educación virtual en aprendizajes del tipo experimental, por ejemplo, actividades de laboratorio.

Existe una marcada concepción acerca de que la única manera de aprender contenidos conceptuales y procedimentales de tipo experimental, es el contacto físico con el set experimental.

Tal idea, sumamente arraigada (y bastante atendible) es la que orientó la realización de estas virtualizaciones con miras a dotar, al producto educativo a realizar, del mayor realismo posible, de manera que el alumno experimente, desde la distancia, las vivencias de un alumno presencial.

Por otra parte, en el trabajo con elementos radiactivos, hay rigurosas medidas de seguridad e inclusive existen tareas imposibles de realizar. A nadie se le ocurriría entrar con estudiantes al núcleo mismo de un reactor debido a la alta dosis de radiactividad que recibirían. ¿Y si una estudiante se encontrase en proceso de gestación? Las normas internacionales son, para este caso, muy rigurosas. Así como no debe someterse a radiografías, tampoco podrá acercarse a materiales radiactivos. Esto significaría que no

podría realizar su carga experimental ni, quizás, su cursado. La virtualización podría resolverlo.

En el mundo, existen múltiples casos de virtualización de experiencias de laboratorio. En el área de Física Nuclear, se pueden citar algunos de los primeros y más importantes.

Entre 1996 y 2004 la Universidad de Lunds, Suecia, implementó dos experiencias de e-learning sobre Física Medica con excelentes resultados: “Radiaciones en Medicina y cuidado de la salud” y “Física Médica para docentes” [Anders Jonson, 2005]. En realidad, estos cursos eran del tipo b-learning, porque requerían de un par de sesiones presenciales para, principalmente, permitir el contacto físico con el equipamiento.

En 2005, la Universidad Tecnológica de Warsaw, Polonia, presentó una propuesta de solución a esa necesidad de sesiones presenciales para prácticas de laboratorio [Tlaczala et al, 2005]. La solución consistía en poner a disposición del estudiante un sistema de Instrumentación virtual de mediciones nucleares desarrollado en el entorno LabVIEW→ de National Instruments→, alimentado con datos obtenidos en mediciones reales.

Este entorno permite desarrollar instrumentos virtuales, con un muy alto nivel de realismo, íntegramente basados en PC y factibles de ser utilizados on-line. Su principal desventaja es su elevado costo.

2 NUESTRAS VIRTUALIZACIONES

2.1 Antecedentes propios

Desde la cátedra de Física Nuclear de la UNT, allá por 2010, se encaró el desarrollo de un entorno virtual de apoyo a las clases presenciales basado en la suite gratuita de productos Google [Carrillo, Mangussi, 2013] (Fig. 1). En los últimos años, este entorno migró a Moodle.



Fig 1 Página de inicio de la plataforma

La plataforma ya incluía la virtualización, a modo de prueba piloto, de una experiencia de laboratorio desarrollada en JClick, un entorno de desarrollo de uso totalmente gratuito y código abierto que permitía implementar Applets Java interactivos, multimediales e incrustables en páginas Web. La experiencia desarrollada fue la evaluación de un campo de radiación en torno a una muestra de Uranio natural mediante un monitor de radioprotección comercial. Tanto esta virtualización como las que la sucedieron, se basaron en la idea de la Universidad de Warsaw [Tlaczala et al, 2005] de presentar al alumno simulaciones de instrumentos reales, interactivas, con datos de mediciones realizadas en años anteriores por sus pares. En este caso se lo logró mediante videos capturados del instrumento midiendo en cada punto a evaluar (Fig. 2)

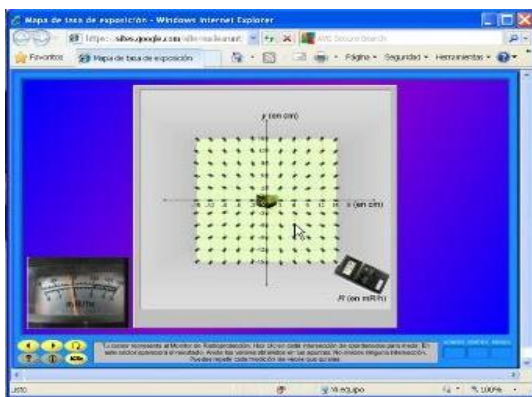


Fig 2: Virtualización con JClick.

Lamentablemente, pocos años después, los navegadores Web comenzaron a rechazar los Applets Java por considerarlos inseguros y se tuvo que buscar otra tecnología para reimplementar esta experiencia.

2.2 Aplicaciones Flash→ con Power Point→

2.2.1 Reimplementación del caso anterior

En 2016 se rediseñó la experiencia mediante una aplicación Flash→ desarrollada en Microsoft Power Point→ y convertida mediante el software gratuito I-Spring Free→.

La interactividad necesaria se logró aprovechando la capacidad de Power Point de insertar hipervínculos y botones de acción para saltar a diapositivas determinadas y desencadenar

elementos multimedia tales como videos incrustados (Fig 3).



Fig. 3: Versión Flash de la primera experiencia.

2.2.2 Una nueva virtualización

En 2017 se encaró la virtualización, a nivel prototipo, de otra de las experiencias de laboratorio de la asignatura (la medición de la atenuación de radiaciones nucleares de distinto tipo al pasar a través de varios materiales absorbentes). El equipo real es un contador Geiger Müller y las lecturas del equipo se resolvieron mediante videos del visor del contador real avanzando. Estos videos fueron recortados, para cada punto de medición, en el rango alrededor del valor obtenido en laboratorio delimitado por el error correspondiente a ese valor ($N \pm \otimes N$). De esta manera se pudo introducir en forma más o menos realista la aleatoriedad propia del fenómeno de la emisión radiactiva [Carrillo et al, 2017] (Fig. 4). Para la medición del espesor de las placas de absorbente se introdujo imágenes del calibre midiéndolas en laboratorio para que ellos realicen sus lecturas.

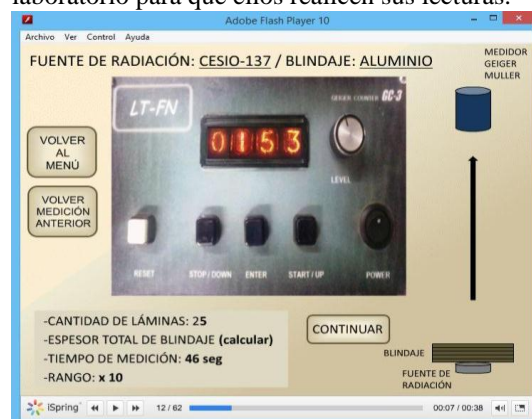


Fig. 4: Virtualización del ensayo de atenuación

En los últimos años, los navegadores Web también decidieron rechazar las aplicaciones Flash por considerarlas inseguras pero se puede seguir utilizándolas mediante un reproductor libre y gratuito que se suministra a los alumnos junto con las aplicaciones o, en su defecto, convertir los archivos Power Point de origen a aplicaciones HTML5 con el mismo I-Spring→ pero en su versión comercial.

La imposibilidad de realizar experiencias presenciales de laboratorio a causa del Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio “ASPO” decretado por el gobierno nacional en Marzo de 2020, planteó la necesidad (y brindó la oportunidad) de completar, optimizar y utilizar estos desarrollos más allá de los pocos casos de alumnas en estado de gestación en los que ya se había utilizado el primero de ellos.

También exigió virtualizar el sistema experimental que aún no lo estaba (la espectrometría gamma) para que los estudiantes pudieran abordar todas las experiencias de laboratorio de la asignatura sin salir de sus hogares.

2.3 Espectrometría Gamma con GeoGebra

Con el objeto de superar dicho aislamiento, se desarrolló la simulación on-line de dos equipos de espectrometría gamma disponibles en el LTFN (uno del tipo monocanal y otro del tipo multicanal) como así también, de algunas fuentes de radioisótopos utilizadas en las prácticas.

Un tema de fundamental importancia fue el de recrear, lo más fielmente posible, los equipos con los que habitualmente se realizan esas experiencias en el laboratorio.

Otro objetivo, no menos importante, fue que los equipos virtuales y las experiencias en sí, sean utilizables sin la necesidad de contar con software comercial ni descargar pesados archivos. En 2014, se había desarrollado una primera simulación, muy completa, de un set de espectrometría genérico que requería contar con el entorno MatLab→ o descargar un archivo de ejecución (runtime) de más de 100MB [Lucianna, Carrillo, 2014].

Conscientes de esa limitación y con la motivación de brindar un sistema muy similar al que usarían los estudiantes en el LTFN si la experiencia fuese presencial, se decidió adoptar, para el desarrollo actual, el popular entorno libre y gratuito

GeoGebra y darle una aplicación no demasiado abordada, la de desarrollo de instrumentación virtual.

2.3.1 Obtención real de un espectro

El objetivo es obtener la cantidad de fotones gamma y equis provenientes de una fuente radiactiva en función de su energía electromagnética. La secuencia de transducción comienza transformando los fotones de alta energía incidentes en fotones en el rango visible mediante un cristal centellador de NaI(Tl). La cantidad de fotones visibles emergentes resulta proporcional a la energía del fotón incidente. El cristal está acoplado ópticamente a un fotodetector del tipo “fotomultiplicador” formado por un fotocátodo y una etapa de amplificación. El fotocátodo libera electrones en forma proporcional a la cantidad de fotones de luz visible incidente y, por ende, a la energía del fotón original. Luego, una serie de dinodos multiplicadores amplifica el número de electrones hasta transformarlo en un flujo detectable. De esta manera la radiación electromagnética incidente se transduce en un pulso eléctrico de tensión cuya altura (en el orden de los cientos de milivolts) es proporcional a la energía del fotón gamma o equis incidente. El fotomultiplicador necesita una fuente externa de energía, una fuente de alta tensión en corriente continua que opera típicamente en el rango entre 600 y 1000V. La obtención del espectro se puede hacer por medio de un analizador monocanal, o un analizador multicanal. En ambos, la señal proveniente del detector se ajusta al rango de medición (0 a 5V) mediante el valor de la alta tensión y una etapa de amplificación de pulsos seleccionable entre 5 escalas (x1, x2, x4, x8, x16) en la etapa analógica del espectrómetro propiamente dicho. El rango de medición se divide en un número discreto de intervalos llamados “canales” que representan idéntica cantidad de intervalos de energía de la radiación incidente. La calibración de esta correspondencia se realiza mediante la medición del espectro de un radioisótopo de referencia utilizado como patrón.

2.3.2 Analizador monocanal

El analizador monocanal permite obtener el espectro de energías canal por canal fijando una ventana de comparación de tensión, de tamaño fijo, equivalente a un canal. El valor inferior de la

ventana se denomina LLD (Lower Level Discriminator) y el valor superior ULD (Upper Level Discriminator). Todos los pulsos cuya altura esté comprendida dentro del intervalo seleccionado serán contados. En nuestro analizador monocanal el ancho de la ventana se fija en 100mV, con lo que disponemos de 50 canales de medición. El espectro se obtiene variando solamente el LLD a lo largo de todo el rango y contando los pulsos obtenidos en cada canal durante un tiempo prefijado. La forma de operar el equipo consiste en fijar la ventana de discriminación mediante el LLD e iniciar la medición, es decir iniciar un contador y un cronómetro simultáneamente, medir durante un determinado tiempo, detener la medición, tomar nota de los valores, restablecer el valor del contador y el cronómetro a cero, desplazar la ventana al próximo canal y comenzar nuevamente, así hasta completar todo el rango de medición. También se pueden hacer mediciones con ventanas de ancho variable para otros fines en las que se debe ajustar independientemente el LLD y el ULD. Esto se elige con un conmutador de modo de ventana.

2.3.2.1 Implementación

Como en las virtualizaciones anteriores, la virtualización de esta experiencia comienza con un espectro real obtenido con el equipamiento del laboratorio durante experiencias reales. El primer paso es transformar los datos bidimensionales (tasa de cuentas vs energía, o canal) a un vector unidimensional "v1D" de n elementos, donde n representa las cuentas acumuladas en todos los canales normalizadas al canal con el menor número de cuentas del espectro correspondiente. De esta manera el canal de menor tasa de cuentas distinta de cero tiene asignado al menos un lugar en v1D. El canal de mayor tasa de cuentas tendrá más lugares asignados. El valor asignado es el valor de tensión medido en la experiencia real o el número de canal correspondiente. Recordemos que después de una calibración adecuada estos representan el valor de energía del fotón incidente. Una representación gráfica de la proyección descrita, de un vector bidimensional a un vector unidimensional se puede ver en la figura 5.

Esta proyección, se realiza con todos los espectros medidos con el analizador disponible en el laboratorio, tanto para las fuentes radiactivas

como también para el fondo. Se entiende por fondo radiactivo a la radiación presente en el ambiente de laboratorio que no es emitida por la fuente a estudiar (radiación cósmica, uranio en los materiales de construcción, emisiones de fuentes cercanas, etc.) Para esta instancia, solo se incorporó a la virtualización la medición del espectro de ^{137}Cs y la de fondo. Próximamente se incorporarán las fuentes restantes.

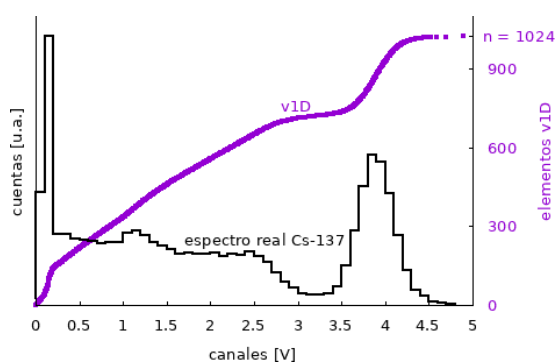


Figura 5: representación gráfica del vector v1D y su correlación con el espectro medido

Cuando se inicia la simulación se inicia también una iteración. En cada paso se genera un número pseudoaleatorio m entre 1 y n . Con este número se elige el evento v1D(m) a tener en cuenta. De esta forma, generamos un evento aleatorio en energía que se traduce en un evento aleatorio en tiempo cuando se analiza un único canal a lo largo de la simulación. Los eventos (pulsos) que se registran con el contador son aquellos que se encuentran dentro de la ventana de selección entre los valores LLD y ULD.

Los efectos de la variación de la alta tensión sobre el espectro medido virtualmente, se logran dividiendo el valor v1D(m) en la tensión con la que se obtuvo el espectro real y multiplicando por el valor de tensión que se seleccione para la medición virtual.

Durante la experiencia real se conecta un osciloscopio para la visualización de la altura de los pulsos, con él es posible ajustar el valor de alta tensión y la escala para que los pulsos más importantes se encuentren dentro del rango de 0 a 5V aprovechando, de la mejor manera posible, ese rango. En la experiencia virtual se adoptó el mismo criterio pero utilizando un visor del tipo vómetro que se activa cuando iniciamos la simulación. Si bien no es un osciloscopio, sus prestaciones son totalmente suficientes para esta

experiencia y se espera, en el futuro, también implementarlo en la experiencia real.

Todos los elementos descritos se programaron en el entorno GeoGebra, utilizando el lenguaje nativo del programa y también haciendo uso de JavaScript. El entorno desarrollado se subió al repositorio web de GeoGebra desde donde es posible operar directamente el equipo en forma On-Line o descargar el archivo y usarlo en la computadora. También se probó con éxito en teléfonos celulares con sistema Android. En la figura 6 se observa la pantalla de operación del analizador monocanal.

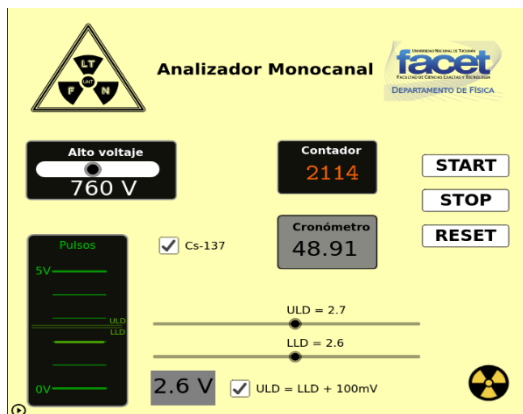


Figura 6: entorno de operación del analizador monocanal

2.3.3 Analizador Multicanal

La detección de la señal es idéntica al caso del monocanal, pero ahora no tenemos una ventana de discriminación. Lo que hace el equipo multicanal es medir, mediante una conversión analógico-digital, la altura de cada pulso e incrementar la cuenta en uno de los 256 canales disponibles en la memoria del equipo según sea su altura. Una vez terminada la medición, se transmiten los datos a una computadora y se genera un archivo ASCII para cada espectro con el número de cuentas medido para cada canal. Esos archivos se pueden cargar en cualquier software matemático para su análisis, calibración y graficación.

2.3.3.1 Implementación

Para la virtualización se proyectan los datos medidos con el equipo real en un vector vID de n elementos, de la misma forma que en el caso del

monocanal con la salvedad de que ahora son 256 canales a tener en cuenta.

El control de tensión es idéntico al caso anterior y, en esta simulación, se implementó también el selector de rango. Aparte de ^{137}Cs y fondo, se incorporaron dos radioisótopos más ^{60}Co y ^{241}Am que pueden medirse por separado o superpuestos en todas las combinaciones posibles. Tal como en la realidad, no es posible medir radioisótopos puros (sin radiación de fondo).

Debido a la alta tasa de cuenta que mide el analizador multicanal el conteo de los pulsos no se hace de forma individual como sería el caso real. En el caso virtual se genera un vector de ceros y unos distribuidos de manera aleatoria de n elementos. La fracción de unos se determina variando el valor de umbral del generador de números pseudoaleatorio. Modificando el umbral, se puede ajustar las diferentes tasas totales de cuentas correspondientes a cada fuente radiactiva y al fondo.

La simulación se desarrolla con pasos iterativos, en cada iteración se compara el vector vID con este vector pseudoaleatorio de ceros y unos y de esa manera se generan “pulsos” de manera aleatoria en términos de energía cuando un canal, elemento de vID , coincide con un 1 del vector pseudoaleatorio. Aún, cuando en cada paso iterativo agregamos simultáneamente más de un evento de conteo se conserva la aleatoriedad en la generación de espectros sucesivos de una misma fuente radiactiva o incluso el fondo.

La implementación del equipamiento también se realizó con GeoGebra y Javascript. El panel de operación se observa en la figura 7.

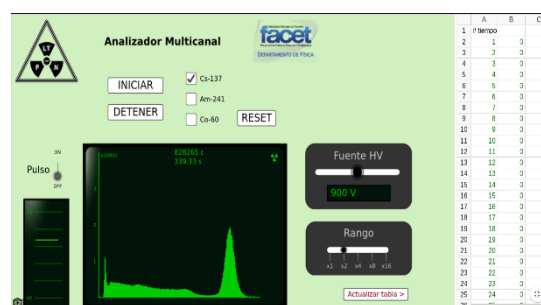


Figura 7: Entorno de operación del analizador multicanal.

El panel dispone de todos los comandos necesarios: alta tensión, selector de rango, iniciar, detener, reset, una lista de selección de fuentes,

una pantalla para visualizar el espectro en tiempo real y un vúmetro para hacer los ajustes de tensión y rango de medición adecuados para cada fuente radiactiva. La pantalla de visualización de espectro no existe en el equipo real pero representa una mejora que se espera realizar en un futuro cercano. De todas maneras, esa pantalla es solo para fines de previsualización. Para obtener los datos concretos debemos actualizar la tabla mediante el botón correspondiente y luego exportar los datos para trabajarlos en otro software tal como se hace en el laboratorio real.

3 CONCLUSIONES

Se pudo superar con éxito una circunstancia tan complicada como la generada por la pandemia de COVID-19 dictando la asignatura con, prácticamente, toda la carga experimental.

Se aplicó una virtualización que ya había sido probada en algunas oportunidades, se concluyó y aplicó una virtualización que estaba en estado de prototipo y se desarrollaron dos virtualizaciones casi desde cero.

También se demostraron capacidades bastante desconocidas de softwares tan populares en otros campos como Microsoft Power Point y GeoGebra

Por último se concretó un anhelo que arrancó hace aproximadamente 10 años (el de virtualizar totalmente la asignatura con herramientas al alcance de todos y sin sacrificar la carga experimental). A partir de ahora se estará en condiciones de ofrecer la asignatura a estudiantes que residan fuera de Tucumán y/o que no deban exponerse a radiaciones ionizantes.

4 AGRADECIMIENTOS

Cabe expresar nuestro agradecimiento a la Dra. Josefina Mangussi (ex responsable de la asignatura Física Nuclear, ahora Jubilada) que participó en el diseño de la primera virtualización, a la Tec. Lourdes Robles Madrid y al Dr. Facundo Lucianna (ambos exalumnos de la asignatura) que, en su momento, desarrollaron sendos prototipos de virtualizaciones que sirvieron de base para las actuales.

5 REFERENCIAS

- Anders Jonson B (2005). "A case study of successful e-learning: A web-based distance course in medical physics held for school teachers of the upper secondary level". *Medical Engineering & Physics*, 27: 571–581
- Carrillo M A, Mangussi M J (2013). "Propuesta de Virtualización de la Enseñanza e Investigación en Física Nuclear". *Experiencias de virtualización en la Universidad Nacional de Tucumán: Iº Jornadas de Inclusión de Prácticas de Virtualización en la Enseñanza Universitaria: compilación. - 1a ed. - UNT Virtual. Tucumán, Argentina. ISBN 978-987-29512-0-7: 201-214*
- Carrillo M A, Robles Madrid L, Lucianna F, Franco E, Straube B (2017) "Estrategias didácticas para la enseñanza y difusión de la Física Nuclear con mínimo riesgo". 102a Reunión de la Asociación Física Argentina. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Lucianna F, Carrillo M A (2014) "Simulador de Set de Espectrometría Nuclear". XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Buenos Aires, Argentina.
- Tlaczala W, Ulaczyk J, Zagórski A, Zaremba M (2005). "A virtual experiment for e-learning and teaching nuclear techniques". *Recent Research Developments in Learning Technologies. Badajoz, España ISBN (13): 978-609-5994-5: 671-675.*

Aplicación de descriptores locales de reactividad al estudio de la transferencia de grupos acilos catalizada por H-ZSM-5

Corregidor, Pablo¹ y Ottavianelli, Emilce².

(1) *Facultad de Ingeniería, Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Consejo de Investigación de la UNSa (CIUNSa), Centro Científico Tecnológico (CCT) Salta-Jujuy, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina.*
pcorregidor@unsa.edu.ar

(2) *Facultad de Ciencias Exactas, Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI), Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación de la UNSa (CIUNSa), Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina.*
emilce@unsa.edu.ar

RESUMEN

Los descriptores de reactividad local son una poderosa herramienta para el entendimiento de la reactividad en una variedad de compuestos químicos. Estos descriptores, arraigados a la teoría del funcional de la densidad, han demostrado gran aplicación en diferentes reacciones químicas, pero a pesar de ello, su empleo no está ampliamente difundido en el territorio de la catálisis heterogénea. En este trabajo, nos proponemos explorar la aplicación de descriptores locales de reactividad tales como las funciones de Fukui, el descriptor dual y sus respectivos análogos condensados, en el estudio de reacciones de transferencia de grupos acilos catalizadas por la forma ácida de una zeolita ZSM-5. Se encontró que las funciones de Fukui y los descriptores duales son útiles a la hora de predecir la reactividad de ácido acético, cloruro de acetilo, anhídrido acético y acetato de vinilo, permitiendo describir la interacción de estas moléculas orgánicas con modelos de clúster 3T y 10T para zeolita ZSM-5. Por otro lado, los análogos condensados de las funciones de Fukui y de los descriptores duales permiten realizar un análisis cuantitativo de reactividad, brindando un panorama adecuado que permite justificar el mecanismo de transferencia de grupos acilos y la formación de un intermediario tipo zeolita acetilada.

ABSTRACT

Chemical reactivity descriptors are a powerful tool for understanding reactivity in a wide variety of chemical compounds. These descriptors, related to the density functional theory, have shown broad applications in several chemical reactions, but have not been as widely applied in the field of heterogeneous catalysis. In this contribution we explore the application of local reactivity descriptors such as Fukui's functions, dual descriptors and their condensed analogous to the study of acyl transfer reactions catalyzed by the acidic form of a ZSM-5 zeolite. We found that Fukui's functions and dual descriptors are useful in predicting the reactivity of acetic acid, acetyl chloride, acetic anhydride and vinyl acetate, thus allowing a description of their interactions with 3T and 10T clusters models for a ZSM-5 zeolite. On the other hand, the condensed analogous of Fukui's functions and dual descriptors admit a quantitative analysis for the reactivity. These descriptors bring an adequate point of view to justify the acyl group transfer mechanism and the formation of an acetyl-zeolite intermediate.

Palabras claves: reactividad-funciones de Fukui-zeolita-ZSM-5-acilación

Keywords: reactivity-Fukui's functions-zeolite-ZSM-5-acylation

1. INTRODUCCIÓN

Las relaciones entre las estructuras de las moléculas y sus reactividades siempre han constituido un problema de interés para la química moderna. El término “reactividad química” hace referencia a un grupo de parámetros cuantitativos de posibles centros de reacción en una estructura química, en relación a diferentes reactivos y tipos de reacciones. Estos parámetros cuantitativos son generalmente llamados índices o descriptores de reactividad. De esta manera, un “índice de reactividad” es una cantidad escalar capaz de caracterizar la habilidad de una molécula, ya sea como un todo (descriptor global) o como cierta porción (descriptor local), para dar lugar a una reacción química en general o cierto tipo de reacción en particular. Los descriptores globales de reactividad química tales como la electronegatividad, potencial electroquímico, dureza e índice global de electrofilicidad son definidos como un todo para un sistema en estudio. Por otro lado, para describir un sitio reactivo en el interior de una molécula, se han propuesto los descriptores locales de reactividad química, dentro de los cuales, los más populares son las funciones de Fukui, suavidad local y filicidad local.

La “función frontera” o “función de Fukui”, $f(r)$, propuesta en 1984 por Parr y Yang (Parr, 1984), es por lejos el índice de reactividad local más importante. Esta representa el cambio en la densidad electrónica $\rho(r)$ en un punto dado (r), cuando el número total de electrones cambia bajo la influencia de un potencial externo constante (V). La misma se define mediante la ecuación (1).

$$f(r) = \left(\frac{\partial \rho(r)}{\partial N} \right)_V \quad (1)$$

Existen diferentes tipos de funciones de Fukui, en función del agregado de electrones (ataque nucleofílico) o cuando los electrones son extraídos del sistema (ataque electrofílico), definidas mediante las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$f^+(r) = \rho_{N+1}(r) - \rho_N(r) \quad (2)$$

$$f^-(r) = \rho_N(r) - \rho_{N-1}(r) \quad (3)$$

Donde $f^i(r)$ son las funciones de Fukui en el punto r alrededor de la molécula (con $i = +$ o $-$), $\rho(r)$ es una función de densidad electrónica y los índices $N+1$, N y $N-1$ indican el número total de electrones, tomando N como referencia para la

especie neutra. De esta manera, $N+1$ corresponde a un anión con un electrón adicional en el orbital LUMO de la molécula neutra, mientras que $N-1$ corresponde a un catión con un electrón removido desde el orbital HOMO en la molécula neutra. Por otro lado, resulta más cómodo trabajar con las funciones de Fukui definidas sobre un átomo o grupo de átomos (fragmento) de una estructura química determinada, en lugar de asignar un escalar a un punto del espacio. Para salvar esta situación, se introducen las funciones de Fukui para un átomo k en una molécula, denominadas “funciones condensadas de Fukui”:

$$f_k^+ = q_k(N+1) - q_k(N) \quad (4)$$

$$f_k^- = q_k(N) - q_k(N-1) \quad (5)$$

Donde q_k es la carga sobre el centro atómico k , conteniendo el número de electrones indicado. Si bien se puede utilizar cualquier set de cargas atómicas, se ha demostrado que el método propuesto por Hirshfeld es el más preciso (Melin, 2004). La función f_k^+ , mide los cambios de la densidad electrónica cuando la molécula gana electrones y se corresponde con la reactividad para un ataque nucleofílico. Por otro lado, la f_k^- indica las zonas reactivas donde se presenta un ataque electrofílico o lo que es lo mismo, evalúa los cambios en la densidad electrónica cuando la molécula pierde electrones.

Si bien el empleo de descriptores de reactividad química es una herramienta poderosa a la hora de entender la reactividad en un compuesto químico, son escasos los reportes que los utilizan en otros tipos de especies químicas, tales como clústeres de zeolitas, con la finalidad de estudiar la interacción con moléculas orgánicas.

En ese sentido, nos proponemos estudiar la aplicación de las funciones de Fukui con la finalidad de explicar la diferente reactividad de dadores de grupos acilos (ácido acético, cloruro de acetilo, anhídrido acético y acetato de vinilo) en reacciones de transferencia de grupos acilos catalizadas por la forma ácida de una zeolita ZSM-5, como así también el empleo de descriptores locales de reactividad para justificar el desarrollo de un intermediario zeolita acetilada.

2 METODOLOGÍA COMPUTACIONAL

2.1 Clúster 3T y 10 T de zeolita ZSM-5

El estudio de la interacción entre los diferentes dadores de acilos y la zeolita H-ZSM-5, basado en descriptores locales de reactividad, se realizó aplicando la aproximación del clúster de zeolita formado por 10 tetraedros y otro de 3 tetraedros, reportado anteriormente (Corregidor, 2020). Para ello, la estructura del clúster se recortó de la estructura cristalográfica de una zeolita ZSM-5 calcinada, publicada previamente (Baerlocher). Posteriormente se procedió al reemplazo de un átomo de Si por otro de Al en el sitio T12, al cual se le adjudica la presencia de un sitio ácido de Brønsted. La presencia de Al en la red genera un excedente de carga negativa, la cual es compensada mediante la introducción de un protón en uno de los átomos de O adyacente al Al. De esta manera, se procede a recortar una porción del sitio catalítico formado por diez o tres tetraedros, como se mencionó previamente. Finalmente, los átomos de O terminales en cada clúster son reemplazados por átomos de H para evitar un excedente de carga negativa. Los clúster 10T y 3T así obtenidos, se presentan en la Fig. 1.



Figura 1: Clúster 3T y 10T de zeolita ZSM-5.

2.2 Optimización de geometrías

La optimización de geometrías del ácido acético, cloruro de acetilo, anhídrido acético, acetato de vinilo, clúster 3T y 10T se realizó utilizando el paquete computacional Gaussian 16 (Frisch, 2016), empleando el set de bases 6-311+G(d) y el funcional B3LYP como método teórico, excepto para el clúster 10T. La optimización de este último se realizó empleando un método híbrido QM/MM en diferentes capas: B3LYP/6-311+G(d):AM1, tomando la porción $\text{H}_2\text{SiOAl}(\text{OH})_3\text{SiH}_2$ para el cálculo de la capa a nivel DFT y un método semiempírico para el resto de los átomos del sistema. En todos los casos se comprobó que las geometrías

encontradas se correspondan con mínimos locales en la hipersuperficie de energía potencial, mediante cómputo de los autovalores de la matriz hessiana, permitiendo corroborar la ausencia de frecuencias imaginarias.

2.3 Cálculo de funciones de Fukui y descriptores duales

Se determinaron las funciones de Fukui y los “descriptores duales” para ambos clústeres (3T y 10T), como así también para los diferentes agentes acilantes, empleando el paquete computacional Multiwfn (Lu, 2012). Por otro lado, también se determinaron los “descriptores duales” (Δf), propuestos por Morell (Morell, 2005), definidos mediante la ecuación (6).

$$\Delta f = [f^+(r) - f^-(r)] = [\rho_{N+1}(r) - \rho_N(r)] - [\rho_N(r) - \rho_{N-1}(r)] = \rho_{N+1}(r) - 2\rho_N(r) + \rho_{N-1}(r) \quad (6)$$

Este descriptor, a diferencia de las funciones de Fukui, permite revelar sitios de ataques nucleofílicos y electrofílicos al mismo tiempo. Si $\Delta f > 0$, el sitio es favorable para un ataque nucleofílico, mientras que si $\Delta f < 0$, lo es para un ataque electrofílico. Los descriptores duales se evaluaron en términos de la densidad de spin ρ^s (Morell, 2005), puesto que $\rho_{N+1}(r) - \rho_N(r)$ y $\rho_N(r) - \rho_{N-1}(r)$ se pueden aproximar a ρ_{N+1}^s y ρ_{N-1}^s , respectivamente.

Posteriormente, las funciones condensadas de Fukui como así también los descriptores duales condensados fueron calculados utilizando la partición de Hirshfeld para la densidad de carga, propuesta por Bachrach (Bachrach, 1994), con la finalidad de cuantificar los posibles sitios de reactividad.

3 RESULTADOS

Todas las geometrías encontradas para los agentes acilantes, como así también la correspondiente a los clúster 3T y 10T, responden a mínimos en las respectivas hipersuperficies de energía potencial. Previamente se reportó el mecanismo de reacción para la generación de un intermediario tipo zeolita acetilada mediante la transferencia de grupos acilos por parte de diferentes agentes acilantes (Corregidor, 2020). El mismo queda resumido en la Fig. 2, donde la estructura del grupo G depende del dador de acetilo (OH: ácido acético; Cl: cloruro de acetilo; OCOCH_3 :

negativos de Δf . Por otro lado, similar a lo observado para el ácido acético, el carbono carbonílico exhibe propiedades electrofílicas, según se permite evidenciar mediante la función f^+ , como así también mediante Δf y los correspondientes análogos condensados.

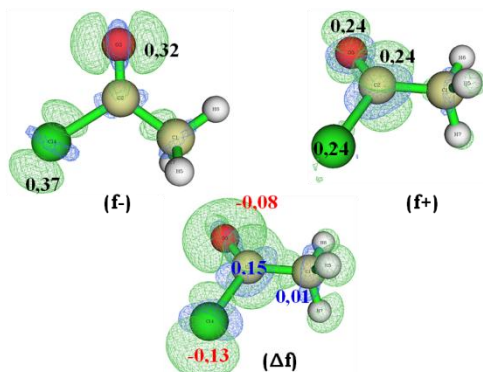


Figura 4. Indicadores de reactividad para cloruro de acetilo.

3.3 Anhídrido acético

Los indicadores de reactividad calculados para el anhídrido acético se pueden observar en la Fig. 5.

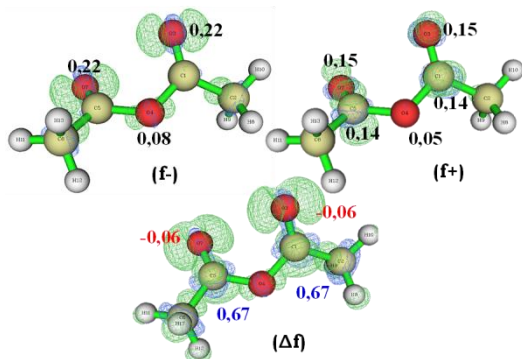


Figura 5. Indicadores de reactividad para anhídrido acético.

Se evidencia fundamentalmente zonas de ataque nucleofílico (a partir de f^- y Δf) en las zonas comprendidas por los átomos de O, en similitud a lo observado para los dadores de acilos analizados previamente. A partir de las respectivas funciones condensadas, se podría asegurar una mayor facilidad para interactuar con un electrófilo por medio del átomo de O con hibridación sp^2 (del grupo carbonilo), análisis que será retomado más adelante. Por otro lado, f^+ y Δf manifiestan el carácter nucleofílico de ambos carbonos carbonílicos, propuestos como posibles

centros de ataque electrofílico, en concordancia con lo que se conoce acerca de la química de los anhídridos.

3.4 Acetato de vinilo

Los resultados obtenidos para el acetato de vinilo se presentan en la Fig. 6. Al igual que en los casos anteriores, partir de f^- y Δf se pueden evidenciar zonas de ataque electrofílico relacionadas fundamentalmente con el átomo de O con hibridación sp^3 y los átomos de carbono del enlace C=C.

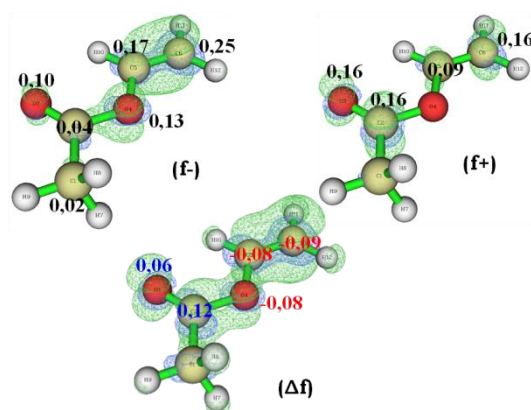


Figura 6. Indicadores de reactividad para acetato de vinilo.

Por otro lado, f^+ y Δf ponen en evidencia el carácter electrofílico del átomo de carbono del carbonilo, en concordancia con los demás agentes acilantes estudiados y se puede apreciar también cierta electrofiliidad por parte del carbono terminal del grupo vinilo, probablemente debido al efecto electrón atrayente del oxígeno sp^3 .

3.5 Clúster 3T de zeolita H-ZSM-5

La Fig. 7 muestra los descriptores de reactividad obtenidos para el clúster 3T.

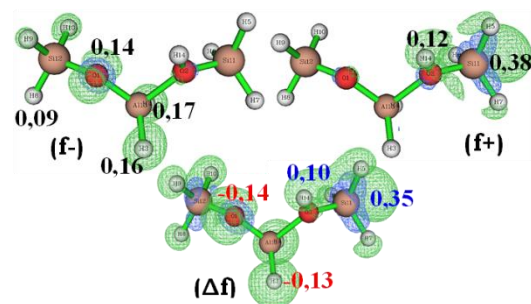


Figura 7. Indicadores de reactividad para el clúster 3T.

Se aprecia a partir de f^- que las zonas relacionadas con el ataque electrofílico se distribuyen principalmente entre: 1) el átomo de O no enlazado al protón ácido, 2) el átomo de Al y 3) los H enlazados al Al. Por otro lado, f^+ y Δf indican que, además del silicio adyacente al grupo OH ácido, el H ácido es un buen sitio para un ataque nucleofílico.

3.6 Clúster 10T de zeolita H-ZSM-5

De los resultados obtenidos para el clúster 10T, se puede apreciar (Fig. 8) que las zonas preferidas tanto para el ataque nucleofílico como electrofílico, se concentran alrededor del sitio ácido de Brønsted. Esto nos indica que la elección de un clúster más pequeño, tal como el 3T, podría ser suficiente para describir de manera adecuada la reactividad de esta zeolita. Por otro lado, se pueden encontrar otras zonas de reactividad más alejadas al sitio ácido del clúster, lo que podría intervenir en el efecto de confinamiento característico de las zeolitas, provocando una mayor dispersión de la densidad electrónica de la molécula huésped y con ello, mejorando su estabilidad en el interior de la estructura zeolítica.

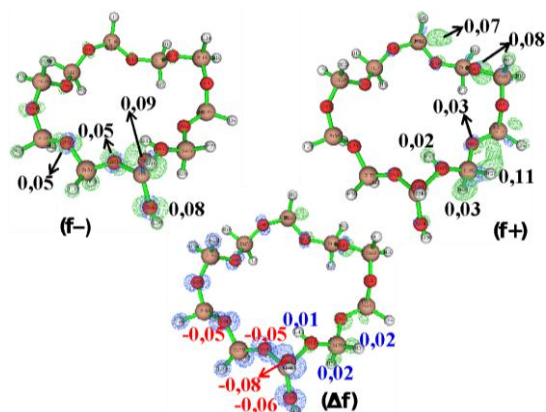


Figura 8. Indicadores de reactividad para el clúster 10T.

En este sentido, los indicadores locales de reactividad podrían justificar el efecto de confinamiento, mediante el empleo de un clúster de mayor tamaño, al poner en evidencia sitios reactivos diferentes al sitio catalítico (sitio ácido de Brønsted), mediante los cuales pueden ocurrir interacciones con una molécula huésped. Lógicamente, esto último no se puede predecir al

utilizar un clúster como el 3T para el modelado de la interacción.

Con un panorama general acerca de la reactividad de las distintas especies estudiadas, se procede a analizar la participación de los diferentes centros reactivos en el mecanismo de reacción para la generación del intermediario zeolita acetilada.

3.7 Fundamentación del mecanismo de reacción empleando descriptores de reactividad

Según reportes previos (Corregidor, 2020), una zeolita H-ZSM-5 puede actuar como catalizador heterogéneo, acelerando la velocidad de transferencia de un grupo acetilo a partir del acetato de vinilo. Por otra parte, también es conocido (Kresnawahjuesa, 2004) que otros dadores de grupos acilos pueden generar un intermediario tipo zeolita acetilada, a partir de la interacción en fase gaseosa con la mencionada zeolita, en un proceso también relacionado con la transferencia de un grupo acetilo.

La presencia del intermediario zeolita-acetilada ha sido propuesta mediante un conjunto de artificios que incluyen diferentes técnicas espectroscópicas de análisis, complementadas con estudios cinéticos de reacción. En ese sentido, los métodos computacionales han resultado beneficiosos, permitiendo confirmar el desarrollo de intermediarios de reacción y el planteo racional de estados de transición, acorde a los resultados experimentales, haciendo uso de metodologías tales como los cálculos de Coordenada Intrínseca de Reacción (IRC). Estos admiten el seguimiento del reordenamiento atómico que acontece al partir de los reactivos, pasando por el respectivo ET hasta llegar a los productos, lo que lógicamente implica encontrar un camino de reacción adecuado que conecte a todas estas especies. Por otro lado, uno de los mayores inconvenientes que conlleva un cálculo de este tipo, implica localizar un estado de transición adecuado en toda la hipersuperficie de energía potencial, lo cual muchas veces no resulta sencillo de realizar. Además de esto, se debe tener en cuenta el incremento del costo computacional, necesario para afrontar los cálculos que utilizan clústeres de zeolitas de gran tamaño. De esta manera, aquellos métodos computacionales que permitan describir, por ejemplo, la interacción entre moléculas orgánicas y superficies de un catalizador, con un adecuado grado de

aproximación y bajo costo computacional, resultan más que beneficiosos a la hora de evitar los inconvenientes mencionados.

De esta manera, el empleo de descriptores de reactividad podría ser considerado una alternativa sencilla y que no requiere un excesivo costo computacional.

3.7.1 Interacción H---X

La llegada del agente acilante a la zeolita es representada en la Fig. 2a, en donde el dador de acilos se aproxima generando una interacción entre los pares de electrones no compartidos de un átomo, al que llamaremos X (X= oxígeno sp^3 para ácido acético y acetato de vinilo, mientras que es el O sp^2 para el anhídrido acético y cloro para cloruro de acetilo). Anteriormente quedó demostrado que estos átomos pueden actuar como centros nucleofílicos (mayores valores de f^- y $\Delta f < 0$) para enlazarse con centros electrofílicos, tal como el protón ácido de un clúster de zeolita. De esta manera, se puede justificar una interacción entre el átomo X y el hidrógeno ácido de la zeolita, lo que lleva a la generación de la especie representada mediante la Fig. 2b.

De manera análoga, tanto el clúster 3T como así también el formado por 10 tetraedros, manifestaron el carácter nucleofílico del protón ácido de la zeolita, lo que permite justificar la adsorción del agente acilante mediante la interacción H---X. Estas observaciones son coherentes con lo encontrado mediante un cálculo de coordenadas intrínseca de reacción empleando el clúster 3T (Corregidor, 2020).

3.7.2 Interacción C---O

Una vez que el dador de acilos ha sido adsorbido en la superficie de la zeolita, ocurre una serie de reordenamientos atómicos que culminan en la generación de un intermediario tipo zeolita acetilada (Fig. 2d). A partir de la estructura del ET encontrada mediante métodos computacionales (Corregidor, 2020), se aprecian los siguientes acontecimientos.

La interacción H---X mediante la cual se realizó la adsorción superficial del agente acilante, comienza a debilitarse (se incrementa la distancia H---X). Por otro lado, la estabilización del incipiente ET se realiza mediante la generación de una interacción entre el átomo de carbono (del C=O de los agentes acilantes) y el oxígeno (unido

al protón) de la zeolita, denominada interacción C---O. A partir del cálculo IRC se observa una disminución en la mencionada distancia C---O, como así también un incremento en la longitud del enlace X-COCH₃ y una disminución en el enlace O-H del clúster. La ocurrencia de estos fenómenos al mismo tiempo, hace que el ET planteado sea generado mediante un mecanismo de reacción concertado.

Como se vio anteriormente, todos los átomos de carbono pertenecientes a los grupos C=O de los agentes acilantes, manifestaron un buen carácter para actuar como centros de ataque nucleofílico, en concordancia con lo que se conoce acerca de la química de los ácidos carboxílicos y derivados. De los valores de f^+ y Δf , surge que los átomos de carbono del carbonilo se muestran como sitios propensos para un ataque nucleofílico, sin embargo, los átomos de O del C=O exhiben un comportamiento atípico, presentando valores elevados para los mencionados indicadores. Este fenómeno también fue reportado por otros autores (Thanikaivelan, 2002) en otro compuesto carbonílico (acetona), atribuyendo dicha conducta a la utilización del método de Hirshfeld para la partición de cargas, cuando se utiliza determinado conjunto de bases para el cálculo. De todas maneras, a pesar de este comportamiento atípico en algunos sistemas, el método de Hirshfeld sigue siendo el más recomendado en la mayoría de los trabajos, ya que otorga una menor cantidad de valores negativos para los índices de Fukui (De Proft, 2002) y por lo tanto, brinda una mejor interpretación física, lo que suele fallar con otras metodologías.

De esta manera, a partir de los indicadores de reactividad calculados, se puede justificar el ataque por parte de nucleófilos suaves como el respectivo átomo de O del clúster, sobre los átomos de C carbonílicos de los agentes acilantes, que a su vez participan como electrófilos suaves, basado en el hecho que valores elevados para las funciones de Fukui, se corresponden con interacciones del tipo “suave-suave” entre ambos centros reactivos (Thanikaivelan, 2002).

Cabe aclarar que si bien la metodología de cálculo IRC permite la visualización de los reordenamientos atómico, es necesaria la comprobación de ruptura y generación de enlaces mediante métodos adicionales. En ese sentido, un análisis de reactividad basado en el cálculo de

indicadores podría contribuir al esclarecimiento y/o confirmación de los reordenamientos encontrados en los cálculos IRC.

4 CONCLUSIONES

En el presente estudio, queda demostrada la aplicación que tienen la función de Fukui, el descriptor dual y los respectivos análogos condensados en el estudio de la interacción entre diferentes agentes acilantes (ácido acético, cloruro de acetilo, anhídrido acético y acetato de vinilo) y dos modelos de clúster para una zeolita ZSM-5 (3T y 10T). Estos descriptores locales de reactividad proveen una herramienta útil, que permite evaluar la reactividad química basada en el concepto de interacciones "suave-suave", como así también, admite una justificación al reordenamiento atómico encontrado mediante cálculos IRC, que acontece durante la generación de un intermediario del tipo zeolita acetilada. De esta manera, mediante la implementación de métodos de la química computacional aplicados a sistemas de interés en la catálisis heterogénea, se puede realizar un planteo racional que justifique el desarrollo de estados de transición e intermediarios claves de una reacción.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA) por el apoyo económico recibido bajo el Proyecto N° 2546 y al Dr. Sudhakar Pamidighantam de la Universidad de Indiana (EEUU), por el tiempo de cálculo facilitado para la realización del presente trabajo.

6 REFERENCIAS

Bachrach, S. *Population Analysis and Electron Densities from Quantum Mechanics*. Reviews in Computational Chemistry, 171-228, 1994.

Baerlocher, C. y L. B. McCusker. "Database of Zeolite Structures." from <http://www.iza-structure.org/databases/>.

Corregidor, P. F., D. E. Acosta, E. E. Gonzo y H. A. Destéfani. Isoamyl acetate preparation from reaction of vinyl acetate and Isoamyl alcohol catalyzed by H-ZSM-5 zeolite: a kinetic study. *Molecular Catalysis* 481, 100611, 2020.

Corregidor, P. F. y E. E. Ottavianelli. *A DFT Study of the Acetyl Transfer Reaction Catalyzed by H-ZSM-5 Zeolite Using a 3T-Cluster Approach*. An Introduction to Aluminosilicates. N. R. Blevins. New York, Nova Science Publishers, 443-464, 2020.

De Proft, F., C. Van Alsenoy, A. Peeters, W. Langenaeker y P. Geerlings. Atomic charges, dipole moments, and Fukui functions using the Hirshfeld partitioning of the electron density. *Journal of Computational Chemistry* 23(12), 1198-1209, 2002.

Frisch, M. J., G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, G. A. Petersson, H. Nakatsuji, X. Li, M. Caricato, A. V. Marenich, J. Bloino, B. G. Janesko, R. Gomperts, B. Mennucci, H. P. Hratchian, J. V. Ortiz, A. F. Izmaylov, J. L. Sonnenberg, Williams, F. Ding, F. Lipparini, F. Egidi, J. Goings, B. Peng, A. Petrone, T. Henderson, D. Ranasinghe, V. G. Zakrzewski, J. Gao, N. Rega, G. Zheng, W. Liang, M. Hada, M. Ehara, K. Toyota, R. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ishida, T. Nakajima, Y. Honda, O. Kitao, H. Nakai, T. Vreven, K. Throssell, J. A. Montgomery Jr., J. E. Peralta, F. Ogliaro, M. J. Bearpark, J. J. Heyd, E. N. Brothers, K. N. Kudin, V. N. Staroverov, T. A. Keith, R. Kobayashi, J. Normand, K. Raghavachari, A. P. Rendell, J. C. Burant, S. S. Iyengar, J. Tomasi, M. Cossi, J. M. Millam, M. Klene, C. Adamo, R. Cammi, J. W. Ochterski, R. L. Martin, K. Morokuma, O. Farkas, J. B. Foresman y D. J. Fox. Gaussian 16 Rev. C.01. Wallingford, CT, 2016.

Kresnawahjuesa, O., R. J. Gorte y D. White. Characterization of acylating intermediates formed on H-ZSM-5. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 208(1-2), 175-185, 2004.

Lu, T. y F. Chen. Multiwfn: A multifunctional wavefunction analyzer. *Journal of Computational Chemistry* 33(5), 580-592, 2012.

Melin, J., F. Aparicio, V. Subramanian, M. Galván y P. K. Chattaraj. Is the Fukui Function a Right Descriptor of Hard-Hard Interactions? *The Journal of Physical Chemistry A* 108(13), 2487-2491, 2004.

Morell, C., A. Grand y A. Toro-Labbé. New Dual Descriptor for Chemical Reactivity. *The Journal of Physical Chemistry A* 109(1), 205-212, 2005.

- Parr, R. G. y W. Yang. Density functional approach to the frontier-electron theory of chemical reactivity. *Journal of the American Chemical Society* 106(14), 4049-4050, 1984.
- Thanikaivelan, P., J. Padmanabhan, V. Subramanian y T. Ramasami. Chemical reactivity and selectivity using Fukui functions: basis set and population scheme dependence in the framework of B3LYP theory. *Theoretical Chemistry Accounts* 107(6), 326-335, 2002.

Mejoras en el tratamiento del Diseño bajo Incertidumbre en Ingeniería Química

Domínguez, Orlando¹; Villanueva, Barbara¹; Martínez, Julieta.¹ y Vivas, Leticia.¹

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*
odominguez@ing.unsa.edu.ar; jmartinez@ing.unsa.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo pretende contribuir al Diseño de Procesos, de la carrera de Ingeniería Química, como una alternativa a los diferentes problemas que conlleva el tema del manejo de la incertidumbre. Se propone, como novedad, resolver estos problemas, a través de la integración de conceptos económicos y tecnológicos, tratando el problema de la incertidumbre con la toma de decisión, considerando que la función objetivo, los parámetros, y los atributos están sujetos a la incertidumbre. Se formula un problema global donde se incorporan ya sea valores de probabilidad o bien distribuciones de probabilidad para salvar el desconocimiento. Este tipo de problemas se resuelve mediante herramientas disponibles actualmente, y software accesible que permite obtener un resultado más ajustado a la realidad, presentando los resultados semejantes a un pronóstico de ocurrencias en el futuro. Se muestran ejemplos donde se aplican los métodos y técnicas que se enseñan y aplican en la Cátedra de Diseño de Procesos. Finalmente, se resuelve un problema específico aplicando la herramienta al análisis de la sensibilidad de los parámetros a fin de observar la variación en los indicadores del proyecto para dar un pronóstico sobre el VAN y la TIR.

ABSTRACT

This work aims to contribute to the field of Process Design, subject within the Chemical Engineering curriculum, as an alternative to the different problems that managing uncertainty entails. The resolution of these problems by integrating economic and technological concepts and tackling uncertainty problems along with decision making taking into consideration that the objective function, the parameters and the attributes are subject to uncertainty, are proposed as an innovation. A global problem where either probability values or probability distributions are incorporated to overcome the ignorance is formulated. Problems of this type are solved by using currently available tools and accessible software that allows obtaining a result more adjusted to reality, by presenting the results like a forecast of occurrences in the future. Examples where the methods and techniques taught and applied in the Process Design Department are shown. Finally, a specific problem is solved by applying the tool to the parameters sensitivity analysis in order to observe the project indicators variation to give a forecast on the NPV and the IRR.

Palabras claves: diseño de proceso – diseño bajo incertidumbre – análisis económico – diseño integrado

Keywords: process design – design under uncertainty – economic analysis – integrated design

1. INTRODUCCIÓN

La característica de los problemas y las operaciones en Ingeniería química, están sujetos a incertidumbre. Esta se manifiesta de múltiples formas, se la puede resumir en que la incertidumbre está presente en el entorno del proceso, debido a la ausencia de cierta información para definir completamente el análisis, como precios, demandas, etc. Se pueden presentar los siguientes ejemplos:

Incetidumbre en los parámetros, acerca del valor verdadero de los parámetros de tipo tecnológico, usados en el análisis.

Incetidumbre en el modelo, que no son apropiado para representar la realidad.

Incetidumbre en el tiempo, ya que los resultados de las determinaciones se materializarán en el futuro, futuro que se desconoce.

Incetidumbre en los componentes climáticos y

temporales, ya que un fenómeno climático puede influir y cambiar un proyecto.

El enfoque conocido como diseño en condiciones de incertidumbre, ha sido estudiado por más de cuatro décadas. En las décadas de los 80 y 90, se comenzaron a enfocar en su estudio, antes de que se desarrollarán las herramientas sistemáticas, el enfoque era utilizar los valores nominales para el diseño básico y luego aplicar factores de sobre diseño empíricos, como se aplica para tamaños de equipos para considerar las incertidumbres implicadas, Maroto, et al., (2001)

La utilización excesiva de factores de diseño y el uso de valores nominales, ignora otros valores posibles de las incertidumbres, además de que el empleo de factores de sobre diseño no garantiza el funcionamiento viable en toda la incertidumbre y puede variar si no se tiene conocimiento sobre el grado de flexibilidad del diseño en cuestión, lo que puede resultar en costos adicionales innecesarios.

Sobre la base de los objetivos de diseño, González Cortes et al., (2012), mencionan que los enfoques sistemáticos han sido por lo general agrupados en dos categorías. El primero, referido al diseño óptimo para un grado fijo de flexibilidad en las que el diseño debe ser factible en todos los valores inciertos en un conjunto discreto de escenarios factibles que varían con el tiempo (problema de diseño multiperíodo), y el segundo en el que el diseño debe ser factible en rangos especificados de un conjunto seminfinito de escenarios (problema general de diseño bajo incertidumbre).

La característica, que debe considerarse en el modelado matemático de estos sistemas, es el hecho de que las variaciones de las variables tienen un comportamiento aleatorio, Scenna, (2000).

Esto es, debido a características inherentes al proceso, factores climáticos o de mercado, etc., las variables de operación no tienen valores únicos y/o fijos, sino que pueden fluctuar en torno a un valor estable, normal o nominal, admitiendo cualquier valor comprendido en un determinado rango de incertidumbre. Un ejemplo de esta problemática es la formulación de los problemas de síntesis de redes de intercambio calórico flexibles y de trenes de destilación integrados flexibles, tal como se cita en Scenna y Benz (2000).

En Ingeniería Química, la función objetivo, desde un punto de vista económico, son normalmente muy sensibles a los precios utilizados a las

variaciones de las variables de entradas, tales como lo son a la materia prima, energía, y también a las estimaciones del costo del capital del proyecto. Estos costos y precios se pronostican o estiman, para situaciones futuras, por lo que normalmente están sujetos a un error considerable. La estimación de costos y la predicción de los precios son inciertos, desconocidos al instante de usar las mismas en la función objetivo. También existe incertidumbre en las variables de decisión, ya sea por variación en las condiciones de las entradas de la planta, por variaciones climáticas, por variaciones introducidas por operación inestable de la planta, o por la imprecisión en los datos del diseño y las ecuaciones de restricción (Sinnott y Towler, 2012).

1.1 Aplicaciones en Ingeniería Química

En el contenido mínimo del programa de la materia Diseño de Procesos de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta, figura el diseño en condiciones de incertidumbre. En esta sección se presentan los contenidos teóricos mínimos para abordar el tema los cuales son tres: Árbol de decisión, Diseño bajo incertidumbre y el Análisis de sensibilidad. Para este último tema, se enfoca el desarrollo de este estudio.

1.2 Árbol de decisión

Desde el punto de vista práctico se tocan problemas típicos, uno es resolver el árbol de toma de decisión, mediante su optimización a través de programación lineal y programación lineal mixta, con búsqueda de extremo.

Esta técnica permite analizar decisiones de tipo secuenciales, basada en el uso de resultados y probabilidades asociadas. Los árboles de decisión se pueden utilizar para generar sistemas expertos, búsquedas binarias y árboles de juegos. Mediante este tipo de estructuras se permite visualizar todas las diferentes alternativas que pueden ocurrir con su correspondiente valoración económica o valor esperado de cada alternativa.

1.3 Diseño bajo condiciones de Incertidumbre

Es otro aspecto que se desarrolla dentro del marco de Diseño de Procesos bajo condiciones de incertidumbre. En este tópico se presentan cuatro conceptos nuevos que son: criterios de diseños, los que también se denominan atributos del

diseño, alternativas de diseño, escenarios y los resultados.

Una vez definidos los atributos del diseño, generadas las alternativas e identificados los escenarios, queda planteada una matriz de resultados, para cada una de las alternativas. Dando un problema de decisión multicriterio, por lo que se debe reducir cada matriz a un vector, ya sea por algún método, tal como el uso de la teoría de juegos con algunas de las estrategias como el de Maximin denominado criterio de Wald con una visión pesimista, Maximax con una visión optimista, el criterio de Minimax del costo de oportunidad o de Savage, el criterio Hurwicz intermedio entre la visión pesimista y la optimista o alguna otra como programación lineal, PL, (Taha, 2012).

Posteriormente para cada alternativa se debe reducir los vectores a un escalar, mediante el uso de la función de utilidad mediante la cual se realiza la transformación del vector a un solo valor escalar. Este escalar involucra la contribución de todos los atributos para los diferentes escenarios para cada alternativa, Gallardo Ku, (2018). De tal manera que al elegir la mejor de todas las alternativas, también se está eligiendo la mejor combinación de los atributos de diseños involucrados en la función de bondad (Varian, 2012).

De los cuatro conceptos mencionados anteriormente, el conjunto de escenarios son los que están sujetos a la incertidumbre, a través de la asignación de probabilidad de ocurrencia, de materialización de dicho escenario. Los escenarios están sujetos al siguiente conjunto de propiedades:

- a. Influyen significativamente sobre el resultado del sistema.
- b. No dependen de la voluntad de quien toma la decisión.
- c. Su valor es incierto en el momento de tomar la decisión.

Este subconjunto puede subdividirse en aquellos que:

- i. No dependen de ninguna voluntad. En estos casos se estudia mediante la teoría de las decisiones individuales. Ejemplo de estos escenarios, son las situaciones climáticas.
- ii. dependen de otras voluntades, con intereses distintos. Estos se estudian mediante la teoría de juegos y del planeamiento estratégico. Un

ejemplo de escenario de este tipo es cuando en el proyecto influye la posible incorporación de una nueva competencia.

1.4 Ejemplo de Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es una herramienta de gestión que permite a las organizaciones predecir los resultados de un proyecto, colaborando en la comprensión de la incertidumbre.

Desde el punto de vista formal el análisis de sensibilidad es una técnica que estudia el impacto que tiene sobre una variable dependiente de un modelo de valor (función objetivo) las variaciones en una de las variables independiente que lo conforman.

En definitiva, es observar las variaciones del proyecto ante el aumento o disminución en alguna de sus variables o parámetros claves, manteniendo el valor de las demás constante. Es decir, este análisis se ejecuta de a una variable a la vez y se supone independencia entre las distintas variables que sí o sí influyen en el valor del proyecto.

2 HERRAMIENTAS APLICADAS

En esta sección se presentan y explican las diferentes herramientas utilizadas para cada uno de los ejemplos desarrollados en la cátedra, que permiten obtener mejoras en los cálculos y análisis de estos.

2.1 Árbol de decisión

Para este tipo de problemas, se utiliza para resolverlo una aplicación que trabaja sobre planilla de cálculo, con el cual se realiza un pseudo análisis de sensibilidad. Pseudo en el sentido que los cambios de se realizan manualmente, de forma muy rudimentaria. Para incorporar y facilitar este tipo de análisis, se puede aplicar una herramienta, un complemento que se incorpora sobre Excel, denominado en inglés como *Simple Decision Tree*, que permite construir de forma progresiva, automatizada y muy simple, árboles de decisión complejos y elaborados (Slashdot Media, 2012).

Este tipo de complemento facilita la construcción del árbol de decisión, e incorpora en las celdas las fórmulas automáticamente, por lo que se debe ingresar de forma manual solo algunos valores, los demás son calculados inmediatamente. Este tipo de automatización permite disponer de los resultados de forma más rápida, y destinar de ese

ahorro de tiempo en proponer algunos cambios en los parámetros, como también realizar un informe de los resultados aún más detallado, que para los casos realizados en papel.

2.2 Diseño bajo de Incertidumbre

La incertidumbre en este tipo de problemas está incorporada en la probabilidad de ocurrencia del escenario propuesto.

El mayor desafío e inconveniente se presenta en el método de reducción de la matriz de resultados de los criterios de diseños para cada alternativa a un valor escalar por alternativa. La tabla 1 representan los resultados de los criterios de diseños y_i para cada escenario s_k , para una determinada alternativa a_j .

Tabla 1. Matriz de resultados para la alternativa j .

$\{a_j\}$	s_1	s_2	s_3	s_k
y_1						
y_2						
y_3			$y_i(s_k, a_j)$			
:						
:						
:						
y_i						

Donde $y_i(s_k, a_j)$ es la probabilidad de que el criterio de diseño tome el valor y_i dada la ocurrencia del escenario s_k , la alternativa de diseño a_j , y las demás hipótesis (H) impuestas al diseño, esto se expresa como $p(y_i / s_k, a_j, H)$.

Como ejemplos de criterios de diseño se pueden mencionar algunos ejemplos dependiendo de los diferentes enfoques o puntos de vista, tales como: con un enfoque económico, el valor actual neto (VAN) de cada proyecto, desde un punto de vista social, la cantidad de mano de obra (MO) necesaria para un proyecto, desde un punto de vista ambiental podría ser la cantidad de ppm de contaminante en los efluentes (PPM) de las diferentes alternativas para el proceso, entre otros. Con respecto a las alternativas, se podrían mencionar por ejemplo citar las diferentes alternativas para producir ácido sulfúrico: alternativa 1, proceso de cámara de plomo, alternativa 2, por el método de contacto, y así sucesivamente. Otro ejemplo también podría ser un mismo proceso y las alternativas serían las diferentes posibilidades de localización.

Finalmente, como ejemplos de escenarios desde la visión climática podrían ser: la posibilidad de que ocurra un tsunami durante un proyecto en

Japón, la probabilidad de que se produzcan lluvias o sequías prolongadas para un determinado proyecto que depende de una materia prima que es un cultivo.

Los problemas de diseño bajo incertidumbre se pueden representar también como árbol de decisión, utilizando la herramienta aplicada en el punto anterior.

Para la asignación de probabilidades, se aplica las funciones predeterminadas disponibles en los paquetes convencionales de planillas de cálculos, tales como las funciones ALEATORIO() que devuelve un número aleatorio mayor o igual que 0 (cero) y menor que 1 (uno), por el cual el valor de la celda cambia al actualizarse o dar "Intro" (Enter) en cualquiera de las celdas. También la función ALEATORIO.ENTRE (inferior; superior) que regresa un número aleatorio diferente entre los límites especificados.

Estas funciones se pueden combinar con la función ENTERO, para generar un número entero aleatorio. Con esta primera aproximación, se pasa desde un típico problema determinístico a un problema estocástico que cambia al azar.

Por ejemplo, para la resolución de un problema necesitamos saber el valor de la probabilidad de ocurrencia de un escenario, al especificar el valor del parámetro como un valor constante e igual a 0,3, el problema queda resuelto, por lo que el problema se denomina determinístico. Este tiene un solo resultado, mientras se usen los mismos valores de las variables, se tendrá el mismo resultado.

En cambio, al usar las funciones ALEATORIO () y ALEATORIO.ENTRE(), con los que se ingresa el valor de probabilidad, estos dejan de ser fijo, haciendo que el resultado cambie cada vez que se actualiza cualquier celda, una vez asignado este valor el problema es estocástico. Por ejemplo se puede disponer de información de una fuente, donde le adjudica al valor de la probabilidad del escenario un intervalo, es decir que puede tomar un valor de $0,3 \pm 10\%$, por lo que la probabilidad se encuentra entre 0,27 y 0,33, estos valores representan los límites de la función, por lo que los valores se pueden generar de la función ALEATORIO.ENTRE(0,27;0,33), regresando valores diferentes entre esos límites, teniendo diferentes resultados para cada vez que se actualice una celda. Este problema estocástico, brindan resultados diferentes para cada valor de probabilidad, con un resultado para cada corrida o determinación.

Un aporte para el ejercicio es incorporar una tabla

de datos, recurso de Excel, donde una celda toma valores de probabilidad de una tabla, por lo que la misma cambia por cada uno de los valores de la tabla, regresando una tabla de resultados diferentes. Se puede proponer o generar una tabla de datos de 100 o 1.000,.... resultados, creando con ello una simulación de tipo Monte Carlo. Con los valores de los resultados se logra elaborar una gráfica de tipo de distribución de probabilidades. Un análisis de la salida de los resultados de este último problema nos brinda más información que en el original problema determinístico, ya que se obtiene una tabla de múltiples resultados, la que permite disponer de una distribución de probabilidad de estos.

2.3 *Análisis de sensibilidad*

Una contribución a la mejora de este tratamiento es la incorporación de complementos de análisis de riesgo y manejo de la incertidumbre, tales como Cristal Ball, @Risk o bien Risk Simulator, todos ellos operan sobre planillas de cálculos, como Excel.

Ambas empresas cuentan con este tipo de complementos similares, presentan versiones académicas y/o trial de prueba que permite acceder a ellos por un corto periodo de tiempo. Se basan en el modelado predictivo, previsión, simulación y optimización del sistema abordado. En general los problemas de análisis de sensibilidad trabajan sobre la simulación Monte Carlo, que consiste en generar un cuadro de pronósticos que muestra rango entero de posibles valores y la posibilidad de alcanzar cualquiera de ellos, León Sánchez et al. (2004), Del Carpio Gallegos, (2007).

Permite describir un rango de posibles valores para cada celda de incertidumbre dentro de la planilla de cálculo, que corresponden a las celdas donde se ubican las variables independientes y que tienen valores inciertos. De modo que todos los supuestos que se ingresen al modelo son expresados al mismo tiempo. De acuerdo con el complemento utilizado, este rango de posibles valores puede estar en 1.000, 10.000, 100.000, valores diferentes que se toman como valores de entrada, obteniendo la misma cantidad de valores de salida, uno para cada valor ingresado. El o los resultados, valores de salida, dependen fundamentalmente de los variables independientes, por lo que, al ingresar una distribución de valores a la entrada, se obtiene una distribución de valores para la variable de salida.

Para cada variable independiente se puede incorporar su rango de variación, mediante diferentes distribuciones de probabilidad. Esta simulación realiza todas las combinaciones posibles entre las variables. Por lo que brinda una distribución de salida que contempla todos los posibles resultados que se pueden dar.

Esta distribución de la variable de salida permite realizar un análisis más profundo de la situación, además se dispone de numerosa información que proporciona una conclusión más profunda, y un comportamiento más real del sistema estudiado.

En general se puede proponer diferentes tipos de distribuciones, para el valor de la variable de entrada, dependiendo de la información disponible por el tomador de decisión.

Entre las distribuciones que se disponen para asignar, a la variable de entrada o independiente, se encuentra la distribución Normal, Triangular, Uniforme, Logarítmico, Uniforme discreta, Binomial, Exponencial, Pert, Poisson, Gamma, Weibull, además de incorporar una tabla de valores.

3 APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 *Introducción al análisis de sensibilidad*

El ejemplo típico de análisis de sensibilidad, en las carreras de Ingeniería, es el estudio de los índices de rentabilidad de un proyecto variando los diferentes factores que influyen en un proyecto de inversión. Los indicadores de rentabilidad más utilizados en el estudio de factibilidad económica de un proyecto son: el valor actual neto (VAN), también expresado como valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio costo (B/C), el periodo de recuperación de la inversión y el índice de rentabilidad (Towler, Sinnott, 2012), también Peters (2003).

Variando las variables independientes de las cuales depende estos indicadores, tales como el costo de la materia prima (MP), costo de la mano de obra (MO), inversión fija (IF), capital de trabajo (CW), capacidad de producción (CP), precio de ventas (PV), etc.

La selección de estas variables se realiza de acuerdo con la forma que se detalla a continuación. Primeramente, se realiza el cálculo del valor del costo total de inversión (CT), y se detallan todos los ítems, variables independientes, y en qué porcentaje contribuyen al valor del costo total de inversión. Finalmente se seleccionan

aquellas variables que contribuyen e influyen en mayor medida, tomando estas como variables inciertas de entrada.

Towler y Sinnott (2012), presentan una tabla con diferentes parámetros característicos y con rangos de variaciones típicos. En general estas variaciones son simétricas e iguales, variando levemente entre variable y variable. Estos deltas de variación pueden estar entre 5%, 10% o 20% tanto para su incremento como para su disminución. Esta simetría es formal ya que la experiencia en nuestro país muestra que es difícil que los valores por ejemplo de costos de materia prima o costos de mano de obra disminuyan de forma simétrica a su aumento, estos valores nunca decrecen.

3.2 Aplicación al ejemplo de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se aplica al estudio de factibilidad económica, para el proyecto de producción de pentaborato de sodio con déficit de ácido, investigado por Domínguez, (2019).

Los valores característicos de los parámetros del proyecto considerado como caso base se presentan a continuación:

- ✓ Valor de la Inversión Total: 4,12 Millones U\$\$
- ✓ Tasa de oportunidad: 13%

Las variables independientes o, de entrada:

- ✓ Costo Materia Prima: 386,1 U\$\$/t
- ✓ Precio Producto: 1.200 U\$\$/t
- ✓ Inversión en Capital Fijo: 3,42 millones U\$\$/t
- ✓ Capacidad de producción: 10.000 t/a

Mientras que las variables de Salida a analizar:

- ✓ Valor Actual Neto (VAN): 10,89 millones U\$\$
- ✓ Tasa Interna de Retorno (TIR): 38% a

Se considera una variación de $\pm 20\%$ simétrica al valor base, para proceder con el análisis de sensibilidad.

Primeramente, a cada una de las variables de entrada indicadas como variables inciertas se las considera que presentan una distribución de probabilidades, para este caso se asigna una distribución triangular, ya que aparte del valor nominal se conoce un valor inferior y uno superior de un posible futuro incremento, tal

como se muestra en la Fig. 1.

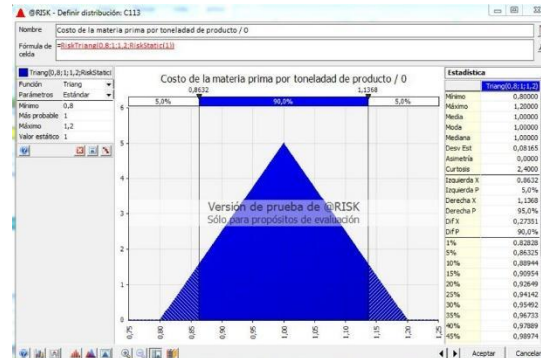


Figura 1. Distribución de probabilidad triangular para la variación de la materia prima.

De igual manera se le asigna una distribución de probabilidades a cada una de las demás variables independientes, dependiendo del conocimiento o información disponibles de las mismas. En general cuando se desconoce, de su forma de variación se toma una distribución del tipo Normal (gaussiana).

Posteriormente, para la variable de salida, como el VAN, de acuerdo al complemento utilizado, sea esté Crisral Ball, @Risk o Risk Simulator, se selecciona el botón *definir prevención*, *Añadir salida* o bien *propiedades de pronóstico*, con dicha acción se define a la celda que presenta un comportamiento incierto a la salida, la misma se representa por una distribución de probabilidad del VAN, de igual manera se procede para la TIR, o cualquier otro indicador que se quiera estudiar.

Finalmente, definidas las entradas, las salidas, se inicia la simulación tipo Monte Carlo, se presiona el botón Iniciar, Iniciar simulación o Correr, comienza la simulación. Este proceso realiza tantas simulaciones como se quiera y hasta 100.000 iteraciones, de todas las combinaciones de las variables de entrada posibles para generar una distribución de la variable de salida como se observa en la Fig. 2.

En la Fig. 2 se presenta el resultado de las 100.000 iteraciones llevadas a cabo, obteniendo una distribución de probabilidades del VAN.

De igual manera, se obtiene distribuciones de probabilidad para las demás salidas requeridas.

En la Fig. 2 se observa fácilmente y a simple vista, que la probabilidad de que el VAN sea mayor a cero (considerado proyecto factible) es de 97,5%.

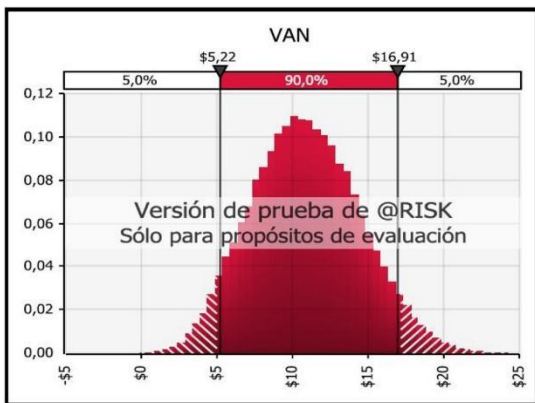


Figura 2. Distribución de probabilidad de la Respuesta VAN

Estos softwares, confeccionan para las variables de salidas, diferentes tipos de gráficos, como la curva acumulada o el grafico de tornado que muestra en que cantidad y en orden jerárquico la contribución de las variables de entrada a la variación de la salida. En la Fig. 3 se visualiza el grafico de tornado del VAN, en él se muestra la importancia relativa de cada variable de entrada.

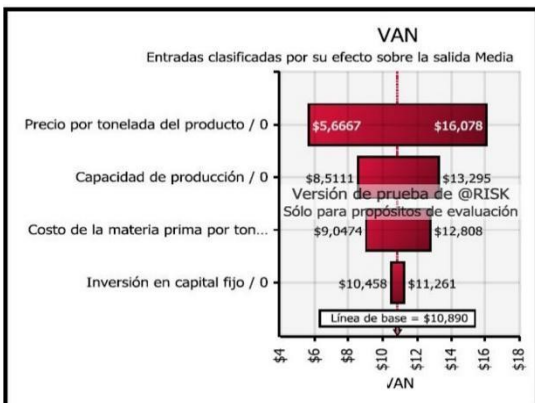


Figura 3. Curva de tornado de la respuesta VAN

En la Fig. 3, se observa la importante contribución del precio del producto a la variación del VAN. También se observa la relevancia del precio del producto sobre las demás variables, mostrando una jerarquía sobre la capacidad de producción y a su vez está sobre el costo de materia prima, y finalmente sobre la inversión en capital fijo que influye muy poco en la variación del VAN. Se concluye además que una variación de $\pm 20\%$ de la inversión en capital fijo produce variaciones menores en el VAN.

El análisis de las gráficas de la salida de la tasa interna de retorno proporciona quizás más información, tal como se presenta en la Fig. 4.

Se evidencia en la Fig. 4 la curva de distribución de probabilidad de la TIR lo que representa la contribución de las 100.000 iteraciones de la combinación de las variables de entrada.

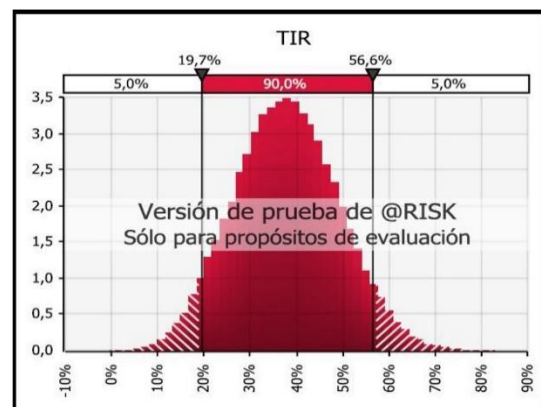


Figura 4. Distribución de probabilidad de la TIR.

El complemento, por defecto representa en la Fig. 4 la situación que se produce para el rango de probabilidad de ocurrencia del 90%, que supone que la TIR se encuentra entre un valor mínimo de 19,7% y un valor máximo de 56,6%. También se expresa que con un 95% de probabilidades el proyecto presenta valores de la TIR mayores a un 19,5%, valor éste superior a la tasa de oportunidad considerada del 13%.

Con probabilidades mayores al 95% de las veces es más rentable y supera a la tasa de oportunidad.

4 CONCLUSIONES

Con la utilización de estos recursos, se consiguen realizar mejores análisis y con mayor profundidad, con lo que se procesan conclusiones más amplias sobre los resultados, con métodos rigurosos, obteniendo como resultado una disminución considerable de la incertidumbre inicial.

Al emplear estos complementos, de forma independiente, o mediante la incorporación de fórmulas de planillas de cálculos, es un principio una mejora en el análisis de incertidumbre.

Para los problemas del tipo de análisis de sensibilidad de proyecto, se tiene la posibilidad de

disponer de distribuciones de probabilidad de las variables de salida, debida a variaciones aleatorias en las estimaciones de los parámetros del proyecto, que también lo hacen mediante una distribución de probabilidades, mejorando así el abordaje clásico, de variaciones individuales, con el que se obtiene un solo valor.

Al incorporar escenarios futuros e inciertos en los estudios mejoran los pronósticos de análisis.

Se ha potenciado el análisis de los resultados, en particular en los problemas abordados en la cátedra de Diseño de Procesos de la carrera de Ingeniería Química, de la Universidad Nacional de Salta.

5 AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a la Profesora Inés Amaduro, titular de la Cátedra de Inglés, de la Facultad de Ingeniería de la UNSa., que sin su valioso aporte este trabajo no podría haber sido posible.

6 REFERENCIAS

- Del Carpio Gallegos, J., Análisis de riesgo en la evaluación de alternativas de inversión utilizando Cristal Ball, *Gestión y Producción, Ind. Data* 10(1), p55-58, 2007.
- Domínguez, O. J., *Desarrollo de Tecnologías para la obtención de boratos refinados*, 1er Edición. O.J. Domínguez, Buenos Aires, Argentina. 2019.
- Gallardo Ku, J. D., *Notas en teoría de la incertidumbre*. 1a ed., Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, Lima, Perú, 2018. ISBN 978-612-317-433-0
- González Cortés, M., Pedraza Gárciga, J., Clavelo Sierra, D., González Suárez, E., Incertidumbre en la Integración de Procesos para el desarrollo de Biorefinerías. *Rev. Centro Azúcar* Vol 42, No. 3, Julio-Septiembre 2015 (pp. 30-38).
- León Sánchez, D. P., Quintero Rodríguez, I. M., Zuñiga Muñoz, W., *Crystal Ball. Software de Análisis y Simulación de Riesgo*. Unidad de informática y Comunicaciones, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, PDF, 2004. http://www.fce.unal.edu.co/media/files/UIFCE/Finanzas/Crystal_Ball_1.pdf.
- Maroto, A., Boqué, R., Riu, J., y F. Xavier Rius *Incertidumbre y precisión*. 2001. Técnicas de Laboratorio, 266 (2001) 834-837. <http://www.quimica.urv.es/quimio/general/incert.pdf>
- Peters, M., Timmerhaus, K. y West, R. E., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 5th Edition, s.l.: McGraw-Hill, 2003. ISBN 0-07-119872-5.
- Scenna, N., *Modelado, simulación y optimización de procesos químicos*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2000.
- Scenna, N. J., Benz, S. J., Introducción al diseño de procesos químicos, Breves nociones, En Nicolás J. Scenna. (Ed.), *Modelado, simulación y optimización de procesos químicos*. Universidad Tecnológica Nacional, (pp 29-82), CABA, Argentina, 2000.
- Sinnott, R., Towler, G. *Diseño en Ingeniería química*, 5ta edición, Ed. Reverte, Barcelona, España, 2012. ISBN: 978-84-291-7199-0.
- Slashdot Media, Source Force: Simple Decision Tree, Sacramento, California, EEUU, (2012). <https://sourceforge.net/projects/decisiontree/files/decisiontree/1.4/>
- Taha, H. A., *Investigación de Operaciones*, Person Education, 9na edición, Naucalpan de Juárez, Mexico, 2012.
- Towler G. P., Sinnott, R., *Chemical engineering design: principles, practice, and economics of plant and process design*, Ed. Reverte, 2da Ed., United States of America, 2012.
- Varian, Hal R., *Microeconomía Intermedia*, octava edición, Antoni Bosch editor, Barcelona, España, 1996.

Influencia de la relación Si/Al y la temperatura en una reacción de transesterificación catalizada por zeolita H-ZSM-5

Macías, Carolina B.¹; Corregidor, Pablo F.^{1,2}

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa), Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina.*

caro.macias.24@gmail.com

(2) *Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI-UNSa-CONICET), Centro Científico Tecnológico Salta-Jujuy, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina.*

pcorregidor@unsa.edu.ar

RESUMEN

Se estudió la influencia de la relación Si/Al y la temperatura en la reacción de transesterificación entre acetato de vinilo y alcohol isoamílico catalizada por zeolita ZSM-5, como alternativa moderna a la tradicional esterificación de Fischer que permite generar acetato de isoamilo. Los resultados obtenidos en este trabajo ponen en evidencia la obtención del éster en cuestión, conjuntamente con un acetal que surge de la reacción entre alcohol isoamílico y acetaldehído. Los catalizadores fueron caracterizados empleando diferentes técnicas fisicoquímicas de análisis (DRX, SEM, FTIR y caracterización textural). Por otro lado, la conversión de la reacción presenta un máximo para una relación Si/Al 70–90, implicando un balance adecuado entre polaridad y cantidad de sitios ácidos de la red. Se evaluaron tres parámetros catalíticos: conversión, selectividad y actividad, los cuales pueden ser explicados en función de la cantidad de Al presente en la red, poniendo de manifiesto la influencia de la polaridad, cantidad de sitios ácidos y posibles fenómenos de confinamiento en el volumen intra-cristalino de la zeolita. Finalmente, a partir del valor de energía de activación se puede concluir que la reacción en estudio no se encuentra gobernada por procesos difusivos, en cambio se puede plantear como un proceso controlado por el fenómeno químico.

ABSTRACT

The influence of the Si/Al ratio and the temperature has been studied in the transesterification between vinyl acetate and isoamyl alcohol catalyzed by ZSM-5 zeolite, as a modern alternative to the traditional Fischer's esterification allowing the preparation of isoamyl acetate. The results obtained here evidenced the generation of the desired ester as well as a ketal produced by a reaction between isoamyl alcohol and acetaldehyde. The catalysts were characterized using different analytical techniques (XRD, SEM, FTIR and textural characterization). On the other hand, the conversion of the reaction evidenced a maximum for Si/Al molar ratios of 70–90, involving an adequate balance between the polarity and amount of acid sites. Three catalytic parameters were evaluated: conversion, selectivity and activity which can be explained by the amount of Al present in the framework, evidencing the influence of polarity, amount of acid sites and possible confinement effect in the intra-crystalline volume of the zeolite. Finally, from the value of kinetic energy one can infer that the studied reaction is not a diffusion controlled process, however it may be considered as a chemically controlled one.

Palabras claves: zeolita-ZSM-5-catálisis heterogénea-transesterificación-acetato de isoamilo

Keywords: zeolite-ZSM-5-heterogeneous catalysis-transesterification-isoamyl acetate

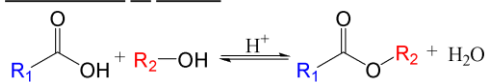
1. INTRODUCCIÓN

Los ésteres orgánicos son una importante familia de compuestos cuyo grupo funcional tiene un

significativo interés en la química ya que forma parte de numerosos productos naturales y sintéticos (Otera, 2009). El método tradicional

con el cuál suelen prepararse involucra una esterificación de Fischer (Fischer, 1895), en honor al primero en describir las reacciones de esterificación entre ácidos carboxílicos y alcoholes, planteando un proceso termodinámicamente reversible en el cuál reactivos y productos se encuentran en equilibrio (Fig. 1). Su extensiva aplicación en la industria es una cualidad fundamental y distintiva con otras reacciones (Otera, 2009). Sin embargo, algunos ácidos carboxílicos presentan inconvenientes de solubilidad en varios solventes orgánicos, lo cual dificulta su realización. En este sentido, las reacciones de transesterificación presentan una ventaja frente a la esterificación, en la cual un éster reactivo se hace reaccionar con un alcohol para generar un nuevo éster y otro alcohol (Fig. 1).

Esterificación de Fischer



Transesterificación

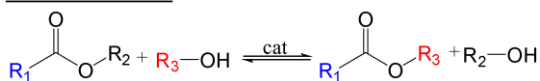


Figura 1: Reacciones de esterificación y transesterificación.

Por otro lado, las reacciones de esterificación involucran el empleo de ácidos minerales tales como sulfúrico, clorhídrico o fosfórico como catalizadores homogéneos, lo cual presenta el inconveniente de corrosión de reactores, imposibilidad en la recuperación del catalizador y neutralización de los efluentes, entre otros. En ese sentido, se han reportado diferentes catalizadores heterogéneos de tipo ácido, dentro de los cuales las zeolitas han demostrado un adecuado comportamiento catalítico (Corregidor, 2020). Particularmente, la zeolita ZSM-5 demostró una conversión y selectividad adecuada en la mencionada reacción.

El empleo de alquénil ésteres, tales como el acetato de vinilo, ha sido reportado previamente como agente acilante (Corregidor, 2019). La ventaja de su empleo se basa en que la transformación éster a éster empleando tal reactivo genera alcohol vinílico (Fig. 2), el cuál rápidamente tautomeriza a acetaldehído bajo las condiciones de reacción, escapándose del sistema y favoreciendo la conversión al desplazar el equilibrio hacia la formación de productos. Sin

embargo, la generación de acetaldehído genera un centro electrofílico, adicional al carboxilo del acetato de vinilo, con lo cual el ataque nucleofílico por parte del alcohol isoamílico se puede llevar cabo en dos centros: 1) sobre el C=O del acetato de vinilo y 2) sobre el C=O del acetaldehído. El ataque sobre este último genera el respectivo acetal.

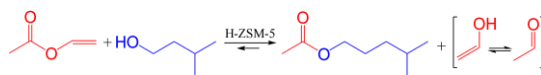


Figura 2: Transesterificación entre acetato de vinilo y alcohol isoamílico.

En el presente artículo nos disponemos estudiar la influencia que presentan la temperatura de trabajo y la relación Si/Al de la red del catalizador en una reacción de transferencia del grupo acetilo entre acetato de vinilo y alcohol isoamílico, catalizada por zeolita H-ZSM-5. Para ello se evaluaron tres parámetros catalíticos: conversión, selectividad y actividad, con la finalidad de relacionar el comportamiento de la reacción bajo la influencia de zeolitas ZSM-5 con distinta cantidad de Al en la red. Es decir, catalizadores de una misma familia con diferente polaridad y densidad de sitios ácidos. Por otro lado, se estudió la influencia de la temperatura de trabajo con la finalidad de evaluar si la reacción en estudio se encuentra sometida a un régimen controlado por la química del proceso o con predominio por parte de procesos difusivos.

2 EXPERIMENTAL

2.1 Materiales y reactivos

Se utilizaron diferentes zeolitas ZSM-5 comerciales, como se muestra en la Tabla 1.

Para el estudio de la reacción se empleó: acetato de vinilo (Sigma Aldrich, $\geq 99\%$) y alcohol isoamílico (Biopack, $\geq 98,5\%$) en tolueno (Merck, GC). Los reactivos fueron utilizados en las mismas condiciones bajo las cuales fueron recibidos.

Tabla 1. Zeolitas ZSM-5 empleadas en el estudio.

Denominación	Si/Al*	Forma	mmoles Al/g de cataliz.
H-Z15	15	NH ₄ ⁺	0,991
H-Z80	80	H ⁺	0,196
H-Z140	140	NH ₄ ⁺	0,112

*Reportados por el fabricante

2.2 Acondicionamiento de los catalizadores

Los catalizadores bajo la forma amónica (NH_4^+) fueron convertidos a la forma protónica (H^+) mediante descomposición térmica del catión amonio, elevando paulatinamente la temperatura hasta $450\text{ }^\circ\text{C}$, en una mufla durante 6 h.

Previo a la utilización de los catalizadores en la reacción estudiada, se pesó una cantidad adecuada de los mismos empleando una balanza analítica. Posteriormente, se realizó una activación térmica a $550\text{ }^\circ\text{C}$ en sendos viales de vidrio.

2.3 Técnicas de caracterización

Los catalizadores así obtenidos fueron sometidos a diferentes técnicas fisicoquímicas de análisis.

2.3.1 Difracción de Rayos X (DRX)

La fase correspondiente a zeolita ZSM-5 fue identificada en cada una de las muestras, empleando un equipo de difracción de Rayos X Rigaku-Denki D-Max IIC, recurriendo a radiación $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda=0,15415\text{ nm}$) en el rango de ángulos 2θ comprendidos entre $10\text{--}48^\circ$.

2.3.2 Caracterización textural

Los caracteres texturales se obtuvieron a partir de isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno. Las muestras fueron sometidas a un de-gaseado bajo ultra-vacío a $150\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h, previo a la determinación de las isotermas a la temperatura de nitrógeno líquido, empleando un sistema automático de adsorción de gases Micromeritics ASAP 2020. La superficie específica (S_{BET}) se obtuvo aplicando el modelo BET en la zona baja de p/p° , considerando que: i) la constante C debe ser positiva, ii) el término $V(1 - p/p^\circ)$ tiene que crecer con los valores de p/p° y iii) la capacidad de la monocapa se debe encontrar en el rango de presiones relativas seleccionado para el cálculo.

2.3.3 Espectroscopía infrarrojo (FTIR)

Los espectros infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), se determinaron en el rango espectral comprendido entre $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ empleando un espectrofotómetro Spectrum GX-FTIR Perkin Elmer, diluyendo las muestras ($\sim 1\%$) y ejerciendo una presión de 2 Tn/cm^2 , para

conseguir pastillas con las muestras dispersas en una matriz de KBr.

2.3.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Los caracteres morfológicos y el tamaño de las partículas fueron determinados en un microscopio electrónico de barrido ZEISS-SUPRA 55-VP FESEM operando a $2\text{--}4\text{ kV}$. Previo a las determinaciones, las muestras fueron sometidas a un metalizado con oro.

2.4 Determinación de la actividad catalítica

El estudio catalítico de la reacción entre acetato de vinilo y alcohol isoamílico se llevó a cabo en viales de vidrio herméticamente cerrados, bajo agitación continua (1000 rpm), colocados en sendos orificios de un bloque metálico, controlando la respectiva temperatura de trabajo ($50, 70$ o $90\text{ }^\circ\text{C}$). En una corrida típica, una solución de acetato de vinilo ($1,000\text{ mol/L}$) y alcohol isoamílico ($0,100\text{ mol/L}$) en tolueno, se inyecta en un vial herméticamente sellado, conteniendo una cantidad adecuada de catalizador ($110,0\text{ mg}$) a temperatura ambiente. Posteriormente, se toman pequeñas alícuotas de la reacción a diferentes tiempos, para ser analizadas en un cromatógrafo Perkin Elmer Clarus 580 (CG-FID) provisto de una columna capilar Elite-5. Los reactivos y productos fueron identificados mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masa (CG-MS) en un equipo Perkin Elmer Clarus 680. Las condiciones de análisis son las mismas que las reportadas previamente (Corregidor, 2019). La conversión del alcohol isoamílico (χ_{alcohol}) y la selectividad para los productos de reacción: acetato de isoamilo (S_{AcOI}) y el acetal que se genera entre el acetaldehído y alcohol isoamílico (S_{acetal}), quedan definidas mediante las siguientes expresiones:

$$\chi_{\text{alcohol}} = \frac{\text{moles de alcohol convertidos}}{\text{moles iniciales de alcohol}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$S_{\text{AcOI}} = \frac{\text{moles de acetato de vinilo}}{\text{moles de alcohol convertidos}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$S_{\text{acetal}} = \frac{\text{moles de acetal}}{\text{moles de alcohol convertidos}} \cdot 100 \quad (3)$$

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización de los catalizadores

En la Fig. 3 se presentan los patrones de difracción de RX para cada uno de los catalizadores estudiados. Se puede observar que los mismos exhiben el patrón de difracción característico de la red MFI, con señales típicas en la zona de ángulos comprendida entre 22–25°, sin detectarse fases cristalinas diferentes.

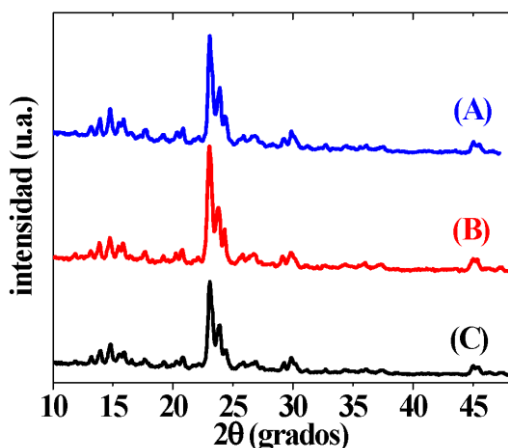


Figura 3: Patrones DRX. A) H-Z15, B) H-Z80 y C) H-Z140.

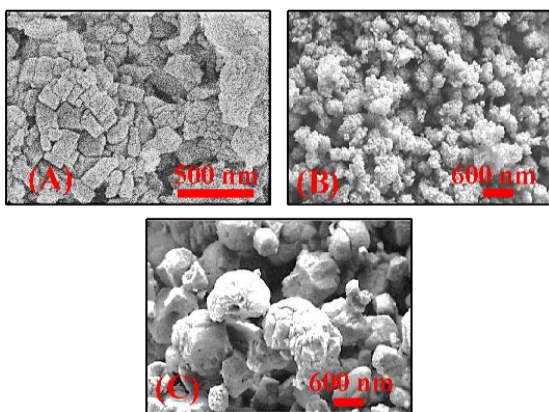


Figura 4: Microfotografías SEM. A) H-Z15, B) H-Z80 y C) H-Z140.

Por otro lado, las microfotografías SEM (Fig. 4) permiten evidenciar el tamaño ($T_{partícula}$), forma y agregación de las partículas. Las más pequeñas (Tabla 2) se presentan para el catalizador H-Z80, en aglomerados de 500–700 nm, mientras que H-Z15 se presenta bajo partículas poliédricas de 150–250 nm. Por otro lado, el material H-Z140 exhibe fragmentos esféricos de partículas un poco más grandes (~0,6–1,5 μm).

En la Tabla 2 se resumen los caracteres texturales más sobresalientes, tales como superficie específica (S_{BET}), volumen de microporos (V_{mic} , determinado mediante t -plot empleando la rama de adsorción) y volumen total (V_{total}), obtenidos a partir de las respectivas isotermas de adsorción de N_2 .

Tabla 2. Caracteres morfológicos y texturales de los catalizadores.

Zeolita	S_{BET} m^2/g	V_{mic} cm^3/g	V_{total} (nm)	$T_{partícula}$
H-Z15	448	0,15	0,19	150-250 nm
H-Z80	490	0,17	0,20	500-700 nm
H-Z140	475	0,17	0,20	0,6-1,5 μm

A los fines prácticos, se observa que los tres catalizadores presentan los mismos caracteres texturales.

Por otra parte, los espectros FTIR en la zona 1400–400 cm^{-1} se presentan en la Fig. 5.

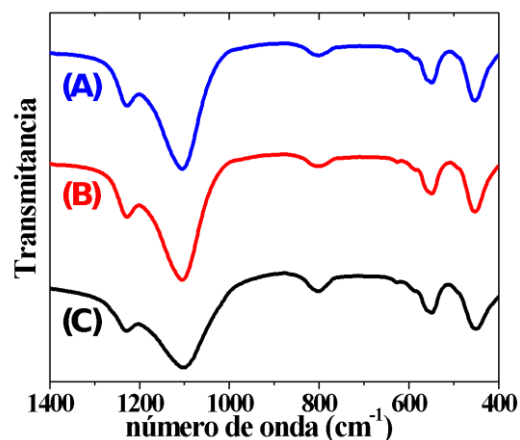


Figura 5: Espectros FTIR. A) H-Z15, B) H-Z80 y C) H-Z140.

Estos presentan las señales características de la red MFI en la zona de 545 cm^{-1} , correspondiente a una banda sensible a la estructura mediante un modo de estiramiento asimétrico de los bloques D5R, lo cual distingue a la zeolita ZSM-5 de otras. Una banda en 1226 cm^{-1} es también característica de esta red y se explica en base al estiramiento asimétrico O–T–O de modos intra-tetraedricos. También se encuentran presentes otras señales comunes a los materiales zeolíticos tales como las reportadas previamente (Corregidor, 2014).

Finalmente, a partir de las técnicas de caracterización empleadas, surge que los catalizadores presentan una adecuada cristalinidad, ausencia de otras fases cristalinas y caracteres texturales acordes a un material netamente microporoso, como el de una zeolita ZSM-5. Esta información resulta de gran importancia al momento de correlacionar la actividad catalítica con las propiedades de los catalizadores.

3.2 Actividad catalítica

En la Fig. 6 se presentan las curvas de conversión para el alcohol isoamílico en función del tiempo, empleando catalizadores con diferentes relación Si/Al y trabajando a 90 °C.

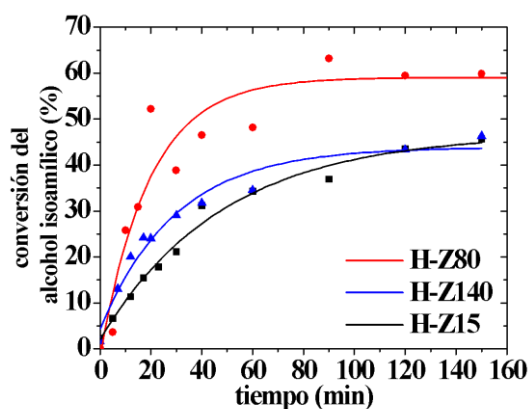


Figura 6: Curvas de conversión del alcohol isoamílico vs. tiempo.

Se puede observar que el catalizador H-Z80 presenta la mejor conversión (60 %), en tanto que los otros muestran conversiones inferiores.

En la Fig. 7 se presenta la influencia de la relación Si/Al en la conversión del alcohol isoamílico. Se puede apreciar un máximo para Si/Al=80 con una conversión que toma valores entre 55–60 % en el intervalo $70 \leq \text{Si/Al} \leq 90$.

Esto podría explicarse teniendo en cuenta que una relación Si/Al=80 puede proporcionar un equilibrio entre la hidrofobicidad de la red del catalizador y la cantidad de sitios ácidos de Brønsted. Es conveniente aclarar en este momento, que la presencia de aluminio en una red zeolítica le confiere hidrofiliidad ya que la introducción de una especie trivalente como Al(III) implica la generación de una carga negativa descompensada en la misma. De esta manera, cationes como el ión H^+ compensan este

exceso de carga negativa, dando origen a la acidez tipo Brønsted en las zeolitas. Una red con menor relación Si/Al tiene mayor densidad de sitios ácidos, brindando medios propicios para la formación de intermediarios iónicos. En cambio, catalizadores con relaciones Si/Al elevadas, generan un medio más hidrofóbico, con una baja densidad de sitios ácidos, lo cual podría explicar las bajas conversiones observadas.

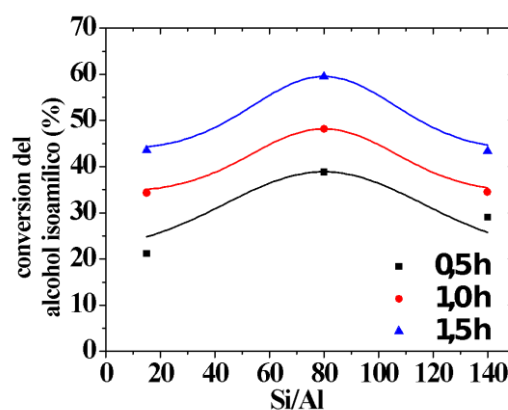


Figura 7: Curvas de conversión del alcohol isoamílico vs. la relación molar Si/Al del catalizador.

Por otro lado, la selectividad de la reacción se evidencia en la Fig. 8. En todo los casos se puede apreciar una leve preferencia hacia la formación del acetal (~60), lo cual es acorde a lo propuesto en reportes previos (Corregidor, 2020) por cuanto la formación del mismo se debe a la mayor dificultad para acceder a los sitios ácidos por parte del alcohol isoamílico. Sin embargo, el acetaldehído generado, rápidamente escapa del interior de los microporos, poniendo a disposición su carbono electrofílico para el ataque por parte del nucleófilo (alcohol isoamílico). Por lo tanto, la generación del acetal se plantea como un producto secundario, en la cual no participan los sitios ácidos del catalizador. De esta manera, la mayor dificultad para llegar a los sitios ácidos por parte del alcohol isoamílico (para producir acetato de isoamilo) hace que la selectividad en una red microporosa se vea favorecida por la formación del mencionado acetal. Este inconveniente queda solucionado por la presencia de mesoporos (Corregidor, 2020).

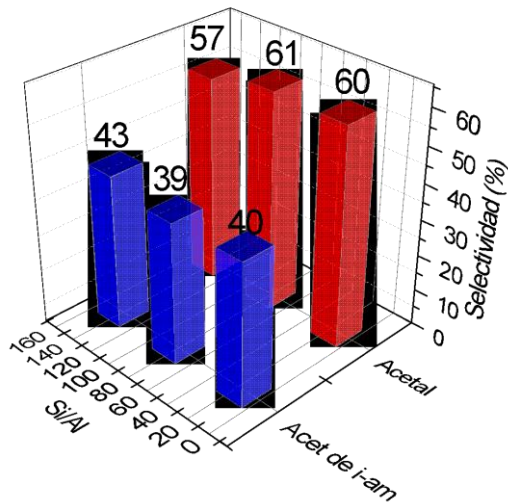


Figura 8: Selectividad de la reacción.

La actividad de los catalizadores se determinó como valores de “turnover frequency inicial” (TOF^0) calculados a partir de (4):

$$TOF^0 = \frac{n_{AcOI}}{(n_{Al} \cdot m_{cat} \cdot t^0 \cdot N_A)} \quad (4)$$

En donde, n_{AcOI} es la cantidad de moléculas de acetato de isoamilo producida en un tiempo inicial (t^0), n_{Al} es la cantidad de aluminio presente (mol/kg) en una masa m_{cat} de catalizador (kg). N_A es el número de Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23}$ centros de Al/mol). Los valores de TOF^0 calculados se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. TOF^0 empleando catalizadores con diferente relación Si/Al.

Zeolita	Fracción molar de Al	TOF^0 ($10^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)
H-Z15	0,0625	3,1
H-Z80	0,0123	29,2
H-Z140	0,0071	28,8

Se puede observar que de los catalizadores estudiados, H-Z80 y H-Z140 son los más activos, siendo los valores de TOF^0 prácticamente constantes para los mismos, es decir para catalizadores con una fracción molar de Al hasta 0,01. El valor de TOF^0 luego decae al incrementar la cantidad de Al, lo cual es coherente con los resultados de otros autores (Derouane, 2000). Estos han reportado un comportamiento similar para la influencia de la relación Si/Al en reacciones de acetilación catalizadas por zeolitas, atribuyendo dicho efecto

a un fenómeno de confinamiento en la red y alterada por la relación Si/Al, ya que afecta la polaridad de la zeolita. Cuando la relación Si/Al es elevada, no se ve afectada por la cantidad de Al y de la misma manera lo hacen las constantes para el equilibrio de adsorción de reactivos y productos. Estas últimas son consideradas verdaderas constantes de partición, que describen la distribución de reactivos y productos entre la fase líquida y el interior de la zeolita. Todo esto acontece gracias al efecto de confinamiento que será comentado más adelante.

Debido a que los catalizadores estudiados presentan caracteres texturales similares, las diferencias observadas en la actividad catalítica no pueden ser adjudicadas a las pequeñas variaciones en la superficie específica, volumen de microporos y/o volumen total de poros. Sin embargo, no se puede asegurar lo mismo al intentar realizar un análisis teniendo en cuenta el tamaño de partículas. Como se explicó anteriormente, el catalizador H-Z140 presenta las partículas de mayor tamaño, mientras que H-Z15 y H-Z80 se exhiben bajo la forma de aglomerados de partículas nanométricas. Podríamos adelantarnos en pensar que la diferencia en actividad catalítica puede surgir como consecuencia del tamaño de partículas, atribuyendo una disminución en la actividad de H-Z140 a la presencia de partículas de mayor tamaño (menor capacidad de difusión a los centros activos). Sin embargo, hay que tener en cuenta que con este razonamiento, los otros catalizadores deberían presentar una actividad similar entre sí, al exhibir partículas de tamaños parecidos.

Bajo esta idea, la influencia de la temperatura en la actividad catalítica, podría ser de utilidad para verificar si la reacción estudiada se encuentra afectada por fenómenos difusivos, en cuyo caso debería exhibir una influencia por el tamaño de partículas del catalizador o si la misma se encuentra sometida a un régimen controlado por la química del proceso. En ese sentido, varios autores (Demirkıran, 2009, Tolaba, 2018) han hecho uso del valor de energía de activación aparente del proceso para analizar la influencia de tales factores.

Con tal motivo, se estudió la reacción catalizada por H-Z80 bajo las mismas condiciones mencionadas, pero haciendo variar la temperatura de trabajo a 50, 70 y 90 °C. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Fig. 9.

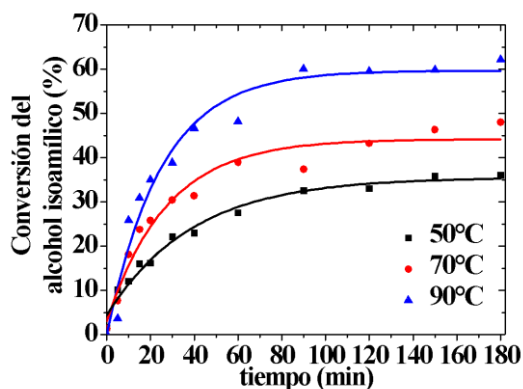


Figura 9: Curvas de conversión del alcohol isoamílico vs. Tiempo para la reacción catalizada por H-Z80 a diferentes temperaturas.

Como era de esperar, un incremento en la temperatura de reacción aumenta la conversión del reactivo limitante. Por otro lado, se observó que la temperatura de trabajo también influye en la selectividad de la reacción, tal como se muestra en la Fig. 10.

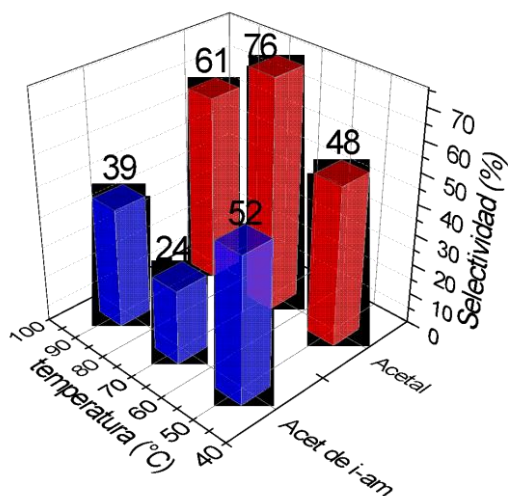


Figura 10: Selectividad de la reacción catalizada por H-Z80 a diferentes temperaturas.

Como se puede observar, la influencia de la temperatura en la selectividad de la reacción no parece tener una explicación sencilla a simple vista.

Estas observaciones podrían justificarse, teniendo en cuenta un fenómeno de confinamiento molecular en el interior del volumen cristalino, ejercido por las zeolitas, sobre reactivos y productos. Tal efecto es capaz de conferir una

estabilización similar a la provocada por un solvente de reacción, razón por la cual se le atribuye a las zeolitas la condición de solventes sólidos. Esto favorece la interacción con reactivos y productos en diferente medida y puede ser descripto mediante constantes de equilibrio de adsorción. Tal fenómeno es dependiente de la temperatura, como así también de la polaridad de la red del catalizador, la cual viene dada por su relación Si/Al. Por lo tanto, el efecto de confinamiento para la reacción en cuestión merece un estudio posterior que intente explicar cómo la diferente distribución de reactivos y productos en el volumen interior de la zeolita ZSM-5 influye en la mencionada reacción.

Los valores de TOF° para el estudio de la influencia de la temperatura quedan reflejados en la tabla 4.

Tabla 4. TOF° para diferentes temperatura.

Temperatura (°C)	TOF° (10 ⁻² ·min ⁻¹)
50	19,6
70	24,6
90	26,2

Teniendo en cuenta que la reacción es de segundo orden, trabajando en exceso de uno de los reactivos (Corregidor, 2020), se determinó el valor de energía de activación a partir del ajuste de la gráfica de ln k vs 1/T (donde k es la constante de velocidad a una cierta temperatura), considerando un comportamiento tipo Arrhenius. Los valores obtenidos mediante dicho ajuste se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros obtenidos mediante ajuste considerando un comportamiento tipo Arrhenius.

Parámetro	Valores
Factor pre-exponencial (A)	3·10 ⁸ L/mol·min
Energía de activación (E _a)	59,79 kJ/mol
Coef. de determinación (R ²)	0,9979

Los procesos heterogéneos controlados por fenómenos difusivos son débilmente dependientes de la temperatura, en tanto que aquellos controlados químicamente dependen fuertemente de ella. La energía de activación (E_a) para un proceso gobernado por fenómenos difusivos se encuentra entre 4–12 kJ/mol, mientras que para un proceso controlado químicamente es generalmente superior a 40 kJ/mol (Demirkiran, 2009). Por lo tanto, a partir del valor de E_a

calculado, se puede asegurar que los efectos difusivos son despreciables frente al control químico para la reacción en estudio, en las condiciones planteadas.

4 CONCLUSIONES

Se estudió la influencia de la relación molar Si/Al en la reacción entre acetato de isoamilo y alcohol vinílico catalizada por zeolita ZSM-5. Se encontró que la relación óptima presenta un máximo de conversión para el intervalo Si/Al=70–90. La diferencia observada en la conversión, selectividad y TOF° se puede explicar en función de la cantidad de Al presente y la estructura microporosa de la red. A partir de la relación Si/Al se puede ajustar la polaridad y el número de centros ácidos presentes en el catalizador, con la finalidad de obtener una adecuada actividad catalítica.

El efecto de la temperatura en la reacción permite obtener la energía cinética aparente de la reacción (59,79 kJ/mol), la cual indica que prevalece un control químico del proceso, frente a los fenómenos difusivos.

Por otro lado, se plantea la posible influencia de un efecto de confinamiento por parte de reactivos y productos, en el interior del catalizador, como posible explicación a la diferente actividad catalítica, en virtud de las distintas relaciones Si/Al del catalizador. La diversa polaridad de los catalizadores podría influir en las constantes de equilibrio de adsorción haciendo que reactivos y/o productos reflejen diferente grado de estabilización en el volumen intra-cristalino de la zeolita.

Finalmente, el mismo efecto de confinamiento planteado para catalizadores con varias relación Si/Al, podría ser considerado para explicar las posibles variaciones en conversión, selectividad y actividad con la temperatura de la reacción.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) por la ayuda económica brindada en calidad del Proyecto 2546. C. B. Macías agradece al CIUNSa por el estímulo recibido bajo una beca

BIEA, brindándole la posibilidad de ingresar al campo de la investigación.

6 REFERENCIAS

- Corregidor, P. F., D. E. Acosta y H. A. Destéfani. Green Synthesis of ZSM-5 Zeolite Prepared by Hydrothermal Treatment of Perlite. Effect of Chemical Composition and Characterization of the Product. *Science of Advanced Materials* 6(6), 1203-1214, 2014.
- Corregidor, P. F., D. E. Acosta, E. E. Gonzo y H. A. Destéfani. Isoamyl acetate preparation from reaction of vinyl acetate and Isoamyl alcohol catalyzed by H-ZSM-5 zeolite: a kinetic study. *Molecular Catalysis* 481, 100611, 2020.
- Corregidor, P. F., P. M. Cuesta, D. E. Acosta y H. A. Destéfani. Composite ZSM-5/MCM-41 material obtained from a green resource and its enhanced catalytic performance in the reaction of vinyl acetate and isoamyl alcohol. *Applied Catalysis A: General* 587, 117262, 2019.
- Corregidor, P. F., E. N. Tolaba, D. E. Acosta y H. A. Destéfani. The effect of mesoporosity in the reaction of vinyl acetate and isoamyl alcohol catalyzed by H-ZSM-5 zeolites based on natural Perlite. *Applied Catalysis A: General* 602, 117717, 2020.
- Demirkıran, N. Dissolution kinetics of ulexite in ammonium nitrate solutions. *Hydrometallurgy* 95(3), 198-202, 2009.
- Derouane, E. G., G. Crehan, C. J. Dillon, D. Bethell, H. He y S. B. Derouane-Abd Hamid. Zeolite Catalysts as Solid Solvents in Fine Chemicals Synthesis: 2. Competitive Adsorption of the Reactants and Products in the Friedel-Crafts Acetylations of Anisole and Toluene. *Journal of Catalysis* 194(2), 410-423, 2000.
- Fischer, E. y A. Speier. Darstellung der Ester. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* 28(3), 3252-3258, 1895.
- Otera, J. y J. Nishikido. *Esterification: Methods, Reactions, and Applications*, Wiley, 2009.
- Tolaba, E. N. y H. A. Destéfani. Estudio de la cinética de la disolución de los barros residuales de las industrias borateras con soluciones de glicerina. *Matéria (Rio de Janeiro)* 23, 2018.

Diseño de dispositivo para deposición metálica homogénea

Ovejero, Martín¹; Parentis, Ulises¹; Alastuey, Patricio¹ y Gómez Marigliano, Ana Clelia¹

(1) *Departamento de Física – Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán INFNOA – CONICET. martinovejero_93@hotmail.com ; angel_hoyos20@hotmail.com; palastuey@herrera.unt.edu.ar; agomezmarigliano@herrera.unt.edu.ar*

RESUMEN

Se diseñó un dispositivo que permite depositar una película uniforme de un metal sobre un sustrato de Si a una presión de 10^{-4} Torr. Se determinó que el metal más adecuado para sublimar por evaporación térmica, en estas condiciones, es la Plata (Ag), que se coloca sobre una navecilla de tungsteno. Se calculó la potencia necesaria, las pérdidas de calor, la tasa de flujo másico, los parámetros geométricos y la masa necesaria para producir la deposición de un film uniforme de $1\ \mu\text{m}$.

ABSTRACT

A device that allows a uniform metal film to be deposited on a Si substrate at a pressure of 10^{-4} Torr was designed. It was found that the most suitable metal to sublime by thermal evaporation, under these conditions, is Silver (Ag), which is placed on a tungsten boat. The power required, the heat losses, the mass flow rate, the geometric parameters and the mass necessary to produce the deposition of a uniform $1\ \mu\text{m}$ film were calculated.

Palabras clave: film homogéneo - evaporación térmica - flujo másico

Keywords: homogeneous film - thermal evaporation - mass flow

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de la deposición de películas delgadas ha experimentado un impresionante avance en los últimos años. Este avance se ha debido en primer lugar a la necesidad de alcanzar nuevos productos y dispositivos aplicables en las industrias ópticas y electrónicas. El rápido avance producido en los dispositivos electrónicos en estado sólido no hubiese tenido lugar sin el desarrollo de unos nuevos procesos de deposición de películas, mediante las cuales se consiguen obtener unas láminas de muy alta calidad y excelentes características morfológicas.

1.1 Técnicas de evaporación para la formación de films.

La deposición de una muestra METÁLICA sobre un sustrato, para formar una película se obtiene mediante técnicas de alto vacío. Si estas películas tienen espesores del orden de $100\ \text{Å}$ a $100\ \mu\text{m}$, se denominan films.

Un método experimental simple para la formación de films sobre el sustrato consiste en sublimar una muestra sólida, que puede ser obtenida por medios físicos, técnicas PVD (Physical Vapor Deposition) o por medios químicos, técnicas CVD (Chemical Vapor Deposition), respectivamente.

Las técnicas PVD son básicamente dos:

A. Evaporación Térmica: la sublimación es producida por transferencia de calor al sólido fuente a una determinada presión en el entorno.

B. Evaporación Iónica:

la sublimación es producida por transferencia de momento de un flujo de iones de alta energía al material.

Para realizar la evaporación térmica se coloca en una cámara (recipiente hermético) de alto vacío (presión menor que $10^{-3}\ \text{Pa}$) la muestra y el sustrato que se quiere cubrir con un film.

La muestra se coloca sobre un crisol (en este caso sobre una navecilla de tungsteno) que a su vez funciona como un resistor conectado a una fuente eléctrica (ver Fig. 1). Al aumentarla temperatura de la navecilla, el calor se transfiere por

conducción a la muestra, produciendo la elevación de la temperatura. Sin embargo, habrá pérdidas de calor por convección y radiación.

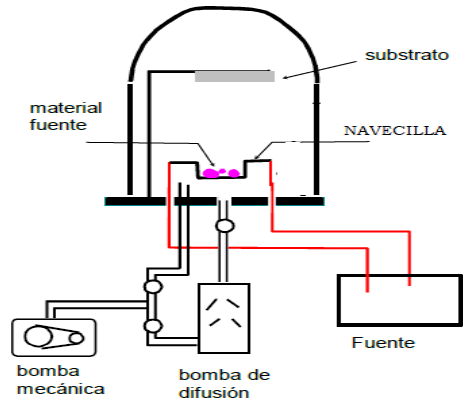


Figura 1: Esquema de un sistema de alto vacío para la evaporación y formación de films sobre un sustrato (Talledo, 2013).

1.2 Rapidez de evaporación de la fuente

Para un trozo de material condensado en equilibrio con su vapor, la rapidez con que se produce el vapor es igual al número de partículas que se condensan sobre la superficie del material. Si el número de partículas que se condensan por unidad de tiempo en una unidad de área está dado aproximadamente por la rapidez de incidencia molecular ϕ , entonces

$$\phi = 2,09 \times 10^{23} \frac{P}{\sqrt{MT}} \frac{\text{moleculas}}{m^2 \cdot s} \quad (1)$$

Si bruscamente se extrajera el vapor que rodea a la fuente, reduciendo la presión hidrostática a cero entonces la rapidez neta con que la fuente está produciendo vapor estaría dada también por la ecuación (1). Estos argumentos originales de Hertz permiten entender la ecuación básica para la rapidez de vaporización de un sólido o líquido.

$$\phi = \alpha 2,09 \times 10^{23} \frac{(P_{eq} - P_h)}{\sqrt{MT}} \frac{\text{moleculas}}{m^2 \cdot s} \quad (2)$$

Dónde:

- α : factor de eficiencia
 - P_h : la presión hidrostática que rodea a la fuente.
 - P_{eq} es la presión de vapor del material.
- Una ecuación equivalente a la 2 es:

$$\Gamma_e = 0,34 \alpha \sqrt{\frac{M}{T}} (P_{eq} - P_h) \frac{\text{gramos}}{m^2 s} \quad (3)$$

Donde Γ_e es el flujo másico de vapor por unidad de tiempo y se obtiene de la siguiente manera:

$$\Gamma_e = \phi m$$

Donde m es la masa de una molécula.

Desde el punto de vista práctico, para determinar la presión de la cámara, P_b y la temperatura T a la cual debe realizarse el proceso de evaporación térmica para un material específico, es importante comprender la relación entre la presión de vapor de cada material y la temperatura.

1.3 Presión de vapor y temperatura

Utilizando la ecuación de Clausius Clapeyron que se puede escribir en forma aproximada como:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{(\Delta H)_{eq}}{TV_g} \quad (4)$$

Usando la ecuación del gas ideal ($PV = nRT$ dado que las presiones son bajas) se obtiene:

$$\frac{dP}{P} = \frac{(\Delta H)_{eq}}{R} \frac{dT}{T^2} \quad (5)$$

Cuya integración conduce a:

$$\ln \ln P_{eq} \approx -\frac{(\Delta H)_{eq}}{RT} + \text{constante} \quad (6)$$

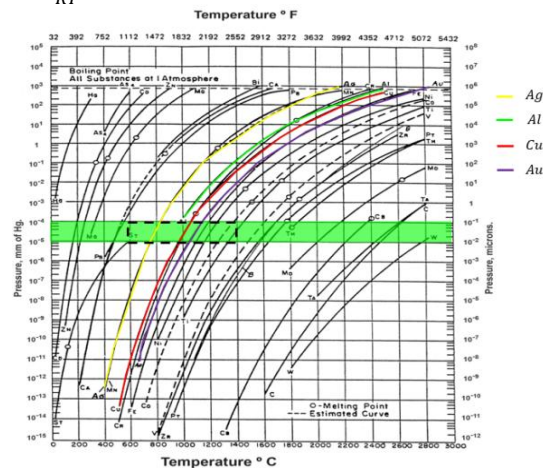


Figura 2: Presión de vapor vs temperatura para diferentes elementos (Vac Aero, 2020)

La ecuación (6) es una buena aproximación a las curvas experimentales para diferentes materiales, que se observan en la Fig. 2. Las curvas de los elementos que pueden considerarse para la técnica de evaporación empleada se muestran con colores la figura y la región de trabajo para las presiones empleadas se

demarca de color verde. La región en líneas de trazos representa el rango de temperaturas que, se empleará para calentar la muestra.

1.4 Geometría y cantidad de material depositado

La masa que se evapora del material fuente, a una dada temperatura, depende de la geometría de la superficie y del tiempo que dura el proceso, así:

$$M_E = \int dt \iint \Gamma_e dA_s \tag{7}$$

La distribución de masa depositada sobre una porción de área dA_s del sustrato, depende de la geometría de la fuente y de la posición relativa fuente-sustrato.

Para una fuente puntual (Fig. 3) se supone que la masa evaporada M_e de la fuente se deposita uniformemente en una esfera de radio r . Por lo tanto sobre un elemento de área dA_c sobre la esfera se tendrá:

$$\frac{dM_s}{dA_c} = \frac{M_e}{4\pi r^2} \tag{8}$$

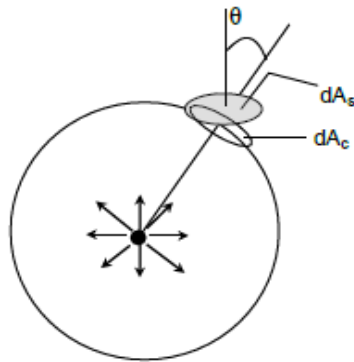


Figura 3: Distribución del flujo másico de una muestra puntual sobre una sección del sustrato dA_s (Talledo, 2013).

La cantidad de material que se deposita sobre una superficie dA_s es:

$$\frac{dM_s}{dA_s} = \frac{M_e}{4\pi r^2} \cos \theta \tag{9}$$

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se dispone de dos bombas de vacío: mecánica y difusora, las cuales en conjunto pueden llegar a un vacío de entre $10^{-4} - 10^{-5}$ torr.

De la Fig. 2, será conveniente elegir el elemento que requiera de menor temperatura para alcanzar la presión de vapor de la muestra. El emplear temperaturas menores para sublimar la muestra implica también el uso de corrientes más pequeñas para calentar el sistema muestra – navecilla y por lo tanto una menor potencia. En primera instancia, el rango total de temperaturas que abarca el rectángulo verde segmentado, es $(600 - 1400)^\circ C$. Con esta información y teniendo en cuenta la dificultad de adquisición, tanto económica como en abundancia y la reacción química que pudiera tener tanto con el oxígeno del aire residual y con el material de la navecilla.

A bajas presiones, el aire residual presente en la cámara es suficiente para llegar a oxidar nuestra muestra afectando así el resultado final. Por lo tanto, una propiedad fundamental que debe cumplir el elemento selecto es que sea un metal noble, es decir, un metal que no se oxida fácilmente a la presión de trabajo y esto reduce la lista a tres elementos: Au (Oro), Cu (cobre) y Ag (plata). Descartando el oro por ser el más caro, se selecciona la plata dado que requiere menores temperaturas de trabajo.

3. RESULTADOS

3.1 Propiedades de la Navecilla

Crisol es el recipiente que contiene al material fuente antes y durante el proceso de sublimación. Estos crisoles tienen que estar hechos de materiales refractarios, es decir, resistentes a la temperatura, de elevado punto de fusión, baja presión de vaporización y poco reactivo químicamente, de modo que el material fuente no se contamine con el crisol. Pueden estar hechos de materiales conductores eléctricos o aislantes. Si son de materiales conductores como tungsteno, molibdeno o tántalo, se conectados directamente a la fuente de corriente para ser calentados.

En este caso se seleccionó una navecilla de Tungsteno. La geometría de esta navecilla tiene como finalidad concentrar el calor en la región central. En la Fig. 4 se muestran las dimensiones de la navecilla diseñada.

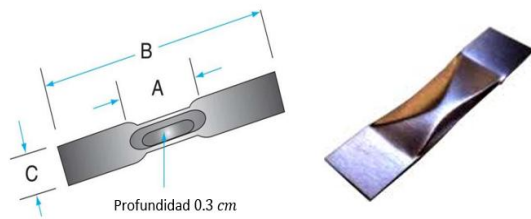


Figura 4: Geometría de la navicilla de Tungsteno de 0,25 mm de espesor, donde $A = 2,3$ cm, $B = 10,0$ cm y $C = 1,25$ cm. (Uribe et al, 2017)

3.2 Espesor y uniformidad del film

La masa depositada, dM_s , sobre un elemento infinitesimal de área, dA_s , sobre el sustrato se puede escribir en la forma

$$dM_s = \rho dA_s t \quad (10)$$

Donde ρ es la densidad del material y t es el espesor de la película. Combinando la ecuación (9) y (10) y teniendo en cuenta la geometría de la Fig. 3 se obtiene:

$$t = \frac{M_e}{4\pi\rho r^2} \cos \theta \quad (11)$$

$$= \frac{M_e}{4\pi\rho r^3} h$$

$$\frac{M_e}{4\pi\rho r^3} h = \frac{M_e h}{4\pi\rho(h^2 + l^2)^{3/2}} \quad (12)$$

El espesor es máximo cuando $l = 0$ y así:

$$t_0 = \frac{M_e}{4\pi\rho h^2} \quad (13)$$

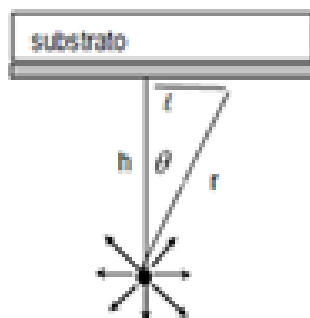


Figura 5: Espesor vs los parámetros l y h para fuente puntual (Talledo, 2013).

Tomando este valor como referencia, se obtiene la siguiente ecuación para el espesor en cualquier otro punto del sustrato.

$$\frac{t}{t_0} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l}{h}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (14)$$

En la Fig. 6 se muestra gráficamente la relación entre el espesor relativo (t/t_0) y el parámetro geométrico (l/h) para fuente puntual.

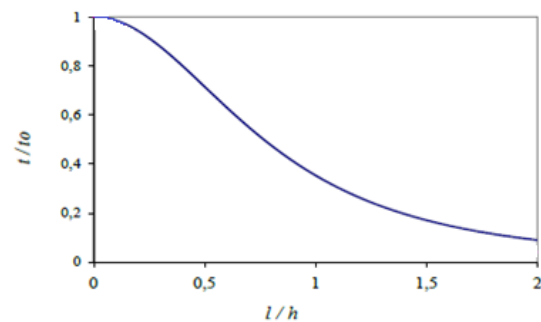


Figura 6: Espesor relativo de un film para una fuente puntual (Talledo, 2013).

3.3 Ángulo de deposición

Para que la fuente se considere puntual, la muestra debe tener dimensiones de al menos un orden de magnitud menor a las dimensiones del sustrato y la distancia entre ellos.

El sustrato es una placa cuadrada de 6.25 cm^2 con $l = 1.25 \text{ cm}$ y la distancia entre la fuente puntual y el sustrato será $h = 25 \text{ cm}$, así:

$$\theta = \arctg\left(\frac{l}{h}\right) = 2^\circ 51'$$

Criterio de área de deposición uniforme (1%)

Considerando las ecuaciones (11) y (13), con $l = 1.25 \text{ cm}$ y $h = 25 \text{ cm}$

$$\frac{t}{t_0} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l}{h}\right)^2\right]^{3/2}} = 0.99$$

3.4 Análisis de la muestra de Plata

La temperatura de fusión a presión atmosférica de la Plata es 960°C y la de ebullición es 2160°C . Como se observa en la Fig. 7 la temperatura de fusión de la plata (curva roja) prácticamente no cambia a la presión que manejamos en este experimento y entonces la temperatura de fusión a una presión de 10^{-4} torr es de 960°C .

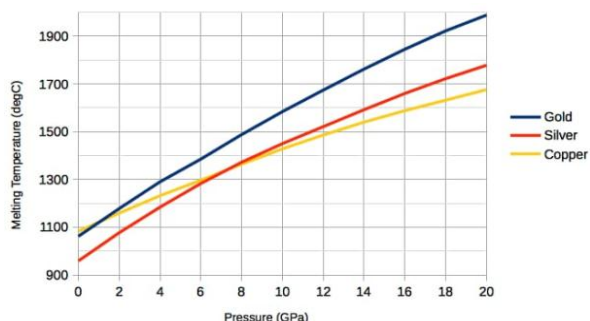


Figura 7: Curvas experimentales temperatura de fusión vs presión en la cámara (Engineering ToolBox, 2020)

La temperatura de ebullición a 10^{-4} torr es de 890°C y así la muestra pasara del estado sólido al gaseoso a los 890°C (sublimación), evitándose el burbujeo: Esta es otra razón por la cual se elige a la plata como la mejor opción para este experimento.

3.5 Análisis de la corriente requerida

Usando la ley de Ohm, considerando que los parámetros geométricos no cambian con la temperatura en el intervalo de trabajo y sabiendo que existe una relación $\rho(T)$ con parámetros conocidos para el tungsteno

$$\begin{aligned} I(T) &= \frac{VA'}{L\rho(T)} \\ &= \frac{VA'}{L\rho(T)} \end{aligned} \quad (15)$$

Para $T = 890^{\circ}\text{C}$ la resistividad es

$$\rho_c = 2.1 \times 10^{-7} \Omega \text{cm}$$

Utilizando los datos geométricos de la navicilla

$$A' = 0,025 \text{ cm} \times 1,25 \text{ cm} = 0,03 \text{ cm}^2$$

$$L = 10 \text{ cm}$$

Entonces:

$$R = \rho_c \left(\frac{L}{A'} \right) = 0,007 \Omega$$

3.6 Cálculo de Q_{neto} (10^{-4} torr)

Por efecto joule:

$$Q_{NETO} = (0,007 \Omega I^2) t$$

Para la muestra:

$$Q_{NETO} = Q_1 + Q_2 \quad (16)$$

Q_1 Calor absorbido desde 20°C hasta 890°C (Sólido)

$$Q_1 = (m_n c_n + m_m c_m) \Delta T \quad (17)$$

Donde:

I : corriente que circula por la navicilla

m_n : la masa de la navicilla

C_n : calor específico de la navicilla

m_m : la masa de la muestra

C_m : calor específico de la muestra

ΔT : diferencia de temperatura

Q_2 Calor absorbido para cambio de fase (Sólido a Vapor)

$$Q_2 = m_m L_{sub m} \quad (18)$$

Donde $L_{sub m}$ es el calor latente de sublimación de la muestra

Para el cálculo de Q_1 :

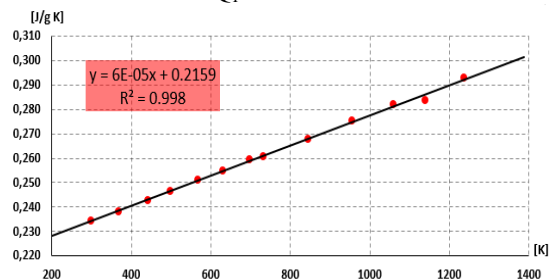


Figura 8: Calor específico de la plata vs temperatura

Calor específico de la plata en estado sólido:

$$C_m(T) = 6 \times 10^{-5} \frac{\text{J}}{\text{gK}^2} T + 0.216 \frac{\text{J}}{\text{gK}} \quad (19)$$

Masa de la navicilla con los datos Fig. 4:

$$m_n = 6,05 \text{ gr} \quad (20)$$

Calor específico del tungsteno sólido:

$$c_n = 0.134 \frac{\text{J}}{\text{gK}}$$

$$\Delta T = 870 \text{ K}$$

Reemplazando en la ecuación (17):

$$Q_1 = 226 \frac{J}{g} m_m + 706 J \quad (21)$$

Que es el calor necesario para calentar la navecilla y muestra.

Para el cálculo de Q_2 : Sabiendo que

$$L_{sub m} = 2,64 \frac{kJ}{g}$$

En la ecuación (18):

$$Q_2 = 2,64 \frac{kJ}{g} m_m \quad (22)$$

Calor es necesario para evaporar la muestra colocada sobre la navecilla una vez que alcance los 890°C.

Conociendo Q_1 y Q_2 :

$$Q_{neto} = 2,64 \frac{kJ}{g} m_m + 226 \frac{J}{g} m_m + 706 J \quad (23)$$

Si se considera las pérdidas de calor de la navecilla

$$P_{neta} = 2.64 \frac{kJ}{g} \frac{dm_m}{dt} + \frac{Q_1}{t} + P_n \quad (24)$$

Donde P_n es la potencia necesaria para mantener la navecilla a una temperatura $T_f = 890^\circ C$

3.7 Cálculo de la potencia por pérdidas de calor

3.7.1 Cálculo de la potencia de conducción

Empleando la Ley de Fourier:

$$P_{cd} = \frac{A}{L} k(T) \Delta T \quad (25)$$

Donde:

ΔT : diferencia de temperatura entre los electrodos y el centro de la navecilla [K]

A es la sección de contacto [m^2]

L es la longitud del conductor térmico [m]

$$L = 0,10 m$$

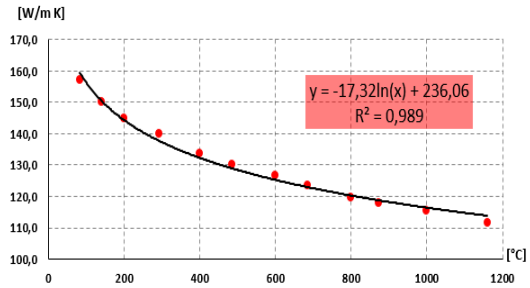


Figura 9: Conductividad térmica de la plata vs temperatura

Ecuación de la conductividad térmica, ver Fig. 9:

$$k(T) = -17.32 \frac{W}{m K} \ln \ln (T) + 236 \frac{W}{m K} \quad (26)$$

Particularizando para

$$T = 890^\circ C, k = 118,4 \frac{W}{m \cdot K}$$

Con estos datos sustituyendo en la ecuación (25):

$$P_{cd}(A) = \left(103 \times 10^4 \frac{W}{m^2} \right) A$$

$$A = C\lambda = 0.0125 m \lambda$$

Donde λ es el largo de la sección en contacto entre el electrodo y la navecilla, entonces si $\lambda = 0,1 cm$:

$$P_{cd}(\lambda) \cong 12,9 W$$

3.7.2 Cálculo de la Potencia de radiación

Para esta potencia, empleamos la ley de Stefan – Boltzmann:

$$P_{rad} = A\varepsilon\sigma(T_f^4 - T_0^4) \quad (27)$$

Donde:

A : superficie externa de la navecilla

ε : emisividad de la navecilla

σ : es la constante de Boltzmann

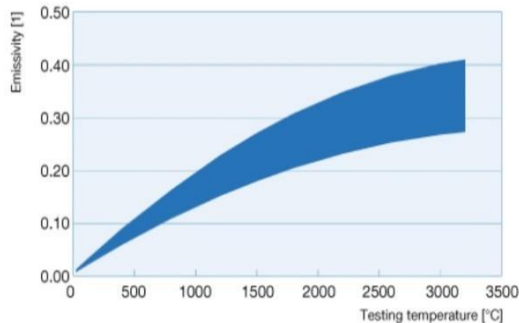


Figura 10: Emisividad vs Temperatura para el Tungsteno. (Landler C., 2020)

Si bien la emisividad no es constante en el rango entre 20 °C y 890 °C, como se observa en la Fig. 10, se puede realizar el cálculo con el valor de ϵ correspondiente a 890 °C y aun así probar que la pérdida es despreciable. Entonces: $\epsilon = 0,18$ y $A = 2cb = 25 \text{ cm}^2$

Se tendrá

$$P_{rad} = 5,7 \times 10^{-15} \text{ W}$$

3.7.3 Cálculo de la potencia de convección

Utilizamos la ley del enfriamiento de Newton:

$$P_{con} = hA(T_f - T_0) \quad (28)$$

Donde:

A es la superficie externa de la navicilla

h es el coeficiente de convección

El valor de h se puede obtener a partir de:

$$h = h_0 F_p F_T$$

El valor de base h_0 se obtiene de la curva de h_0 para aire en función del intervalo de temperatura.

$$h_0 = 2.71 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ F}$$

Para presiones del orden de 10^{-4} Torr el valor de h no varía significativamente y $F_p = 1$. Sin embargo el valor del factor de corrección de la temperatura, y para ello se extrapola el factor de corrección a la diferencia de temperatura de 870°C, obteniéndose:

$$F_T = 0.672 \quad y \quad h = h_0 F_T$$

$$h = 1.82 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ F}$$

así, en la ecuación (28)

$$P_{con} = 7.1 \text{ W}$$

Y la potencia neta disipada será:

$$P_n = P_{cd} + P_{con} = 20 \text{ W}$$

La potencia neta será:

$$0,007 \Omega I^2 = 2640 \frac{J}{g} \frac{dm_m}{dt} + \frac{Q_1}{t} + 20W \quad (29)$$

3.8 Cálculo del flujo másico

Para calcular el valor de $\frac{dm_m}{dt}$ se utilizará la ecuación de flujo másico:

$$\frac{dm_m}{dt} = \alpha A_m \sqrt{\frac{M_{Ag}}{2\pi RT}} (P_V - P_B) \quad (30)$$

Donde:

α : coeficiente de deposición, que es igual a 1 cuando todas las moléculas evaporadas de la muestra son depositadas por el sustrato al primer contacto

P_V : presión de vapor de la muestra, 10^{-4} torr

P_B : es la presión de la bomba, $0,95 \times 10^{-4}$ torr

M_{Ag} : masa molar de la plata, 107,86 gr/mol

A_m : área donde se deposita las partículas evaporadas

R es la constante de universal de gas ideal

Se toma

$$P_V - P_B = 0,05 P_V$$

Entonces:

$$\frac{dm_m}{dt} = 1,47 \times 10^{-7} \frac{Kg}{m^2 s} A_m$$

Entonces la ecuación (29)

$$0.007 \Omega I^2 = 3.88 \times 10^{-5} \frac{J}{cm^2 s} A_m + \frac{Q_1}{t} + 20W$$

3.9 Cálculo de la masa depositada y eficiencia

La dirección de emisión de vapor de Ag en el sistema se encuentra determinada por la geometría de la navicilla (Fig. 13) por lo tanto la masa evaporada de la muestra ya no se encontrará distribuida sobre el volumen de una esfera de radio h sino sobre una fracción de la misma.

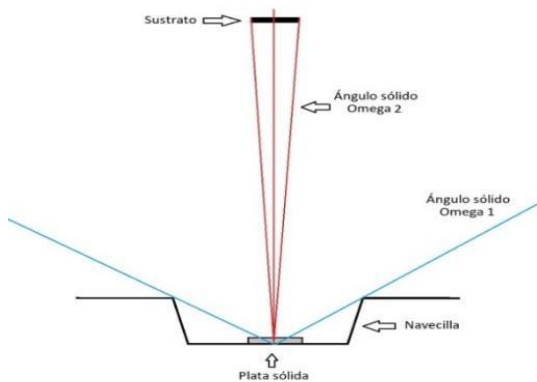


Figura 13: Distribución espacial del vapor de Ag

Bajo el supuesto de que esta densidad volumétrica de vapor de Ag se mantiene constante (a medida que el gas se expande), puede expresarla como una densidad másica en términos de ángulo sólido.

Entonces si la densidad másica por ángulo sólido es μ :

$$\mu = \frac{dM_e}{d\Omega} \quad (31)$$

Por lo tanto:

$$m_m = \mu\Omega \quad (32)$$

De acuerdo con la Fig. 13 habrá tendremos dos ángulos sólidos Ω_1 y Ω_2 . Empleando coordenadas esféricas:

$$\begin{aligned} \Omega &= -2\pi(\cos \theta - 1) \\ &= -2\pi(\cos \theta - 1) \end{aligned} \quad (33)$$

Donde:

θ : ángulo que va desde el eje perpendicular a la muestra (eje central rojo en la Fig. 13). Como $\theta = 2^\circ 51'$

$$\Omega_2 = -2\pi(\cos \theta - 1) = 0.0078$$

El ángulo θ' para Ω_1 en base a relaciones geométricas de la Fig. 13 y los datos de la Fig. 4:

$$\theta' = 90^\circ - \arctg\left(\frac{2P}{A}\right) = 70^\circ 22'$$

Donde:

A : ancho de la cavidad de la navicilla

P : profundidad de la cavidad.

$$\Omega_1 = 4.70$$

Conociendo los valores de los ángulos sólidos Ω_1 y Ω_2 se puede obtener la eficiencia del sistema

$$e = \frac{M_s}{M_e} = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = 0.0017 = 0.17\% \quad (34)$$

Y calcular la cantidad de masa evaporada M_e si se conoce la cantidad de masa M_s que se desea depositar. Calculando la masa del film se obtiene:

$$M_s = \rho_{Ag} V_{film} = 6.56 \times 10^{-3} g$$

Volviendo a la ecuación (34) se obtiene que

$$M_e = 3.86 g$$

Bajo el supuesto de que toda la masa de la muestra se evapora en la dirección del ángulo sólido Ω_1 (Fig. 13), se puede asumir que: $M_e = m_m$

Retomando la ecuación (29) y usando la masa calculada, se obtendrá: que

$$I = 57 A \quad P = 22.7 W$$

4 CONCLUSIONES

-Se diseñó un equipo que permite sublimar una masa de plata para depositarla sobre cualquier sustrato que soporte el vacío (ej. Si cristalino)

-Se determinó que la plata es el elemento más adecuado a la presión de trabajo 10^{-4} torr.

-La corriente, voltaje y potencia necesaria para sublimar la muestra en la situación propuesta son:

$$I \cong 57 A; V \cong 0,4 V; P \cong 22.7 W$$

-Las pérdidas de calor en el sistema son por conducción (57%) y convección (30%).

- Para considerar a la muestra como una fuente puntual, el sustrato sería una placa cuadrada de 6.25 cm^2 con $l = 1.25 \text{ cm}$ y la distancia entre la fuente puntual y el sustrato $h = 25 \text{ cm}$, así:

- Se lograría una deposición homogénea, con una incertidumbre del 1 % sobre el sustrato.

5 REFERENCIAS

- Bello, I., *Vacuum and Ultravacuum: Physics and Technology*, CRC Press, Soochow University, 2018
- Talledo, A., *Tecnología de Alto Vacío: Herramientas básicas para el desarrollo industrial*, Guzlop Editoras, Lima, Perú, 2013
- Stoever, H.J. “*Transmisión del Calor y sus Aplicaciones*”, Ed. Sudamericana, Buenos aires, Argentina, 1961.
- Arblaster J. M., “*Thermodynamics Properties of Silver*”, *Diario de Equilibrio de Fase y Difusión*, 36, 573 – 591, 2015
- Uribe J. W. P., Riaño N. F. A., “*Diseño del sistema de control de temperatura en un proceso de evaporación para fabricar celdas tipo película delgada*”. Universidad Industrial de Santander, 2017
- Toledo E. G. Q., “*Torre ascendente solar mediante convección natural por efecto chimenea*”. Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, 2020.
- Landler C., Landler R. *Materiales/tungsteno*.
<https://www.plansee.com/es/materiales/tungsteno>
(29/08/2020)
- Engineering ToolBox, *Metals and Alloys - Melting Temperatures*.
https://www.engineeringtoolbox.com/melting-temperature-metals-d_860.html (28/08/2020)
- Vac Aero, “*Evaporation*”
<https://vacaero.com/information-resources/the-heat-treat-doctor/1455-evaporation.html>
(28/08/2020)

Transformando nuestras prácticas docentes en la virtualidad, en el marco del Aprendizaje Centrado en el Estudiante

Robles, Grabiela L.¹; de Pablo, Lidia C.¹; Bravo, Natalia Y.¹ y Espindola Coronel, Matias A.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. roblesgrabiela@gmail.com; lidiadepablo@gmail.com; nataliayuditbravo@yahoo.com; matiiespindola@gmail.com*

RESUMEN

Actualmente nos encontramos protagonizando un tiempo donde nos vimos obligados a cambiar las clases presenciales por las virtuales, y esto nos llevó a reflexionar acerca de cómo acompañar y guiar a nuestros estudiantes para que alcancen los resultados de aprendizaje esperados. Consideramos que emplear estrategias didácticas sustentadas en el modelo de Aprendizaje Centrado en el Estudiante y en la utilización de recursos que brindan las TIC, fomenta la participación activa de los estudiantes en la virtualidad, con el objetivo de que alcancen un aprendizaje crítico, creativo, analítico, auténtico, de mayor significación y persistencia.

Por ello, se diseñó una propuesta didáctica para la unidad IV denominada: “Aplicaciones de la Derivada”, del espacio curricular Análisis Matemático I, correspondiente al primer módulo de primer año de las carreras de ingeniería que ofrece la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), como una extensión del proyecto de investigación: “Las competencias en el proceso de formación de los estudiantes del Profesorado en Matemática de la FCEyT, usando GeoGebra”.

ABSTRACT

Nowadays, we are in a time where we were forced to change face-to-face classes for virtual ones, and this led us to reflect on how to accompany and guide our students to achieve the expected learning results. We believe that using didactic strategies, based on the Student-Centered Learning model and the use of resources provided by ICT, can encourage the active participation of students in virtuality, so they can achieve a more authentic, critical, creative, and analytical learning, and one that is of greater significance and persistence.

For this reason, we designed a didactic proposal for unit IV called “Aplicaciones de la Derivada”, of the Análisis Matemático I curricular space, corresponding to the first module of the first year of engineering careers offered by the Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) of the Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), as an extension of the research project: “Las competencias en el proceso de formación de los estudiantes del Profesorado en Matemática de la FCEyT, usando GeoGebra”.

Palabras claves: Clases Virtuales - Estilos de Aprendizaje - Metodologías Activas – Tecnologías de la Información y la Comunicación

Keywords: Virtual Classes - Learning Styles - Active Methodologies – Information and Communications Technology

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos protagonizando un tiempo en el que nos vimos obligados a cambiar las clases presenciales por las virtuales, y esto nos llevó a reflexionar acerca de cómo acompañar y

guiar a nuestros estudiantes para que puedan alcanzar los resultados de aprendizaje esperados. En este sentido, Sangrà (2001) asegura que: “No podemos hacer lo mismo en medios distintos, aunque nuestras finalidades educativas y, por tanto, los resultados que perseguimos sean los mismos”.

Somos conscientes de que la enseñanza virtual nos permite utilizar otras herramientas que no son usadas con frecuencia en la presencialidad. Creemos que podemos contrarrestar aspectos negativos, si los hubiera, enfocándonos en el estudiante, donde éste cumpla un rol activo en su aprendizaje. En este sentido, Silva (2016) afirma que: “Para que los estudiantes puedan adquirir el conocimiento y habilidades esenciales para desenvolverse adecuadamente en el ámbito social y profesional en el siglo XXI, es necesario transitar de una enseñanza centrada en el profesor a una centrada en el estudiante”.

Por otro lado, Cukierman (2018) sostiene que en el Aprendizaje Centrado en el Estudiante (ACE), el foco está puesto en lo que el estudiante hace para aprender, mientras que el profesor es un guía o “facilitador”, ya que, desde su conocimiento y experiencia, configura las estrategias y acciones necesarias para que sea el alumno el que construya el conocimiento. Además, McCombs (1997) sostiene que el modelo del ACE implica enfocarse tanto en los estudiantes como en el aprendizaje.

Por todo esto, y como una extensión del proyecto de investigación: “Las competencias en el proceso de formación de los estudiantes del Profesorado en Matemática de la FCEyT, usando GeoGebra”, y con el objetivo de fomentar la participación activa de los estudiantes en la virtualidad, de modo que puedan alcanzar un aprendizaje crítico, creativo, analítico, más auténtico, de mayor significación y persistencia, se diseñó una propuesta didáctica, para la unidad IV denominada: “Aplicaciones de la Derivada”, del espacio curricular Análisis Matemático I, correspondiente al primer módulo del primer año de las carreras de ingeniería. En él se estudian las funciones reales de variable real, específicamente los contenidos mínimos establecidos en el programa son: Números reales y puntos de la recta. Pares ordenados de números reales y puntos del plano. Funciones. Límite funcional. Funciones continuas. Funciones derivables. Recta tangente. Aplicaciones de la derivada. Variación de función. Límites indeterminados. Aplicaciones.

2 DESARROLLO

2.1 *Aprendizaje centrado en el estudiante*

2.1.1 *Aprendizaje activo*

Las teorías del ACE han promovido el uso de las metodologías activas, que, según Labrador (2008): “se entiende hoy en día como aquellos métodos, técnicas y estrategias que utiliza el docente para convertir el proceso de enseñanza en actividades que fomenten la participación activa del estudiante y lleven al aprendizaje”. Es aquí donde el Aprendizaje se torna en Aprendizaje Activo (AA), que según Cukierman (2018), “simplificando su concepto, pero focalizando en su aspecto más importante, se podría decir que es todo lo que los estudiantes realicen que no sea simplemente estar sentados atendiendo una clase expositiva”.

En base a esto, se implementaron metodologías activas para la unidad anteriormente mencionada, ya que el estudiante logra un aprendizaje significativo cuando “hace” y no por mera observación o repetición de lo que hace el profesor.

Además, Silva (2016) sostiene que: “pensar el proceso formativo desde estas metodologías activas no significa incorporar actividades aisladas que promuevan la participación, sino que implica pensar la docencia al servicio del estudiante”. Entendemos por esto, que el docente debe ser un mediador entre el estudiante y los saberes, proponiendo actividades motivadoras que promuevan la participación activa, el trabajo en equipo, la creatividad, entre otros.

Por su parte, Cukierman (2018) afirma que: “existen muchas y variadas investigaciones que demuestran que el Aprendizaje Centrado en el Estudiante les permite a los estudiantes alcanzar un aprendizaje más auténtico y de mayor significación y persistencia, a la vez que permite desarrollar habilidades de pensamiento de orden superior (pensamiento crítico, creatividad, análisis, conceptualización, evaluación y autoevaluación, etc.), lo que es particularmente cierto en la educación superior”.

Además, Silberman (1998) sostiene que: “El Aprendizaje Activo es necesario no sólo para agregar emoción, sino también para mostrar respeto por las diferencias individuales y las múltiples inteligencias”.

En cuanto a la aceptación o rechazo por parte de los estudiantes de este tipo de aprendizaje, es posible que estén habituados a observar sentados mientras el docente hace todo el trabajo, seguros de haber aprendido algo y de que serán capaces de retenerlo. En este sentido, este autor sugiere introducir el AA de manera gradual, para evitar

encontrase con resistencias considerables. Además, Kowalski (2020) plantea que: “las posibles Actividades que se propongan deben ser compatibles con los Estilos de Aprendizaje de los estudiantes y con los Estilos de Enseñanza del profesor”.

2.1.2 Estilos de aprendizaje

Cuando cada persona utiliza su propio método o estrategias para aprender, aunque estas varíen, tiende a desarrollar ciertas preferencias o tendencias globales, lo cual define un Estilo de Aprendizaje.

Tabla 1: Estilos de aprendizaje – Modelo de Felder y Silverman

Percepción	¿Qué tipo de información perciben preferentemente los estudiantes?	Sensorial (1)	Visión, sonidos, sensaciones físicas
		Intuitiva (2)	Recursos, ideas, percepciones
Representación	¿A través de qué modalidad la información sensorial es percibida más efectivamente?	Visual (3)	Fotos, diagramas, gráficos, demostraciones
		Verbal (4)	Sonidos, palabras, fórmulas o explicaciones escritas o habladas
Organización	¿Con qué organización de la información el estudiante se siente más cómodo a la hora de trabajar?	Inductivo (5)	Se le presentan hechos y observaciones; se deducen los principios subyacentes
		Deductivo (6)	Se le presentan los principios

			; se deducen las consecuencias y las aplicaciones
Comprensión	¿Cómo progresa el estudiante hacia la comprensión?	Secuencialmente (7)	Incrementalmente paso a paso
		Globalmente (8)	De manera holística
Procesamiento	¿Cómo prefiere el estudiante procesar la información?	Activamente (9)	A través de la participación en la actividad física o en la discusión
		Reflexivamente (10)	A través de la introspección

Desde este punto de vista, podemos buscar la forma en que los estudiantes aprendan con más efectividad, teniendo en cuenta cada estilo de aprendizaje, pero sin llegar al extremo de “etiquetarlos”, ya que, si bien los estilos de aprendizaje son relativamente estables, pueden cambiar, siendo diferentes en diferentes situaciones y susceptibles a mejorarse.

Existen distintos modelos y teorías sobre estilos de aprendizaje, seguimos el modelo de Felder y Silverman, mencionado por Kowalski (2020), ya que es el que más se ajusta a los estudiantes de ingeniería, y el cual considera que el estudio de los estilos de aprendizaje puede ser definido, parcialmente, a partir de cinco dimensiones, las cuales están relacionadas con las respuestas que se puedan obtener a cinco preguntas, que se especifican en la tabla 1.

A su vez, los autores de este modelo presentan recomendaciones para abordar todos los estilos de aprendizaje. A continuación, se muestran algunas: A. Siempre que sea posible, relacionar el material que se presenta, con materiales anteriores y otros que vendrán después en la misma asignatura, con materiales de otros cursos, y con la experiencia de los mismos estudiantes.

- B. Equilibrar la información concreta que se presenta (hechos, datos, experimentos, etc.), con conceptos abstractos (principios, teorías, modelos matemáticos, etc.).
- C. Equilibrar métodos prácticos de resolución de problemas con énfasis en la comprensión de fundamentos.
- D. Utilizar material gráfico (imágenes, diagramas, bocetos, etc.), también videos y demostraciones, si es posible hechas a mano.
- E. Utilizar recursos informáticos.
- F. Dejar intervalos, aunque sea breves, para que los estudiantes piensen en lo que se ha expuesto en la clase.
- G. Proponer algunos ejercicios de entrenamiento, para practicar sobre los métodos que se enseñan, pero no muchos.
- H. Alentar a los estudiantes para que trabajen cooperativamente en las actividades no presenciales.
- I. Elogiar las soluciones creativas, inclusive las incorrectas.
- J. Explicar a los estudiantes los estilos de aprendizaje, y cómo cada cual puede aprender más eficientemente. Los estudiantes pueden sentirse más seguros, si comprenden que sus dificultades en realidad no se deben a deficiencias personales.

En la tabla 2 se muestra a qué Estilos de Aprendizaje, según el modelo de Felder y Silverman (indicados en la tabla 1 del 1 al 10), están dirigidas las recomendaciones anteriormente nombradas (A-J).

Tabla 2: Recomendaciones para abarcar todos los Estilos de Aprendizaje

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A								✓		
B	✓	✓								
C	✓	✓							✓	✓
D	✓		✓						✓	
E	✓								✓	
F										✓
G	✓	✓					✓	✓	✓	✓
H									✓	
I		✓						✓		
J	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2.2 Tecnologías de la información y la comunicación

Consideramos que es importante la incorporación de las TIC, ya que ofrecen posibilidades de

búsqueda y acceso a información, interacción y colaboración, logrando mejores resultados y abarcando más estilos de aprendizaje. En este sentido, Coll (2006) plantea que: “Las TIC se conciben como instrumentos de apoyo y mejora de las formas de ayuda educativa a los estudiantes, y de promoción de sus capacidades de aprendizaje autónomo y autorregulado”.

Además, Moreira (2009) afirma que: “Es el método o estrategia didáctica junto con las actividades planificadas las que promueven un tipo u otro de aprendizaje”. Desde este punto de vista y utilizando las TIC, entendemos que debemos promover un aprendizaje por descubrimiento, dejando atrás el uso de estrategias tradicionales, las cuales nos llevaban a un aprendizaje por recepción. En este sentido, el mismo autor sostiene que: “Lo relevante debe ser siempre lo educativo, no lo tecnológico. Por ello, un docente cuando planifique el uso de las TIC siempre debe tener en mente qué es lo que van a aprender los alumnos y en qué medida la tecnología sirve para mejorar la calidad del proceso de enseñanza que se desarrolla en el aula”.

Resulta fundamental resaltar que ninguna herramienta genera impacto por sí sola. De hecho, el resultado puede ser todo lo contrario si es utilizada de forma inadecuada o sin un propósito claro.

Diversas son las formas en que la tecnología puede facilitar el acceso universal a la educación, reducir las diferencias en el aprendizaje, apoyar el desarrollo de los docentes, mejorar la calidad y la pertinencia del aprendizaje, reforzar la integración y perfeccionar la gestión y administración de la educación; en síntesis, las TIC pueden complementar, enriquecer y transformar la educación.

Sólo si se fortalecen los conocimientos básicos de las áreas disciplinares, se cuenta con una formación pedagógica, se tienen contenidos adaptativos e involucrados en el área disciplinar o interdisciplinar y se planifica correctamente el tiempo que el estudiante necesita dedicarle a la asignatura para alcanzar los resultados de aprendizaje esperados, se van a generar impactos significativos en la calidad de la educación.

Producto de la pandemia generada por el virus SARS-CoV-2, las TIC pasaron a ser un apoyo fundamental para dar continuidad a los procesos de enseñanza y aprendizaje. Se hizo imprescindible el uso de estas como medio de

comunicación, a través de chats, foros, redes sociales, PowerPoint, etcétera. A su vez, hubo actividades en las que se hizo necesaria la utilización de algún software. En este sentido, a través de la plataforma Moodle, la cátedra tuvo la posibilidad de ofrecer a los estudiantes recursos para el aprendizaje y evaluación, en distintos formatos, tales como videos, enlaces a páginas webs, archivos, cuestionarios, entre otros. Además, la incorporación del uso del software GeoGebra, con el cual trabajaron desde el inicio de la asignatura, permitió a los estudiantes anticipar algún comportamiento, visualizar cuestiones matemáticas que dieron pie a plantear una conjetura que no hubiera surgido sin la ayuda de éste, verificar resultados, entre otros.

En función de todo lo expuesto, con esta propuesta se buscó acercar a los estudiantes al aprendizaje activo, enfrentándolos a actividades que les exigió pensar, indagar, explorar, relacionar, descartar y argumentar, y no solo repetir un procedimiento previamente conocido, a través de distintas estrategias como las recomendadas por Felder y Silverman para abordar todos los estilos de aprendizaje.

2.3 Desarrollo de la propuesta

Para comenzar el tema de “Aplicaciones de la Derivada” para funciones reales de variable real, se presentó en el aula virtual de la asignatura un relato inicial que los ubicó en el mismo, relacionando con sus saberes previos, y un video de una situación real generando interés.

Los recursos disponibles en el aula virtual fueron:

- Un apunte teórico-práctico con: ejemplos, demostraciones de teoremas, propiedades sin justificación y ejercicios.
- Videos explicativos sobre: la gráfica analítica de una curva, la demostración de algún teorema y el análisis de la gráfica de una curva que representa una situación concreta.
- Libros, entre otros.

Todo esto se efectuó con el objetivo de aportar al desarrollo de habilidades de comprensión, de representación matemática, y destrezas para expresarse matemáticamente, entre otros.

Cada inicio de semana se asignó la tarea de leer detenidamente los temas indicados en el apunte, y, a su vez, fueron completando con las justificaciones cada paso de los ejemplos y de las demostraciones, y resolvieron en la modalidad solicitada (individual, grupal o en pareja) las

tareas propuestas. Estas actividades presentadas por los estudiantes se evaluaron mediante la técnica de análisis de producción, con instrumentos de evaluación tales como lista de cotejo o guía de ejercicios.

Así mismo, para facilitar la comprensión del tema, esbozaron un esquema conceptual de lo tratado. Posterior al tiempo asignado para estas actividades, se realizó una videoconferencia con el profesor, donde se exhibieron algunos de los esquemas realizados y se evacuaron las dudas, ayudando de esta manera a maximizar la comprensión. Para la evaluación de esta tarea, se utilizó la técnica de intercambios orales formativos con los estudiantes (diálogo, exposición, debate) y, como instrumento, una ficha de observación.

Para reforzar los temas, se presentaron en el aula virtual algunos problemas contextualizados en formato escrito y mediante un video, a los que debían resolver en pareja o de a tres. En otra clase se analizó e interpretó la solución, argumentando y contextualizando los procedimientos y los resultados. Finalmente, con el uso del Software GeoGebra, se corroboraron los resultados obtenidos.

De esta manera se trabajaron las distintas clases para el desarrollo del tema. Para concluir, se llevó a cabo una evaluación final, la cual se desarrolló en dos instancias, en la primera se pidió a los estudiantes que repasen, para luego, responder un cuestionario de autoevaluación alojado en el aula virtual, mientras que la segunda, consistió en una prueba escrita (parcial) que se llevó a cabo mediante una guía de ejercicios y problemas.

2.4 Ejemplos de algunas actividades realizadas

2.4.1 Tarea 1

Esboce la interpretación geométrica del Teorema del Valor Medio, enunciado en la Fig.1.

Para realizar la actividad, puede orientarse con las siguientes preguntas:

- a. ¿La razón dada en el segundo miembro de (1) tiene alguna relación con una recta?
- b. ¿Qué representa, geoméricamente, la derivada en un punto?
- c. ¿Qué significa la igualdad (1)?
- d. ¿Podría plasmar lo interpretado en un gráfico, y, además, describirlo con sus palabras?

Sea f una función tal que:

- f es continua en el intervalo cerrado $[a, b]$
- f es diferenciable en el intervalo abierto (a, b)

Entonces existe un número c en el interior del intervalo (a, b) tal que:

$$f'(c) = \frac{f(b)-f(a)}{b-a} \quad (1)$$

Figura 1: Teorema del Valor Medio

Con tareas como la citada, se buscó aportar a dos de las competencias de Monge Niss, mencionadas por Kowalski (2020), las cuales son: “Representar entidades matemáticas” y “Comunicarse en, con, y sobre la matemática”. La primera, incluye la habilidad de comprender y usar las representaciones matemáticas (ya sean simbólicas, numéricas, gráficas y visuales, verbales, objetos materiales, etc.) y conocer sus relaciones, desventajas y limitaciones, entre otros; mientras que la segunda, contiene por un lado la habilidad de entender afirmaciones matemáticas (orales, escritas u otras) hechas por otros, y, por otro lado, la habilidad de expresarse matemáticamente uno mismo de diferentes maneras.

2.4.2 Tarea 2

Decida, justificando adecuadamente, si el recíproco del Teorema del Valor Medio es verdadero o falso.

Con tareas como ésta, se buscó promover el análisis de la validez de afirmaciones matemáticas.

2.4.3 Tarea 3

Grafique la función dada por la ecuación (2):

$$f(x) = \frac{(x+2)^2}{4x^2-5x-6} \quad (2)$$

en el intervalo $[-10,10]$ utilizando el software GeoGebra. Según lo observado en la gráfica:

- Indique el dominio e imagen de la función.
- Muestre las intersecciones con los ejes coordenados.
- ¿La función tiene simetrías?
- ¿Observa alguna asíntota? ¿De qué tipo? Indique una ecuación que represente las mismas.
- Determine, si existen, los puntos críticos.
- Indique intervalos de crecimiento y decrecimiento, intervalos de concavidad y puntos de inflexión.
- Indique extremos relativos.

h. Corrobore lo observado con las herramientas brindadas por el software.

Este tipo de tarea es la que comúnmente se utiliza en el aula, y con ella se buscó que el alumno aplique los conceptos vistos en el análisis de una curva, apoyándose en las herramientas brindadas por el software.

2.4.4 Tarea 4

Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la cantidad de lluvia promedio en la Provincia de Santiago del Estero durante el año 2019, entre los meses de enero a diciembre, está dada por la función de ecuación (3),

$$f(x) = 135 + 10x - \frac{17}{2}x^2 + \frac{2}{3}x^3 \quad (3)$$

definida en el intervalo $(0,12]$.

Donde x representa el tiempo (en meses, 1-12), y $f(x)$ la cantidad de lluvia (en mm). Considerando que, por ejemplo, el intervalo $(0,1]$ representa el mes de enero, responda a los siguientes interrogantes.

- ¿En qué periodo de tiempo la cantidad de lluvia va en ascenso? ¿y en descenso?
- ¿En qué mes se registró la mayor cantidad de lluvia? ¿y la menor? ¿Cuáles fueron esas cantidades?

Tareas como ésta representan eventos contextualizados, los cuales permiten simular situaciones del mundo real, concibiendo a la actividad matemática como una actividad humana.

En esta actividad en particular, el alumno debió obtener los resultados de manera analítica, luego le dio sentido de acuerdo con el contexto del problema, y, para finalizar, con el uso del Software GeoGebra, pudo corroborar los resultados obtenidos.

2.4.5 Tarea 5

Muchas investigaciones fueron realizadas para dar fin al virus que generó esta pandemia. Sin embargo, varias fueron descartadas debido a lo que ocurría con la carga viral N , una vez suministrado el fármaco. Suponiendo que la Fig. 2 describe el comportamiento de ésta a lo largo del tiempo, responda las siguientes consignas:

- ¿A partir de qué hora comienza a hacer efecto el fármaco?
- ¿Al cabo de cuántas horas se logra que la carga viral sea mínima?

- c. ¿En qué momento el fármaco tiene máxima efectividad?
 d. ¿Qué sucede al cabo de 12 horas?
 e. ¿Por qué fue descartada esta investigación?

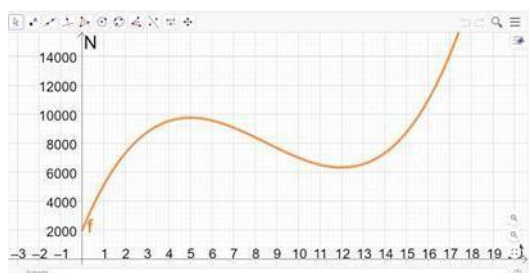


Figura 2: Gráfica que muestra la variación de la carga viral N respecto al tiempo t , en horas.

Esta tarea se presentó en la plataforma Moodle mediante un enlace de GeoGebra. Al abrir este, se encontraron con la “Vista Gráfica”, donde trabajaron haciendo uso solo de las Herramientas y la Barra de Entrada del software.

Con este tipo de tarea se buscaba que el alumno aplique los saberes estudiados en un contexto actual, y que sea capaz de contextualizar y descontextualizar el problema dado.

Algunos alumnos graficaron la función derivada, donde determinaron la intersección con el eje de las abscisas, el intervalo de crecimiento y el intervalo de decrecimiento, y el mínimo absoluto. En cambio, otros alumnos también utilizaron comandos que le permitió determinar el comportamiento de la función dada (puntos críticos y extremos relativos). Luego, guardaron lo realizado como un “Archivo GeoGebra (.ggb)”, ver Fig. 3, al cual lo subieron a la plataforma Moodle, junto a las respuestas de cada ítem.



Figura 3: Ejemplo de lo realizado por un alumno con el software GeoGebra en la Tarea 5.

3 CONCLUSIÓN

Consideramos que, a pesar de la no presencialidad en las aulas, cumplimos con los objetivos propuestos, ya que logramos que los alumnos trabajen activamente, generando un aprendizaje significativo, acompañados por la guía del docente. Esto fue observado mediante las distintas técnicas y herramientas utilizadas a lo largo del proceso de evaluación, ya mencionadas en el desarrollo de la propuesta.

Para decidir la situación final de cada estudiante, es decir, otorgarle o no la regularidad de la asignatura, tuvimos en cuenta la evaluación formativa, donde se valoró continuamente el aprendizaje, teniendo en cuenta para ello, el desarrollo de las tareas, la participación en los debates grupales, entre otros, lo cual nos permitió la revisión constante del proceso de enseñanza.

A partir de la evaluación formativa y de la evaluación final, se valoró otorgar o no la regularidad de la asignatura. El 70% de la matrícula obtuvo la misma.

Como aspecto negativo rescatamos que el 30% no alcanzó la regularidad, y del aula virtual obtuvimos los siguientes datos:

- Un 15% nunca ingresó a nuestra asignatura. Aunque desconocemos el motivo específico, consideramos que las posibles causas son la falta de internet y/o computadora/celular, desinterés, sobrecarga de actividades curriculares y/o laborales, entre otros.
- Un 8% abandonó y el 7% fue insuficiente. Lo cual atribuimos a que esta metodología insume mayor demanda de tiempo y dedicación por parte del alumno, por lo cual, una vía posible de solución sería rever la planificación del programa, analizando minuciosamente los contenidos indispensables para descartar otros que pueden haber sido estudiados en otras asignaturas, y así optimizar el tiempo disponible para llevar a cabo esta metodología con mayor éxito para los estudiantes.

Con estos resultados, estamos convencidos que, al enfocar nuestras prácticas en el ACE y el uso de las TIC, mejoramos la calidad del aprendizaje de los estudiantes, porque hemos notado mayor interés, participación activa de los mismos, mostrando pensamiento crítico y creatividad en el desarrollo de las tareas propuestas.

Esta experiencia fue algo nuevo para los docentes de la cátedra, ya que es la primera vez que trabajamos implementando aspectos del ACE,

tales como el aprendizaje activo y los estilos de aprendizaje, incluso para los propios estudiantes, que al inicio de la experiencia se mostraron reacios a la nueva metodología de trabajo, pero en el transcurso de la misma se logró captar el interés y generar la motivación.

Somos conscientes de que aún debemos realizar cambios profundos en nuestras prácticas, consideramos necesario conocer los requerimientos de los estudiantes, y en este sentido seguir perfeccionándonos en la formación por competencias y en la implementación de las TIC como recursos didácticos, para así poder mejorar esta propuesta y, en general, nuestra práctica docente.

4 REFERENCIAS

- Cukierman, U., Aprendizaje centrado en el estudiante: un enfoque imprescindible para la educación de ingeniería, *Aseguramiento de la calidad y mejora en la educación en ingeniería: Experiencias en América Latina*, Ed. ACOFI y CONFEDI, Primera edición, 27-39, 2018.
- Kowalski, V. A., Erck, I. M., Enriquez, H. D., Cheeín, N. E., Morano, D. E., *Curso de Posgrado 1 - La Formación por Competencias en Matemática. Competencias Matemáticas*, Kowalski – Erck – Enriquez, Misiones, Argentina, 2020.
- Kowalski, V. A., Erck, I. M., Enriquez, H. D., Cheeín, N. E., Morano, D. E., *Curso de Posgrado 2 - La Mediación Pedagógica en la Enseñanza de la Matemática. ¿A quién enseño Yo, entonces?*, Kowalski – Erck – Enriquez, Misiones, Argentina, 2020.
- Labrador Piquer, J., Andreu Andrés, M., *Metodologías Activas*, Editorial de la UPV, Valencia, España, 2008.
- McCombs, B. Whisler, J. S., *The learner – centered classroom and school: Strategies for increasing student motivation and achievement*, Jossey – Bass Publishers, San Francisco, Estados Unidos, 1997.
- Moreira, M. A., *Introducción a la Tecnología Educativa*, Licencia: Creative Commons, Universidad de laguna, España, 2009.
- Secretaría de Educación Pública, *Manual de estilos de aprendizaje. Material autoinstruccional para docentes y orientadores educativos*, Argentina, 2004.
- Sangrà, A., Enseñar y aprender en la virtualidad, *EDUCAR*, 28, 117-131, 2001.
- Silberman, M., *101 estrategias para enseñar cualquier materia*, Troquel S.A., Buenos Aires, Argentina, 1998.
- Silva Quiroz, J., Maturana Castillo, D., Una propuesta de modelo para introducir metodologías activas en educación superior. SciELO México, 2016.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1665-26732017000100117
10.8.2020
- Castellanos, M. P., Cómo Incorporar las TIC en la educación. Semana.
<https://www.semana.com/educacion/articulo/us-o-de-las-tics-en-la-educacion/453104-3>
12.8.2020
- Coll, C., Mauri, T., Onrubia, J., *Análisis y resolución de casos - problema mediante el aprendizaje colaborativo*. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC) 3(2).
<https://www.redalyc.org/pdf/780/78030210.pdf>, 2006.

COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA



Experiencia de aprendizaje activo usando el método de aula invertida

Albaca Paraván, Carlos¹; Saade, Sergio D.¹ y Lutz, Federico H.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*
{calbaca, ssaade, fhLutz}@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

La enseñanza tradicional basada en la clase magistral ha demostrado ser una herramienta poco eficaz en el proceso enseñanza-aprendizaje. Diversos estudios demuestran que las técnicas de aprendizaje activo mejoran el nivel de interés y aprendizaje del alumno. Este trabajo expone una experiencia de una de dichas técnicas denominada de aula o aprendizaje invertido. La misma tuvo lugar dentro de la asignatura Protocolos de Comunicación TCP/IP de la Carrera de Ing. en Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Se realiza una exposición paso a paso de la implementación de la metodología, los resultados de las encuestas realizadas a los estudiantes, las conclusiones de la cátedra en la adopción de la herramienta y uso potencial en otras unidades temáticas de la asignatura.

ABSTRACT

Traditional teaching based on the master class has proved to be an ineffective tool in the teaching-learning process. Several studies show that active learning techniques improve the student's level of interest and learning. This paper presents an experience of one of those techniques called flipped classroom, which was implemented within the subject Protocols of Communication TCP / IP of the Degree in Computer Engineering of the Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) of the Universidad Nacional de Tucumán (UNT). This paper provide a step-by-step presentation of the implementation of the methodology, the results of the surveys carried out by the students, the conclusions of the chair in the adoption of the tool and the potential use in other thematic units of the subject.

Palabras claves: Aprendizaje Activo - Aula Invertida - Interfaz de Socket.

Keywords: Active Learning - Inverted Classroom - Socket Interface.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se está en presencia de una transformación esencial en la forma de implementar el proceso de enseñanza-aprendizaje, resumiéndose esta evolución en el pensamiento de que lo importante de la educación superior no debe incurrir solo en la transferencia de contenidos, sino en el hecho de desarrollar competencias para saber hacer en base a la adquisición de los mismos, en enseñar a hacer más que en el enseñar a saber (Boud, 2012). Este enorme proceso de mutación conlleva métodos de enseñanza nuevos, los cuales centran al estudiante como actor principal del aprendizaje, dejando de lado la forma clásica de clase magistral. Consiguientemente, se deriva que la educación existente no debiera enfocarse exclusivamente en

la cesión de conocimiento, sino también en suministrar las habilidades y competencias para que los alumnos fabriquen su propio aprendizaje. Para lograr este objetivo, se han creado diferentes métodos de enseñanza-aprendizaje que se basan en la hipótesis que el alumno es el principal responsable del aprendizaje y es el único que lo puede construir, proponiendo un aprendizaje activo (Sierra, 2013).

El aprendizaje activo se define como la estrategia que favorece una actitud activa del alumno en la clase, en oposición con lo que sucede con la forma expositiva clásica en la que al estudiante se lo restringe a recibir los conocimientos de lo que comparte un docente por medio de su exposición (Bonwell & Eison, 1991). Para que exista aprendizaje activo, los alumnos deben hacer

mucho más que oír, deben leer, escribir, cuestionarse, discutir, utilizar reglas y principios, aplicar conceptos y resolver problemas. El aprendizaje activo significa que el alumno debe estar comprometido (por propia voluntad o porque lo exige la estrategia del profesor) a situaciones que le requieran actividades intelectuales de orden superior (análisis, síntesis, interpretación, inferencia y evaluación) (González, 2006).

Las metodologías de enseñanza que incitan el aprendizaje activo se encuadran dentro de la teoría constructivista del aprendizaje. De acuerdo a esta teoría, los alumnos son los protagonistas y el eje del proceso y son estos quienes eligen cómo y cuándo desean aprender, mientras que el profesor es solo alguien que orienta, motiva y retroalimenta a los alumnos. El constructivismo enuncia que el aprendizaje se crea construyendo nuestros conocimientos propios desde nuestras experiencias propias (Ormrod, 2014).

El aprendizaje activo no se trata solo de abandonar por completo la clase expositiva, sino, aunque sea, de intercalar actividades muy breves que permitan mantener el interés de los alumnos e incentivarlos a participar en la clase activamente. Por ejemplo: trabajo entre pares, preguntas de selección múltiple usando pulsadores, resolución de problemas pensando en voz alta, aprendizaje invertido, aprendizaje cooperativo y aprendizaje basado en problemas, entre otros.

La cátedra de Protocolos de Comunicación TCP/IP, en el marco de la mejora continua de la calidad de la enseñanza (Albaca, Saade & Lutz, 2015) (Saade, Albaca & Lutz, 2016) desarrolló una experiencia de aprendizaje activo. Se utilizó el método de aula o clase invertida para la enseñanza del tema: Programación de Sistemas Distribuidos con Sockets, tal como lo hicieron diferentes cátedras de diversas universidades (Díaz, Riesco & Martínez, 2005) (Esteba Ramos, 2013) (Banegas, 2007). El objetivo de este artículo es presentar la experiencia, la metodología y analizar los resultados obtenidos.

2. LA ASIGNATURA Y LA TEMÁTICA

La materia en la que se ejecutó la experiencia, y de la cual los tres autores son docentes, se denomina Protocolos de Comunicación TCP/IP y pertenece al módulo VIII (segundo semestre de 4º año) de la currícula de la carrera de Ingeniería en Computación de la FACET - UNT. La asignatura está conformada en 7 ejes temáticos.

Originalmente, para la enseñanza de la unidad 5 (programación de aplicaciones distribuidas usando la interfaz de socket), se impartían clases magistrales, con la exposición detallada de cada una de las rutinas del sistema operativo (sys call) usadas para la construcción de aplicaciones distribuidas. Luego se mostraba mediante el uso de transparencias, programas codificados en C, para ejemplificar el desarrollo de aplicaciones distribuidas sencillas. Las clases resultaban tediosas, aburridas y los estudiantes, mediante encuestas anónimas, se quejaban del poco aprendizaje de dicha temática y la necesidad de aprender más.

3. MODELO INVERTIDO DE APRENDIZAJE

El modelo invertido de aprendizaje (aula invertida o flipped classroom) intenta cambiar los roles y momentos de la educación tradicional, en donde la teoría (habitualmente impartida por el docente), pueda ser atendida en horas extra-clase por el alumno usando herramientas multimediales, y las actividades prácticas (asignadas para el trabajo en casa), puedan ser realizadas en el clase por medio de desarrollo de problemas y proyectos, y técnicas interactivas de trabajo colaborativo (Coufal, 2014).

La expresión aula invertida, utilizada originalmente por Lage, Platt y Treglia (Lage, Platt & Treglia, 2000) como inverted classroom (IC) fue usada para describir una estrategia de clase efectuada en una materia en particular (Economía) aunque hace referencia al uso de métodos similares en todas las disciplinas en las que el docente requiere el acercamiento a temas específicos antes de la clase (Talbert, 2012). La diferencia ofrecida por el aula invertida es la utilización de tecnologías multimediales (presentaciones, video conferencias, et.) para permitir fuera del aula el acceso al material de apoyo. Por ello, este método se clasifica dentro de los modelos mediados por la tecnología.

En su proposición, Lage et al., se fundamenta en la necesidad de igualar los diferentes tipos de aprendizaje de los múltiples alumnos reunidos en un grupo y la forma de enseñanza del docente. Con este supuesto, la utilización de las herramientas multimediales es considerada como una herramienta que permite al alumno elegir la mejor forma y lugar para obtener los conocimientos declarativos a su propio ritmo (Coufal, 2014) (Lage, Platt & Treglia, 2000) (Talbert, 2012), principalmente si el material es

de fácil acceso o se encuentra en Internet. De esta forma se traslada el compromiso de la incorporación de contenidos al alumno y la constitución de la práctica al docente, con la finalidad de conducir las actividades hacia el objetivo planificado (Bristol, 2014).

Según la Taxonomía de Bloom, el estudio de contenidos declarativos se basa en tareas cognitivas de bajo nivel tales como recordar y entender, mientras que la práctica de actividades involucra tareas de alto nivel como aplicar, analizar, evaluar y crear. Por ello, se justifica invertir las actividades del aula, de manera de disponer de un método que integre a los alumnos con distintos niveles de habilidades permitiéndoles avanzar a su ritmo fuera del aula, repasando el contenido tantas veces como les sea necesario y, practicar presencialmente con el sostén adecuado tanto del docente como de sus compañeros, ofreciendo una atención más personalizada, así como el lugar para retroalimentar y enriquecer las participaciones de los estudiantes. Las características del modelo de aula invertida son tales, que lo han situado como una instrucción centrada en el estudiante y afín con el aprendizaje activo (Martínez, Esquivel & Martínez, 2014).

4. ¿POR QUÉ USAR AULA INVERTIDA?

Todas las unidades temáticas de la asignatura mencionada, excepto la de Programación de Sistemas Distribuidos con Sockets, poseían trabajos prácticos de laboratorio. Esto se debía, por un lado, a la falta de tiempo disponible dentro del espacio curricular de la asignatura, y por el otro, que el desarrollo de software en particular escapa a los alcances de la asignatura.

La inclusión de este trabajo práctico de laboratorio y la metodología de aula invertida, fueron la contestación al pedido de los estudiantes en las encuestas realizadas en el año 2015 de realizar laboratorios no guiados sobre la temática. Por esto, se planteó la inversión del aula al momento de desarrollar los temas de este módulo o eje. De esta manera, la lectura y comprensión del material teórico es realizada por cada estudiante en un horario fuera de clases, aprovechando el espacio curricular creado para avanzar en finalización del laboratorio si es necesario, o en otro caso, para efectuar consultas sobre el tema.

El método propuesto fue probado extensamente en la educación universitaria en diferentes partes

del planeta (Fernández & Guerra, 2016) (Mendoza Moreira et al, 2014) (Benítez & Torres, 2013) (Paz et al, 2014), y, además, en materias relacionadas con la tecnología (Benítez & Torres, 2013) (del Pino et al, 2016). Cabe recordar que, invirtiendo el aula, se cuenta con todas las bondades de la metodología ya mencionadas en la sección anterior, principalmente que es una metodología de aprendizaje activa, flexible, centrada en el estudiante, y orientada a competencias; la cual se suma a otras que vienen siendo incorporada por la cátedra, como, por ejemplo, las actividades P2P propulsadas por la cátedra de Arquitectura de Computadoras (Dip et al, 2011) (Cohen et al, 2015).

5. PLANIFICACIÓN PROPUESTA

La finalidad de la propuesta de aprendizaje de la unidad (módulo o eje) es que el alumno desarrolle una aplicación distribuida programada en lenguaje C, para lo cual tiene que incorporar previamente los conocimientos teóricos para comprender el funcionamiento de las aplicaciones distribuidas.

A continuación, se mencionarán los puntos tenidos en cuenta al momento de la planificación de la secuencia didáctica:

- Actividades propuestas: resolución de un trabajo práctico de laboratorio que incluye:
 - Desarrollo en lenguaje C de una aplicación cliente y una servidora comunicadas a través de la suite de protocolos TCP/IP que hagan lo siguiente: el cliente realiza un escaneo de puertos del servidor y establece una comunicación con el único puerto abierto que posee dicho servidor. Luego de una serie de controles de error, el cliente envía un string, el cual es recibido por el servidor, convertido a mayúscula y devuelto al cliente.
 - Resolución de un cuestionario orientado a justificar el uso de pautas de diseño en las aplicaciones.
- ¿Por qué lenguaje C?: porque es uno de los dos lenguajes de programación que se aprenden formalmente en la carrera (siendo el otro Java), y es el que permite trabajar de forma directa con las llamadas a sistema operativo específicas de la interfaz de socket.
- Selección del material de estudio: se cargaron en el sitio web de la asignatura las

diapositivas usadas en años anteriores para dar la teoría de la unidad, un artículo sobre la temática escrito por los docentes de la cátedra (Saade & Borelli, 2004), se recomendó la lectura de los capítulos de un libro (Stevens, Fenner & Rudolff, 2018) que se encuentra en la biblioteca de la facultad, y se subió un tutorial de instalación de las herramientas necesarias para el desarrollo del laboratorio.

- Tiempo de duración de la secuencia didáctica: 14 días corridos.
- Clases presenciales: se destinaron 2 clases presenciales de 1 hora cada una. En la primera se realizó una explicación de la metodología y una breve explicación de los conceptos básicos del módulo, y en la segunda, se destinó para clase de consulta tanto de la teoría como sobre el desarrollo del laboratorio.
- Equipamiento requerido: PC/notebook con sistema operativo Linux y compilador de lenguaje C con las librerías necesarias. El Laboratorio de Redes de Computadoras cuenta con 12 PC acondicionadas para llevar a cabo el desarrollo de las actividades en caso que los alumnos no cuenten con las herramientas mencionadas.
- Forma de trabajo: se pudo trabajar de forma individual o en grupos de hasta 3 alumnos.
- Informe: cada persona o grupo de trabajo (de acuerdo a como hayan trabajado) debe presentar un informe con todas las actividades propuestas realizadas en su totalidad.
- Encuesta final: al finalizar la secuencia didáctica se realizó una encuesta anónima de 10 preguntas sobre la temática y la metodología utilizada para poder realizar una mejora continua de la actividad.
- Evaluación: la unidad fue evaluada de manera teórico-práctica en el parcial correspondiente (parcial N.º 2), de igual manera que las unidades dictadas de forma tradicional.
- Evaluación de la calidad de los ítems del parcial: desde el año 2014 la cátedra analiza los parciales utilizando indicadores psicométricos (Albaca, Saade & Lutz, 2015).

6. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

Los puntos más importantes respecto al desarrollo de las actividades son los siguientes:

- Asistencia a las clases presenciales: el porcentaje de asistencia a la primera clase presencial fue del 52% y del 28% a la segunda.
- Forma de trabajo: 4 alumnos trabajaron de forma individual, se formaron 4 grupos de 2 personas y 3 grupos de 3 personas.
- Utilización de las instalaciones: no fueron utilizadas por los alumnos. Algunos solo copiaron las herramientas necesarias para el desarrollo de la secuencia didáctica.
- Entrega de informes: 8 informes fueron presentados antes de la fecha estipulada, 2 el día del vencimiento y 2 fuera de tiempo. Cada informe fue revisado y corregido por el docente, entregando una devolución concreta a cada alumno o grupo de trabajo.
- Encuesta: de los 21 alumnos que realizaron la actividad, solo 13 respondieron la encuesta final. Los resultados de la misma se detallarán en la sección siguiente.
- Evaluación: el evaluativo parcial contuvo 1 ejercicio práctico de 3 apartados y dos preguntas teóricas de selección múltiple con 4 opciones y solo 1 respuesta correcta posible.
- Evaluación de la calidad del parcial: la evaluación de los ítems del parcial relacionados con la temática arrojaron los siguientes resultados:
 - Índice de dificultad (p): 2 ítems con dificultad media (DM), 2 relativamente fácil (RF) y 1 muy difícil (MD).
 - Índice de discriminación (ID): 1 ítem con discriminación muy buena, 2 buena, 1 regular y otro deficiente.
 - Acciones a seguir según la norma discriminativa (ND): revisar profundamente, o descartar, el ítem con ID deficiente (pregunta teórica de selección múltiple).
 - Índice de dificultad de la temática: dificultad media.

7. RESULTADO DE LA ENCUESTA

A continuación, se transcriben las preguntas de la encuesta realizada a los alumnos, con su respectiva distribución de respuesta y la transcripción textual de los comentarios realizados por los alumnos:

1) El gráfico 1 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 1: ¿Cómo le resultó la temática?

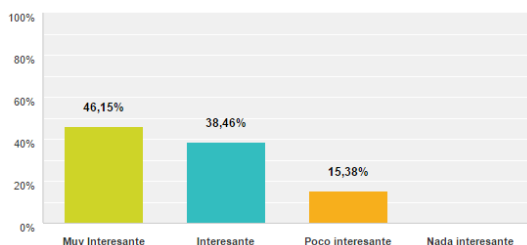


Gráfico 1. Respuestas de la pregunta 1.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Es muy bueno saber al menos la base de programación de una aplicación que utilice lo que aprendemos. Al margen de los laboratorios esto es manos a la obra”.
- “Fue muy interesante porque se pudo llegar a hacer una práctica de TCP y otras materias mezcladas a la vez”.
- “Muy interesante hacer algo de comunicaciones”.
- “Fue entretenido e interesante poder desarrollar por mi cuenta una aplicación real que funcione”.

2) El Gráfico 2 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 2: ¿Qué le pareció la metodología utilizada?

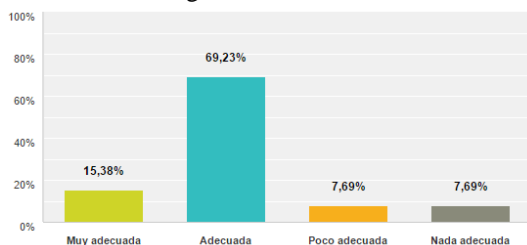


Gráfico 2. Respuestas de la pregunta 2.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Sería bueno también usar otros lenguajes para hacer esto, como por ejemplo java”.
- “Malísimo en cuanto a la preparación presentación, nos tiraron todo y nos dijeron vean que tal les va es muy poco adecuado, hubiese sido bueno una breve introducción al menos de cómo hacerlo”.

3) El Gráfico 3 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 3: ¿Usó el material facilitado por la cátedra? (Si es sí, mencionar si el mismo le pareció excesivo, suficiente o insuficiente, si es no, detallar cual usó)

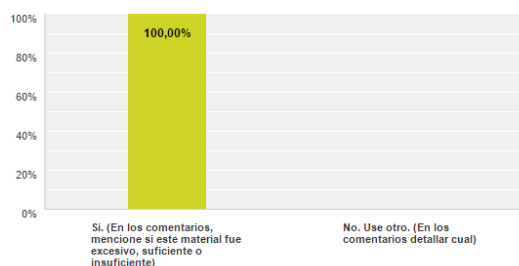


Gráfico 3. Respuestas de la pregunta 3.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Libro del profesor Saade”.
- “Complementado con ejemplos de internet”.
- “Para complementar, también utilicé material de internet”.
- “El material me pareció lo suficiente para poder realizar este practico”.
- “Suficiente”.
- “Material suficiente”.
- “Fue excesivo en cuanto a partes que no necesitábamos”.
- “Tal vez solo con el los diagramas de flujo de cada tipo de comunicación y una explicación detallada de cómo funcionan las instrucciones utilizadas hubiera sido suficiente”.
- “Si utilicé el material, más el libro del Ing. Saade”.
- “Fue suficiente”.
- “El material estuvo muy bien. Creo que fue suficiente”.
- “Me pareció más clara la explicación que está desarrollada en el libro del Ing. Saade”.

4) El Gráfico 4 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 4: ¿Qué le pareció el plazo de entrega del informe?

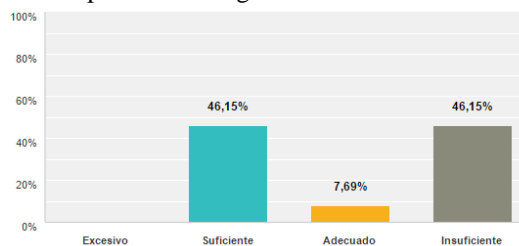


Gráfico 4. Respuestas de la pregunta 4.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Tienen que entender que además de la materia nosotras tenemos vida y cursamos otras materias más”.
- “Poco tiempo, más la rendida del practico el mismo día”.

- “Podría haber sido un poco mayor el plazo, no importa que se siga con clases práctica de distinto tema”.
- 5) El gráfico 5 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 5: ¿Cuánto tiempo aproximadamente le llevo el desarrollo de las aplicaciones?

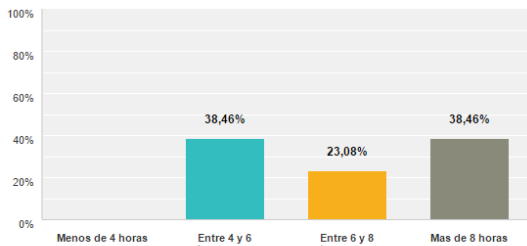


Gráfico 5. Respuestas de la pregunta 5.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Tuve muchas complicaciones con la máquina virtual y al instalar una versión de Linux”.
 - “Hubiese sido menos si nos enseñaban o coordinaban mejor en el tema”.
 - “Cerca de 12 puede ser”.
- 6) El Gráfico 6 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 6: ¿Cómo fue la cantidad de horas de consulta?

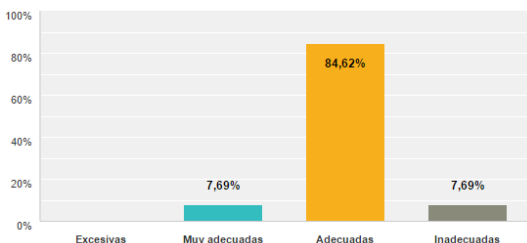


Gráfico 6. Respuestas de la pregunta 6.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Más consulta”.
- 7) El Gráfico 7 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 7: ¿Qué le pareció la dificultad del laboratorio?

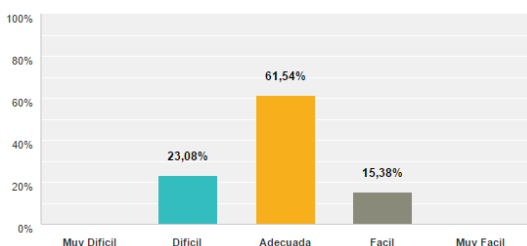


Gráfico 7. Respuestas de la pregunta 7.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Más que nada, el tema de acordarse de programación en C y la gran cantidad de librerías que había que importar. Me gustaría que indicaran todas las librerías que habría que importar para hacer el práctico”.
 - “No es difícil, pero para hacerlo necesitábamos más información útil”.
 - “Estaría bueno que también se utilice socket de datagrama”.
- 8) El Gráfico 8 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 8: ¿Qué tan claro le resultó el enunciado del laboratorio?

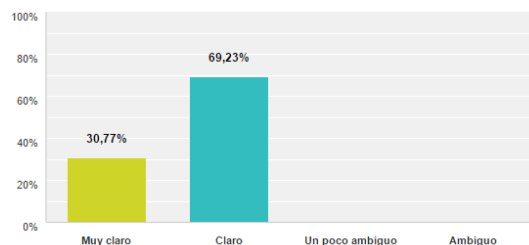


Gráfico 8. Respuestas de la pregunta 8.

- 9) El Gráfico 9 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 9: ¿Cómo fueron sus conocimientos previos para realizar el laboratorio?

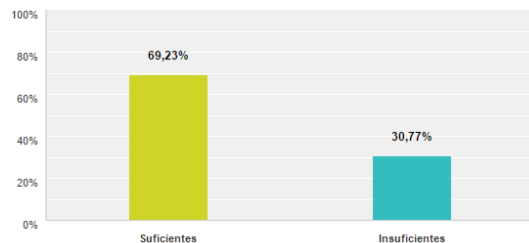


Gráfico 9. Respuestas de la pregunta 9.

Los comentarios relacionados a esta pregunta fueron:

- “Sobre las librerías a usar”.
 - “Algunas dificultades con las librerías de C y funciones de C”.
 - “Costo un poco la sintaxis de los tutoriales, pero estuvimos bien”.
 - “No tuve muchas complicaciones. La base que tenemos en C es muy buena. Y lo que no recordaba estaba muy fácil de encontrar en internet”.
- 10) ¿Qué otras unidades le gustaría que se enseñen con esta metodología?
- “Ninguna... no me gusto la verdad esta metodología, en mi caso particular”.

- “IPv6. Sugerencia: Sería bueno que haya más laboratorios así, me di cuenta que encarar un laboratorio de este modo, con solo el soporte teórico, aprendí mucho. Sería bueno también que usemos software de simulación como por ejemplo el Packet Tracer”.
- “No me parece que sea mejor enseñar otra unidad siguiendo esta metodología”.
- “Unidad de aplicaciones”.
- “Ninguna, la metodología es mala”.
- “La unidad de Aplicaciones”.
- “TCP”.
- “Todas, realmente fue muy bueno poder hacer algo real, entender realmente como se comunican las cosas, en Fundamentos de Redes se podría hacer algo con Ethernet capaz y no sé si en TCP se puede hacer algo así con IP”.
- “Seguridad”.
- “Me parece mejor la metodología que está siguiendo la cátedra”.

8. CONCLUSIONES

En primera medida cabe mencionar que en general la metodología fue bien recibida, a excepción de casos aislados en donde los alumnos se sintieron “abandonados” por los docentes.

Por otro lado, en función de los comentarios de los alumnos, como acciones correctivas para los próximos años se realizará una mejor selección del material bibliográfico de manera de impedir que el estudiante se sienta agobiado por el mismo. También se aumentará el plazo de entrega del informe, y se promoverá la asistencia a las clases presenciales generando en las mismas actividades cognitivas de alto nivel como el uso de tormenta de ideas, trabajo colaborativo entre pares y creación de mapas conceptuales de la temática.

Desde el punto de vista de los docentes, se considera que el tiempo y esfuerzo extra dedicado a reformular la forma de dictado y la generación de nuevo material valió la pena, quedando demostrado tanto por el resultado de las encuestas como de los parciales.

Por último, la cátedra se compromete a implementar a futuro otro laboratorio usando esta metodología, siempre buscando respuesta a las inquietudes de los alumnos y realizando un proceso de mejora continua del proceso enseñanza-aprendizaje.

9. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en el marco del Proyecto de Investigación del Consejo de Investigaciones de la UNT (CIUNT) N° E652/2 “Comunicaciones y aplicaciones en Internet de las Cosas (IoT)”.

10. REFERENCIAS

- Albaca Paraván, C.; Saade, S. y Lutz, F. (2015) Evaluación de la calidad de los parciales de la asignatura Protocolos de Comunicación TCP/IP mediante la aplicación de diferentes índices. *X Jornadas de Ciencia y Tecnología del NOA*. Salta, Argentina.
- Banegas, J. (2007). Tutoriales para Física Introductoria: Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física. *Latin-American Journal of Physics Education*, 32-38.
- Benítez Cortés, R. P., & Torres Covarrubias, V. J. (2013). Explorando la implementación del aula invertida en la educación superior. *XII Congreso Nacional de Investigación Educativa* (págs. 1-9). Guanajuato: Consejo Mexicano de Investigación Educativa.
- Benítez, R., & Torres, V. (2013). Explorando el Enfoque Instruccional del Aula Invertida en la Enseñanza y Aprendizaje de la Programación de Computadoras en Estudiantes Universitarios. *Research in Computing Science*, 43-50.
- Bonwell, C., & Eison, J. (1991). *Active learning: creating excitement in the classroom*. Washington: Escuela de Educación y Desarrollo Humano - Universidad George Washington.
- Boud, D. (2012). *Developing Student Autonomy in Learning*. New York: Taylor & Francis.
- Bristol, T. (2014). Flipping the Classroom. *School of Nursing Publications*, 43-46.
- Cohen, E. D., Scida, M., Bazán, G., Sleiman, G., & Volentini, E. D. (2015). Enseñanza entre Pares – Votadores Inalámbricos. *Actualidades 2015 en electricidad, electrónica y computación*. San Miguel de Tucumán: DEEC-FACET-UNT.
- Coufal, K. (2014). *Flipped learning instructional model: perceptions of video delivery to support engagement in eighth grade math*. Beaumont: Lamar University.
- Del Pino, B., Prieto, B., Prieto, A., & Illeras, F. (2016). Utilización de la metodología de aula invertida en una asignatura de Fundamentos de Informática. *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 67-75.
- Díaz Fondón, M. Á., Riesco Albizu, M., & Martínez Prieto, A. B. (2005). Hacia el

- aprendizaje activo: un caso práctico en la docencia de Sistemas Operativos. *Novática: Revista de la Asociación de Técnicos de Informática*, 54-58.
- Dip, D. N., Remis, L. C., Cohen, E. D., & Volentini, E. D. (2011). Sistema de Respuesta de Audiencia e-vote. *Publicación de la Red Universitaria Nacional de Ingeniería en Computación*.
- Esteba Ramos, D. (2013). Recursos y estrategias para un aprendizaje activo. *I Congreso Internacional de Didáctica del Español como Lengua Extranjera* (págs. 407-415). Budapest: Instituto Cervantes de Budapest.
- Fernández Gámez, D., & Guerra Martín, M. D. (2016). Aprendizaje inverso en formación profesional: opiniones de los estudiantes. *Innoeduca: international journal of technology and educational innovation*, 29-37.
- González Zamora, J. H. (2006). *La Evaluación de los estudiantes en un proceso de aprendizaje activo*. Cali: Publicaciones CREA.
- Lage, M., Platt, G., & Treglia, M. (2000). Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment. *The Journal of Economic Education*, 30-43.
- Martínez Olvera, W., Esquivel-Gámez, I., & Martínez Castillo, J. (2014). Aula Invertida o Modelo Invertido de Aprendizaje: Origen,. *Los Modelos Tecno-Educativos, revolucionando el aprendizaje del siglo XXI*, 143-160.
- Mendoza Moreira, F. S., Andrade García, B. R., Moreira Macía, B. A., & Arteaga Vega, J. C. (2014). Estrategias para la implementación de un enfoque metodológico interactivo en aulas invertidas para la formación de grado en Educación. *Revista educación y tecnología*, 36-48.
- Ormord, J. E. (2014). *Educational Psychology: Developing Learners*. Colorado: Pearson.
- Paz, Á. P., Serna, A., Ramírez, M. I., Valencia, T., & Reinoso, J. (2014). Hacia la Perspectiva de Aula Invertida (Flipped Classroom) en la Pontificia Universidad Javeriana desde una tipología de uso educativo del Sistema Lecture Capture (S.L.C). *IX Conferencia Latinoamericana de Objetos y Tecnologías de Aprendizaje* (págs. 395-403). Manizalespax: Universidad Nacional de Colombia.
- Saade, S. & Borelli, J. (2004) Programación en redes TCP/IP utilizando la interfase de sockets. *Cet: Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería*. N° 25. pp. 20-28.
- Saade, S.; Albaca Paraván, C. & Lutz, F. (2016) Incorporación de IPv6 en la Currícula de Ingeniería en Computación. *IEEE Xplore Digital Library*.
- Sierra Gómez, H. (2013). El aprendizaje activo como mejora de la actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra.
- Stevens, W. R., Fenner, B., & Rudolff, A. M. (2018). *UNIX Network Programming Volume 1*. Sikkim: SMIT-SMU.
- Talbert, R. (2012). Inverted Classroom. *Colleagues* , 18-20.

Experiencia de enseñanza virtual de la asignatura Redes de Área Extendida

Albaca Paraván, Carlos¹; Nahas, Romina Paola¹ y Nader, Fernando Miguel.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*
{calbaca, rnahas, fnader}@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El 11 de marzo del corriente año la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró al brote de coronavirus como pandemia, siendo el primer comunicado de suspensión de actividades en la Universidad Nacional de Tucumán el 14 de ese mismo mes y el inicio de clases el lunes 16. Ante un posible no retorno a las aulas se decidió iniciar el dictado de la asignatura en forma virtual hasta el regreso a las aulas (algo que no ocurrió). En este trabajo se describe la experiencia de la cátedra para la adaptación de la asignatura a su dictado virtual para sobrellevar la problemática educativa introducida por la pandemia y los resultados de una encuesta (conformada por 10 preguntas utilizando una escala de Likert de 5 puntos) realizada a los alumnos sobre el cursado virtual de la asignatura, obteniendo excelentes resultados.

ABSTRACT

On March 11, the World Health Organization (WHO) declared the coronavirus as a pandemic, on March 14 the UNT made the first statement of suspension of activities and immediately afterwards, on Monday 16, they suspended the start of classes. Considering a possible non-return to the classrooms it was decided to start teaching the subject via online until the return to the classrooms (which did not happen and the course was provided completely on that modality). This paper describes the experience of the teaching staff adapting the subject for its dictation via web to cope with the educational problems brought by the pandemic and the results of a survey (consisting of 10 questions using a 5-point Likert scale) made to students about taking virtual classes, obtaining excellent results.

Palabras claves: Redes de Área Extendida – Enseñanza Virtual – Pandemia

Keywords: Wide Area Networks – Virtual Education – Pandemic

1 INTRODUCCIÓN

El día 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud declaró al brote de coronavirus como una pandemia global (OMS, 2020). La pandemia de Covid-19 afectó las actividades de los centros educativos de todo el mundo. Sin embargo, la tarea de los docentes hizo posible que los alumnos distintas facultades continúen sus trayectos educativos desde sus casas.

En ese contexto, la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) se encuadró en el decreto de necesidad y urgencia del Gobierno Nacional (PTE, 2020), y tuvo que suspender sus actividades presenciales para resguardar la salud de alumnos, docentes y no docentes.

El Rector de la Universidad Nacional de Tucumán, Ing. José García, emitió la Resolución N° 0145 (2020) por la cual se suspendieron las clases presenciales en todo el ámbito universitario, es decir unidades académicas y escuelas experimentales, a partir del 16 de marzo de 2020. Esta resolución, recomendaba a todas las unidades académicas y a las escuelas experimentales adoptar las medidas necesarias procurando garantizar el desarrollo del calendario académico, los contenidos mínimos de las asignaturas y su calidad, pudiéndose contemplar la implementación transitoria de modalidades de enseñanza a través de los campus virtuales, medios de comunicación o cualquier otro entorno digital susceptible de certificación. Además, brindó la posibilidad de utilización de estrategias

desarrolladas en el marco de la educación a distancia para las evaluaciones parciales y finales de las asignaturas y espacios curriculares, dejando en libertad a cada Facultad y Escuela la definición del uso de estrategias desarrolladas en el marco de la educación a distancia. En este sentido, el Sr. Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET), Dr. Ing. Miguel Cabrera emitió la Resolución N° 0056 (2020) Ad-Referéndum del Consejo Directivo, donde se establece en todo el ámbito de la Facultad la posibilidad de utilizar estrategias desarrolladas en el marco de la educación a distancia para las evaluaciones parciales y finales de las asignaturas y espacios curriculares que se ofrecen en la misma.

El objetivo de este artículo es mostrar la adaptación de la asignatura Redes de Área Extendida a la metodología de enseñanza virtual de acuerdo a las disposiciones emanadas por las autoridades correspondientes.

2 LA ASIGNATURA

Redes de Área Extendida es una asignatura obligatoria del plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Computación (FACET-UNT), está ubicada en el módulo IX (1^{er} semestre de 5^{to} año), tiene una duración total de 96 horas distribuidas en 4 horas de teoría y 2 de práctica por semana (intercalando clases de resolución de problemas y laboratorios).

Respecto al sistema de evaluación de la asignatura, el mismo consiste en 2 exámenes teórico-prácticos (se incluyen preguntas de laboratorio), uno a mitad del cursado y otro al finalizarlo. Cada examen se aprueba con una nota igual o mayor a 4/10.

Finalmente, vale destacar que la asignatura se puede promocionar si el alumno obtiene un promedio mayor o igual a 6 en los exámenes (sin tener ninguno desaprobado). Si posee una nota inferior a 6 y mayor o igual a 4 queda regular (debiendo rendir un examen final), o caso contrario, queda libre.

3 EDUCACIÓN VIRTUAL

La educación a distancia es un campo de conocimiento privilegiado para comprender los desafíos actuales ante los procesos que se han generado con los desarrollos y aplicaciones alcanzados por las Tecnologías de la Información

y Comunicación (TIC) en las sociedades modernas. Recientemente aparecieron los términos universidad virtual y educación virtual, los cuales se introdujeron para representar la versión más moderna de la educación a distancia. Con esto se pretende explicar, desde el punto de vista físico, que la universidad y las aulas pueden reemplazarse con entornos virtuales mediante TIC, lo cual, remite al uso de Internet como medio principal de comunicación. Este aspecto se corrobora en la definición brindada por la Universidad Camilo Jose Cela (2002) en su enciclopedia pedagógica: “la educación virtual, es un método de enseñanza no presencial, basado en las nuevas tecnologías de la información utilizando como herramienta fundamental el soporte informático, sin prescindir ni atenuar la relación profesor-alumno, pues la comunicación se mantiene y fomenta mediante la red”.

En un entorno virtual, el aprendizaje de los alumnos puede ser monitoreado a través de pruebas o exámenes interactivos. Los docentes pueden devolver los resultados por correo, o colocar las notas en la página del curso. La retroalimentación inmediata a los resultados de los exámenes puede ser programada en los sitios de la Red para reforzar el aprendizaje de los estudiantes, y corregir rápidamente sus errores.

La evaluación no debe ocuparse sólo del desempeño y logros de los alumnos. Un componente importante del proceso de enseñanza-aprendizaje virtual es la evaluación continua del curso. Los docentes deben ofrecer medios a los alumnos para que expresen sus opiniones sobre los objetivos, los contenidos, los procedimientos, y los resultados del curso. Esta evaluación no es una medida de la aceptación del docente al finalizar el curso; es parte de la dinámica del proceso.

Según un artículo de Hafner (2002) en el New York Times, varios proyectos importantes de educación virtual han resultado menos rentables y exitosos de lo esperado. Por ejemplo, la Universidad de Columbia, en asociación con otras prestigiosas instituciones como la Universidad de Chicago, la Universidad de Michigan, la Escuela de Economía y Ciencias Políticas de Londres, la Biblioteca Británica, el Museo de Historia Natural, la Biblioteca Pública de Nueva York, y el Museo Británico, inició un ambicioso proyecto denominado Fathom.com para ofrecer cursos en línea a través de la Red, en la cual se invirtieron más de 25 millones de dólares.

Como el número de estudiantes interesados en los cursos válidos para obtener un título académico fue inferior a las expectativas, Fathom.com decidió redireccionar su oferta de cursos hacia la actualización, el entrenamiento profesional y la educación permanente. Adoptó una nueva estrategia, poniendo a disposición de los interesados un abanico de cursos y seminarios menos extensos, más baratos o sin ningún costo, sobre temáticas muy diversas y sugestivas.

La Western Governors University (2020) es un caso muy exitoso de universidad virtual que merece destacarse. Fue fundada en 1995 por los gobernadores de 19 estados en la región occidental de los Estados Unidos. Es una institución cuya enseñanza está basada en competencias, y que no otorga certificados o grados por un número determinado de créditos aprobados. Tampoco opera bajo un calendario académico tradicional; una clase puede empezar cualquier día, algunas duran unas pocas semanas, otras todo un semestre, y otras pueden durar lo que el alumno se demore para estudiar todo el material del curso. A los estudiantes no se les exige tomar ningún curso, y para obtener un título el único requisito es aprobar una serie de exámenes. La función de los profesores no es enseñar en el sentido convencional; actúan como consejeros que determinan lo que el estudiante sabe o desconoce, y los cursos que necesita para que pueda afrontar con éxito las pruebas. Es indiferente si los alumnos aprendieron los contenidos de estos exámenes por su propia cuenta o a través de cursos que tomaron en la universidad. Para obtener un título se requieren competencias en dominios generales como la escritura y las matemáticas, y específicas del área. Todo el proceso para alcanzar un grado académico gira en torno al sistema de pruebas. A diferencia de las universidades tradicionales, separa la enseñanza de la evaluación; los profesores que califican los exámenes no han tenido ninguna interacción previa con el estudiante. Algunas pruebas consisten en ensayos o preguntas de selección múltiple; otras son proyectos en los cuales el alumno demuestra que sabe aplicar sus conocimientos. Esta forma de trabajo y evaluación garantiza un buen desarrollo de la capacidad para solucionar problemas.

4 ANTECEDENTES DE LA CÁTEDRA

Desde el año 2018 los docentes de la cátedra incorporaron la transmisión en vivo de las clases presenciales utilizando un grupo secreto de Facebook como soporte a los alumnos para el repaso de los contenidos y la posibilidad de seguir las clases en caso de no poder asistir presencialmente al aula. Asimismo, desde ese mismo año se comenzaron a utilizar herramientas online como Socrative, para la toma de *quizes* (exámenes de muy corta duración: 1 o 2 preguntas que deben ser respondidas en un par minutos) durante las clases teóricas, y Quizizz para generar un cuestionario de repaso previo a los exámenes de la asignatura. Además, vale destacar que la materia siempre contó con un sitio web donde se subía el material de estudio (diapositivas de clases, enunciados de laboratorios y prácticos, material adicional, etc). Por otro lado, el uso de simuladores de red es un tópico conocido en profundidad por los docentes ya que se dirigieron una vasta cantidad de proyectos finales de graduación de la carrera en el marco de los contenidos de la asignatura.

5 LA PROPUESTA

Ante los eventos sucedidos a nivel mundial, y tomando como base las resoluciones rectorales y decanales sobre la enseñanza virtual, la cátedra modificó rápidamente la forma en que se impartieron las clases teóricas, prácticas y de laboratorio. A continuación, una breve descripción de los cambios realizados.

5.1 *Las herramientas*

Originalmente, la cátedra usaba el sitio web oficial de la asignatura donde se subía el material de clases e informaba las notas de los alumnos y las novedades respecto al cursado, y un grupo secreto de Facebook donde se utilizaba como foro y se transmitían en vivo las clases presenciales como una ayuda para quienes eventualmente no podían asistir o para que les sirva para estudiar y repasar.

Al migrar completamente a la virtualidad, se decidió unificar todo en la plataforma Classroom, ya que la Facultad cuenta con un paquete G Suit for Education. De esta manera se pudo integrar el acceso al material educativo usando documentos de Google (Drive), la transmisión y grabado de clases mediante Meet, la toma evaluaciones con Forms y el seguimiento de alumnos mediante la

libreta de calificaciones del alumno, todo en una sola plataforma. Además, cuenta con la posibilidad de integrar Classroom con Calendar de manera de crear recordatorios de clase donde se puede adjuntar tanto el enlace a Meet como documentos adjuntos de Drive.

5.2 *Las clases teóricas*

Como se mencionó anteriormente, las clases fueron transmitidas y grabadas usando Meet, donde para el apoyo de la exposición del docente, se utilizaron diapositivas usando Presentaciones de Google y la Jamboard (también de Google) como pizarrón virtual.

Durante la exposición de las clases se realizaron quizzes sobre los temas tratados para tener conocimiento si los alumnos lograron comprender los temas o no.

5.3 *Las clases prácticas*

Al igual que las clases teóricas, las clases prácticas se realizaron usando Meet, Presentaciones de Google y Jamboard, pero sumando el uso de herramientas de diseño gráfico para poder mostrar mejor la resolución de los ejercicios modelo que se plantearon en cada clase usando capas que se mostraban y ocultaban a medida que se iba resolviendo cada uno.

Se decidió usar estas herramientas de diseño gráfico ya que haber usado solo Jamboard hubiera demandado mucho tiempo en la explicación de cada ejercicio y dificultando el entendimiento de los mismos.

5.4 *Las clases de laboratorio*

Al igual que las clases teóricas y prácticas, para las clases de laboratorio se usaron Meet y Presentaciones de Google como herramientas base, agregando el uso del simulador GNS3 para el diseño y prueba de las topologías de red que normalmente se llevan a cabo en el ámbito del Laboratorio de Redes de Computadoras.

De esta forma, el docente daba una breve explicación del enunciado del laboratorio, explicaba algunas pautas y quedaba en línea mientras los alumnos, desde sus casas, trabajaban implementando (mediante la simulación) los escenarios descriptos en cada apartado del laboratorio.

Se decidió utilizar esta metodología en base a la gran cantidad de bibliografía que la apoya de forma positiva, como por ejemplo Lorandi Medina (2011) y Britos (2013).

5.5 *Las evaluaciones*

Una gran dificultad al momento de la planificación del cursado virtual fue la de determinar la forma de evaluación de la asignatura, esto debido a que las pautas de evaluación provenientes de las autoridades de la UNT y la FACET se hicieron esperar debido a la incertidumbre de cómo se iba a ir desarrollando la pandemia tanto en el país como en la provincia.

Una vez habilitada la posibilidad de tomar exámenes virtuales, se decidió tomar un solo evaluativo al final del cursado, debido a la imposibilidad de tomar 2 parciales por lo avanzado que se encontraba el cuatrimestre.

Fue así que se decidió tomar un examen teórico práctico mediante el uso de Forms, debiendo cada alumno estar conectado a Meet y tener una cámara web encendida (según resolución del HCD de la FACET) para poder ser supervisado por los docentes.

6 ENCUESTA

Al finalizar la asignatura, en condiciones normales de cursado, se debe impartir la “encuesta para mejorar la calidad de la enseñanza”, según resolución del Consejo Directivo de la FACET (2018).

Por imposibilidad de realizar la encuesta reglamentaria, luego de haber rendido el examen final, la cátedra les proporcionó a los alumnos una encuesta sobre el dictado virtual de la asignatura.

La encuesta constó de 10 preguntas utilizando una escala de Likert de 5 puntos y al final se dejó un campo para que los alumnos ingresen todos los comentarios que crean adecuados.

La Fig. 1 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 1: “¿Considera que el contenido fue importante para su desarrollo profesional?”.

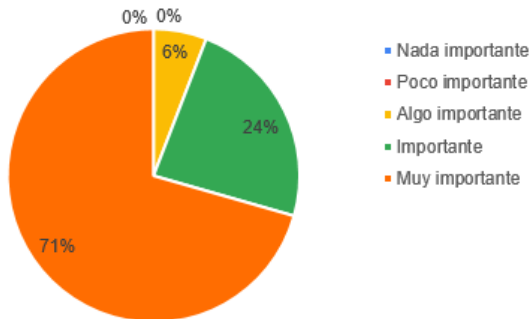


Figura 1: resultado de la pregunta 1 de la encuesta.

La Fig. 2 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 2: “¿Cómo evalúa la calidad de las herramientas utilizadas? (Classroom, Meet, Form, GNS3)”.

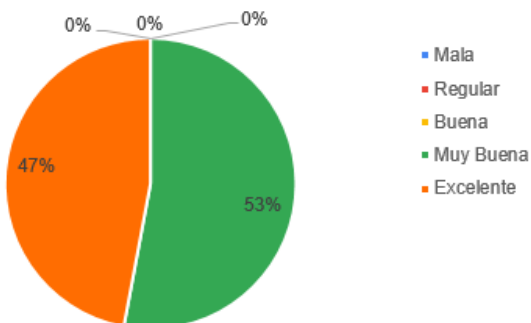


Figura 2: resultado de la pregunta 2 de la encuesta.

La Fig. 3 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 3: “¿Cómo evalúa la calidad del material didáctico ofrecido? (Clases en vivo, pdf, simuladores, etc.)”.

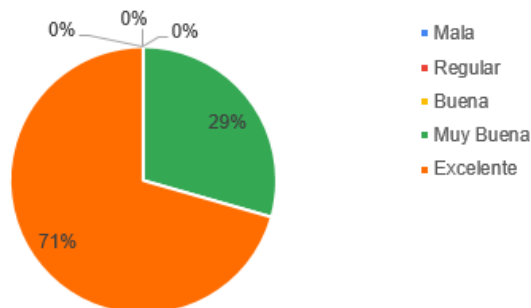


Figura 3: resultado de la pregunta 3 de la encuesta.

La Fig. 4 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 4: “¿Cómo evalúa la calidad de las

explicaciones del docente en las clases teóricas en vivo?”.

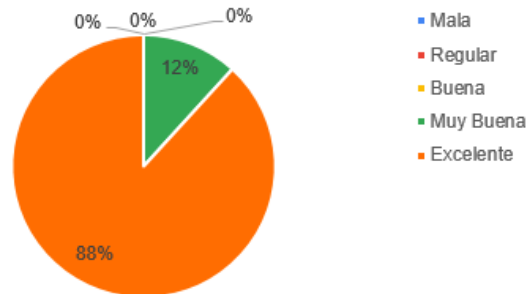


Figura 4: resultado de la pregunta 4 de la encuesta.

La Fig. 5 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 5: “¿Cómo evalúa la calidad de las explicaciones de los docentes en las clases prácticas y de laboratorio en vivo?”.

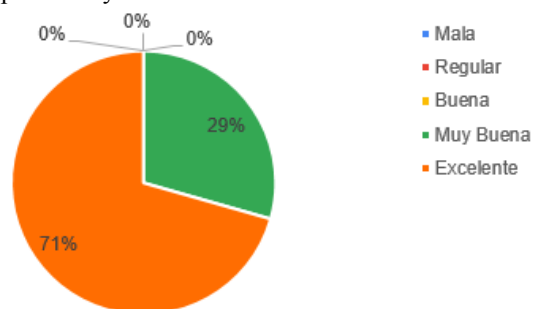


Figura 5: resultado de la pregunta 5 de la encuesta.

La Fig. 6 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 6: “¿Cómo evalúa la calidad de la comunicación docente-alumno durante el cursado?”.

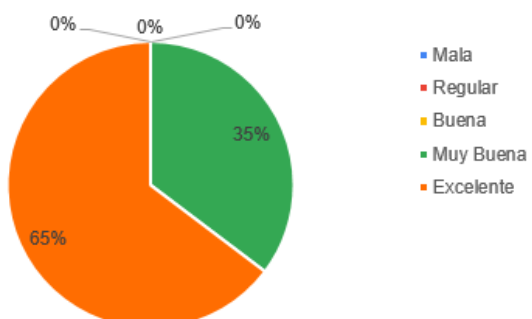


Figura 6: resultado de la pregunta 6 de la encuesta.

La Fig. 7 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 7: “¿Cómo evalúa la dificultad para realizar los laboratorios usando simulación?”.

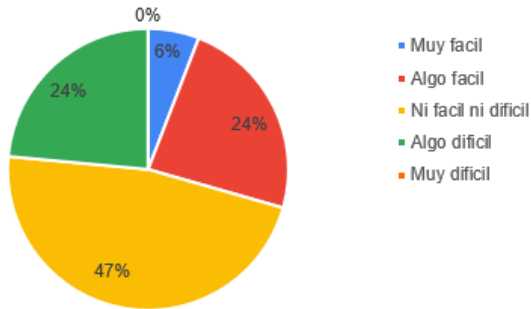


Figura 7: resultado de la pregunta 7 de la encuesta.

La Fig. 8 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 8: “Estime el tiempo promedio necesario para realizar cada laboratorio usando el simulador.”.

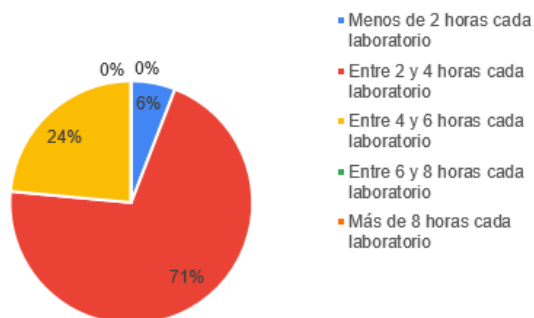


Figura 8: resultado de la pregunta 8 de la encuesta.

La Fig. 9 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 9: “¿Cómo evalúa la forma de rendir el examen de la asignatura?”.

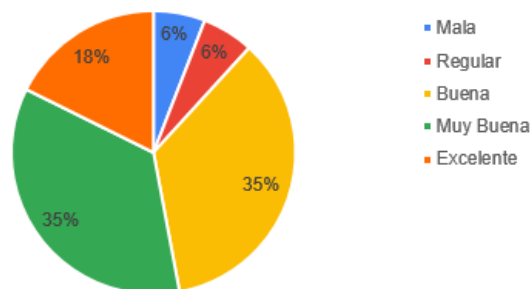


Figura 9: resultado de la pregunta 9 de la encuesta.

La Fig. 10 muestra la distribución de respuestas a la pregunta 10: “Indique su nivel de satisfacción general con la asignatura”.

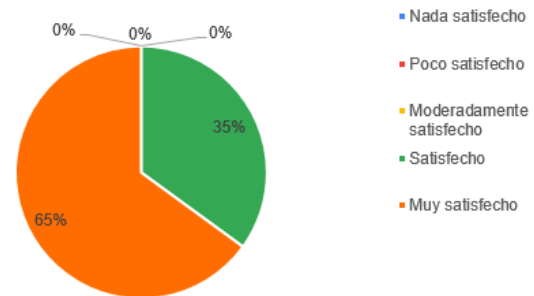


Figura 10: resultado de la pregunta 10 de la encuesta.

Los comentarios textuales dejados por los alumnos se transcriben a continuación:

- “Considero que fue la mejor materia que cursamos, estoy totalmente satisfecho. Aunque redes no sea aquello en lo que me voy a especializar, considero lo estudiado muy interesante e útil. Tuve problemas con GNS3 y las evaluaciones online no me gustan para ser sincero, pero viendo el poco tiempo de anticipación para preparar esto, los felicito por hacer un cursado de excelente calidad”.
- “Ante la dificultad que genera la pandemia para todos, fueron la cátedra que mejor se organizó en mi opinión porque no dejaron de dar contenido, dieron las clases y tomaron la evaluación”.
- “La herramienta para la simulación de los laboratorios tiene muchos inconvenientes que hace que la resolución de laboratorio en sí lleve más tiempo. No se si se puede implementar otra”.
- “Dada la situación sanitaria, la forma en que se encaró la solución con el dictado de clases. Me pareció muy bueno tener el material para poder repasar las clases prácticas y teóricas en cualquier momento. Propongo mantener esta modalidad, aun después que pase esta situación sanitaria”.
- “Los laboratorios ciertamente resultaron interesantes, más allá del simulador”. Personalmente tuve problemas de conectividad a internet pero no fue un mayor problema. Las clases grabadas resultaron realmente útiles sobre todo para repasar algunos conceptos. Sería bueno que se pueda

- implementar también en las clases presenciales.”
- “Me parece que se dio la materia de muy buena manera a pesar de ser virtual. Ninguna otra materia se organizó de tan buena manera ante las condiciones actuales. Saludos”.
 - “Nunca pude hacer anda el GNS3 tuve que hacer siempre con un compañero, fuera de eso excelente la materia, Fueron los únicos que respetaron las horas de teoría + las de práctica”.
 - “El único inconveniente lo tuve en el examen, se me reinició el Google Forms y tuve que volver a rellenarlo a las apuradas, pero entiendo que eso escapa de la cátedra. Me parece excelente que las clases se graben ya que, más allá de la situación actual, es una herramienta poderosa para repasar. Recomiendo que en el dictado presencial también se graben. Creo que se debería profundizar un poco más en temas que no tienen trabajo práctico. Los prácticos deberían tener más ejercicios y no solo uno de cada tipo. Resolverse algunos en clase prácticas y dejar otros para resolver de manera individual. Es difícil no tentarse y copiar y lo que se resolvió en práctica. Creo que se pudo dar respuesta a la realidad que estamos afrontando, así que particularmente agradezco eso y la cordialidad de todos los profesores”.
 - “De la cátedra no tengo ninguna queja, su desempeño fue muy correcto, el único inconveniente que tuve fue con mi notebook, tuve que rendir el examen usando el celular y eso me tomo más tiempo del que me hubiera gustado”.
 - “El dictado fue el mejor del cuatrimestre, todo muy bien explicado y todos muy dispuestos a contestarnos nuestras dudas. Felicitaciones y gracias”.
 - “La asignatura fue una de las que mejor se adaptó a la pandemia. A pesar de que en mi caso particular el GNS3 no funcionaba en mi pc pude realizar los laboratorios via online con otro compañero”.
 - “Todo el cursado estuvo perfecto, salvo (en mi opinión) el examen integral, no por los contenidos sino por el tiempo quizás, hablamos mucho entre compañeros y todos sintieron mucha presión por el simple hecho de rendir online por primera vez, entonces los puntos tardaban más de lo que realmente merecían”.
 - “Problemas al realizar laboratorios, capacidad de cpu consumida por el gns, luego no tuve mas problemas”.
 - “Muy bueno que las clases estén disponibles para ser vistas las veces que haga falta”.
 - “Lo de grabar las clases está genial, me di cuenta la cantidad de cosas que uno no tiene en cuenta en el momento que son muy útiles y ver la grabación facilita esa tarea, Me gustaría que la implementen siempre”.
 - “Muy interesante la materia, por ahí hay contenido que se lo toca de manera muy superficial y no se le llega a dar la importancia que merece, pero eso es una opinión personal y que se puede aprender fuera del curso, pero a pesar de eso extraigo mucha información valiosa del cursado”.
 - “La manera de rendir el parcial no me pareció buena, pero agradezco mucho que hayan dado la posibilidad de hacerlo, no se si llegaré a aprobar o no. Me gustaría que diesen la posibilidad de una recuperación en caso de no llegar. No puedo explicar lo nervioso que estuve, el hecho de no poder pasar las preguntas y saber que había en los otros puntos fue una gran limitante en mi opinión e ir por el punto 3, ver el horario y no saber que faltaba me ponía más nervioso. Si tuviese que rendir de nuevo el evaluativo lo haría totalmente distinto, intentando concentrarme más, la verdad sabia mucho mas de lo que rendí, me encantaría poder hacer un meet o un oral en persona para demostrar esto. Los enunciados me parecieron poco preciso (capaz que fueron mis nervios) y el tiempo en mi opinión fue muy poco, en un momento envié el evaluativo y al volver a abrir la tarea mi enunciado había cambiado y mis respuestas habían desaparecido, espero no haya afectado ninguna entrada. Ruego nos tengan consideración. Me resultó mucho más difícil esta manera de rendir que con un papel y lápiz. Sin embargo aprendí mucho en la materia, todos son excelentes y en este momento quisiera aprobar y poder recibirme porque sé que sé más de lo que hice y que mis nervios me jugaron en contra. Este comentario es una crítica constructiva porque estoy muy agradecido que nos den la posibilidad de avanzar en la carrera y poder recibirnos que cualquier otra cosa. Así que muchas gracias”.

7 CONCLUSIONES

Sin haberlo planificado y sin experiencia previa en la modalidad virtual, en el lapso de las primeras dos semanas de aislamiento se decidió iniciar el dictado de la materia. Esto se desarrolló con clases en línea a las horas establecidas para las teorías y prácticas.

La primera clase se dictó el 01 de abril utilizando Meet, y a partir de esa clase se dictó todo el contenido según el ritmo y horarios que estaban previsto para el formato presencial, lo que significó por parte de docentes y alumnos una adaptación sobre la marcha a las condiciones de fuerza mayor establecidas.

La asistencia a las clases por parte de los alumnos fue alta, al menos se conectaban en un alto porcentaje, y la interacción, tal cual ocurre en clases presenciales, siempre está sesgada a grupos de alumnos más participativos.

Las dificultades encontradas desde la perspectiva docente, podemos clasificarlas en técnicas y, dada la situación, domésticas.

- 1) Técnicas, ya que se notó una limitación al no poder desarrollar de forma ágil esquemas y dibujos que son útiles para explicar conceptos en esta asignatura en particular, pudiéndose mejorar con el uso de tabletas digitalizadoras.
- 2) Domésticas, ya que las condiciones de aislamiento social implicaron para quienes tienen familia, compartir el espacio, a veces con niños y mascotas, y eso trae aparejadas algunas situaciones difíciles de prever.

En cuanto a los exámenes, diseñar una evaluación para ser respondida online implica un gran esfuerzo en repensar las preguntas y adaptarlas a la situación, pero a la vez tiene un gran potencial, por ejemplo, para los tipos de preguntas "Multiple Choice" dado el poder de las herramientas para hacer selecciones aleatorias y mezclar preguntas. Por otro lado, un examen bien diseñado, compensa el esfuerzo de creación con la velocidad de corrección, por lo menos para las preguntas que no impliquen respuestas abiertas.

La experiencia fue importante ya que la cátedra se pudo adaptar, a veces improvisando sobre la marcha, cumpliendo con el dictado completo de la asignatura.

Los recursos técnicos disponibles permitieron una experiencia de aprendizaje positiva, al menos así lo indicaron las encuestas los alumnos, dejando como conclusión final de esta experiencia, que con planificación se puede lograr una experiencia

de aprendizaje de muy buen nivel a pesar de las circunstancias.

8 REFERENCIAS

Britos, D; Vargas, L; Arias, S; Giraud, N y Veneranda, G. Laboratorio Virtual y Remoto para la Enseñanza de Diseño y Administración de Redes de Computadoras. *XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Paraná. 2013.

Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Resolución 1729/2018. appserver.facet.unt.edu.ar/mesaentradas/index.php/resoluciones/mostrarchivo/58869/11343. 03/08/2020.

Decanato de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET). Resolución 0056/2020. appserver.facet.unt.edu.ar/mesaentradas/index.php/resoluciones/mostrarchivo/64643/14758. 14/05/2020

Hafner, K. The Internet's Invisible Hand; At a Public Utility Serving the World, No One's Really in Charge. Does It Matter? Lugar de publicación: The New York Times. www.nytimes.com/2002/01/10/technology/internet-s-invisible-hand-public-utility-serving-world-no-one-s-really-charge.html. 01/08/2020

Lorandi Medina, A; Hermida Saba, G; Hernández Silva, J y Ladrón de Guevara Durán, E. Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería. *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, vol. 4, pp. 24-30, 2011.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Alocución de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020. Lugar de publicación: Organización Mundial de la Salud. www.who.int/es/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020. 27/07/2020

Presidencia de la Nación Argentina (PTE). Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio – DNU 297/2020. Lugar de publicación: Boletín Oficial de la República Argentina. www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/227042/20200320. 27/07/2020.

Rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán. Resolución 0145/2020. www.facet.unt.edu.ar/facetinforma/wp-content/uploads/sites/9/2020

/03/Resoluci%C3%B3n-Rectoral-Nro-0145-2020.pdf. 15/03/2020.

Universidad Camilo Jose Cela. *Enciclopedia de pedagogía*. Espasa, España, 2002.

Western Governors University. Lugar de publicación: WGU. *www.wgu.edu*. 03/08/2020.

Modelo clasificador de documentos científicos aplicando minería de texto

Díaz, Fátima S.¹; Fernández Reuter, Beatriz^{1,2} y Durán, Elena B.^{1,2}

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

(2) *Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información*

fatima.diaz@fceyt.unse.ar; {bfreuter; eduran}@unse.edu.ar

RESUMEN

La búsqueda de documentos en Repositorios Digitales Institucionales (RDI), debido al gran volumen de información que contienen, puede tornarse una tarea tediosa y abrumadora cuando se tiene poca experiencia o no se tiene en claro qué es lo que se está buscando. Para abordar este problema, en el presente trabajo se presenta un modelo clasificador de documentos científicos almacenados en un RDI. El objetivo es que el modelo clasificador etiquete de manera automática con múltiples clasificadores binarios cada uno de los documentos, donde cada uno de esos clasificadores asigna una única etiqueta. Dicho modelo ha sido probado con una muestra de 200 documentos científicos almacenados en el repositorio digital institucional de la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, particularmente aquellos pertenecientes al Departamento de Informática de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de dicha institución. Aplicando el algoritmo SMO de la herramienta Weka se obtuvieron resultados de precisión y recall mayores al 80%, demostrando así su efectividad.

ABSTRACT

The search for documents in Institutional Digital Repositories (RDI), due to the large volume of information they contain, can become a tedious and overwhelming task when you have little experience or are not clear about what you are looking for. To address this problem, in the present work a classifier model of scientific documents stored in an RDI is presented. The goal is for the classifier model to automatically label each document with multiple binary classifiers, where each of these classifiers assigns a single label. This model has been tested with a sample of 200 scientific documents stored in the institutional digital repository of the Central Library of the National University of Santiago del Estero, particularly those belonging to the Department of Informatics of the Faculty of Exact Sciences and Technologies of said institution. Applying the SMO algorithm of the Weka tool, precision and recall results greater than 80% were obtained, thus demonstrating its effectiveness.

Palabras claves: Clasificación - Artículos científicos - Minería de texto - Weka

Keywords: Classification - Scientific articles - Text mining - Weka

1. INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances de Internet es posible acceder a producciones realizadas en cualquier parte del mundo, beneficiando a estudiantes, investigadores y todo tipo de profesionales. Para aquellos dedicados a la investigación hay un recurso fundamental que permite acceder a grandes cantidades de información corroborada, de calidad y sobre una gran variedad de temáticas

sin importar el horario ni la ubicación. Este recurso son los RDI.

Los RDI son sistemas informáticos dedicados a gestionar los trabajos científicos y académicos de diversas instituciones de forma libre y gratuita (Dupret Cabrera et al., 2015). Los RDI de las universidades almacenan todos aquellos trabajos generados por los miembros de la institución, es por ello que los investigadores los utilizan como recurso para verificar datos o para generar nuevo

material. El problema es que, al tener tanta información almacenada, la búsqueda se termina volviendo una tarea tediosa y muchas veces abrumadora, más aún cuando se tiene poca experiencia en búsquedas o no se tiene en claro qué es lo que se está buscando. Es por ello que actualmente se está dedicando mucho esfuerzo para organizar grandes cantidades de información, en especial aquella que no se encuentra estructurada, buscando similitudes que permitan agruparlas en diferentes categorías con el objetivo de agilizar la búsqueda y recuperación de información. Y es aquí en donde la minería de texto puede ser un gran aliado.

La minería de texto permite analizar información no estructurada con la finalidad de obtener nueva información a partir de grandes cantidades de texto. Una de las aplicaciones que hace posible esto es la clasificación.

La clasificación es una técnica que permite agrupar documentos, por ejemplo, según temas o similitudes a partir de características similares (Contreras Barrera, 2016). Aplicando la minería de texto es posible generar un modelo clasificador de documentos capaz de separarlos según distintas temáticas.

En este trabajo se presenta un modelo clasificador que permite etiquetar documentos científicos almacenados en un RDI, de tal manera que cada documento sea etiquetado tras ser analizado por múltiples clasificadores binarios.

A continuación, se describirán los trabajos que sirvieron como base para el desarrollo de este artículo, una descripción del modelo propuesto, los resultados obtenidos de las pruebas realizadas sobre el mismo y para finalizar una breve conclusión.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

La clasificación de documentos aplicando minería de texto ha sido tratado en diferentes investigaciones desde una gran variedad de enfoques, podemos mencionar (Cardoso & Pérez Abelleira, 2010) quienes proponen un buscador semántico que aproveche el resultado de algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación de resoluciones rectorales de la Universidad Católica de Salta, trabajando con 21 categorías. Con ayuda de personal especializado se definieron etiquetas como designación de planta docente, convenio de pasantías, etc. Para

llevar a cabo la clasificación utilizaron la herramienta Weka (Bouckaert et al., 2009).

Otro ejemplo es (Contreras Barrera, 2016) quien propone desarrollar un clasificador automatizado para la clasificación de material bibliográfico por medio de la minería de texto, obteniendo la información de los registros bibliográficos de la base de datos LIBRUNAM, en el desarrollo del clasificador automatizado, basado en la clasificación Library of Congress de la Universidad Nacional Autónoma de México. En este trabajo el clasificador es capaz de reconocer diferentes subclases partiendo del título y de lo anteriormente mencionado, y la asignación de los temas de las subclases se realiza por medio del método de minería de texto RAKE (Rose et al., 2010).

En (Varguez Moo et al., 2012), en cambio, explica el algoritmo SVM, cuyas siglas corresponden a Máquina de Vectores de Soporte (Joachims, 1998), empleado en la clasificación automatizada de documentos y la utilización de las librerías Weka y SVMLight (Joachims, 2017). Si bien se puede observar que existen trabajos que aplican minería de texto para clasificar documentos ninguno de las propuestas tiene en cuenta el etiquetado de los documentos científicos almacenados en un RDI de acuerdo con el título, resumen y palabras claves.

3. MODELO PROPUESTO

El modelo propuesto clasifica de manera automática documentos científicos almacenados en un RDI según su temática. Al clasificar lo que se busca es agrupar documentos de acuerdo con el tema que tratan. El modelo consiste de múltiples clasificadores binarios que identifican, por cada documento, si pertenece o no a una temática asignándole una etiqueta. La clasificación realizada es mediante un aprendizaje supervisado, ya que se definen a priori las etiquetas que le puede corresponder a cada documento. Para ello, se cuenta con la ayuda de un experto para entrenar al modelo (Figuerola et al., 2004).

Como un documento puede pertenecer a un tema o a varios es que se van a tratar con clasificadores binarios independientes, es decir, que el resultado de un clasificador binario no va a estar influenciado por el resultado de otro clasificador. Los clasificadores binarios, son modelos de clasificación que están entrenados para el reconocimiento de una sola etiqueta. De esta

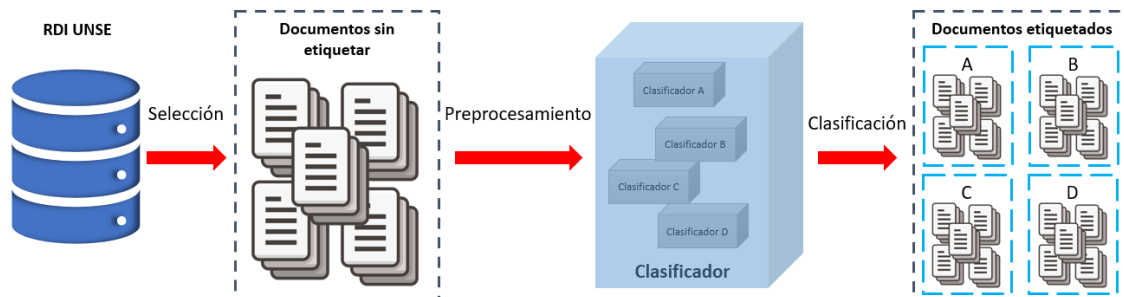


Figura SEQ Figura * ARABIC 1: Etapas para la clasificación de documentos

manera se podrá saber si un texto pertenece o no a un determinado tema.

Como muestra la Fig 1 para poder obtener los documentos etiquetados es necesario pasar por distintas etapas (selección, preprocesamiento y clasificación).

3.1 Selección

Para la generación del modelo fue necesario contar con un conjunto de documentos que permitan entrenar los clasificadores binarios y que posteriormente sean utilizados para el reconocimiento de los documentos asociados a sus etiquetas. Los cuales fueron tomados de un RDI.

Como estos documentos deben pasar por las etapas de preprocesamiento y de clasificación es imperativo que se genere un archivo con los documentos seleccionados para ser clasificados para tratar sus metadatos sin modificar los originales.

3.2 Preprocesamiento

Esta etapa consiste en preparar la información que va a ser clasificada. A pesar de trabajar con un repositorio institucional puede ocurrir que algunos documentos cuenten con errores de tipeo o faltantes de palabras claves, estos deben ser corregidos para poder clasificarlos. Para lograrlo se debe realizar previamente la selección de los campos relevantes y la limpieza de estos.

Como cada documento del repositorio posee metadatos asociados se optó por recuperar solo los campos título, resumen y palabras claves. Esto permitirá tener información relevante para determinar la temática de cada uno de estos documentos seleccionados.

La limpieza consiste en una etapa manual y una etapa automática. En la etapa manual, como

algunos artículos están redactados en inglés, y por requisito del repositorio tanto el abstract como las palabras claves tienen que tener su versión en español para poder ser incluidos en las búsquedas, fue necesario traducir, de inglés a español, los campos títulos, resúmenes y palabras claves. Además, se completaron palabras claves faltantes en algunos documentos, corrección de errores ortográficos, errores de tipeo y se reemplazaron abreviaturas por palabras completas. En la etapa automática se eliminaron acentos y caracteres especiales, y para mejorar el rendimiento del clasificador se eliminaron las palabras irrelevantes (o también llamadas stop-words, tales como artículos, preposiciones, entre otros) y se sustituyeron las palabras por su raíz (stem) (Han et al., 2014), para lo cual se utilizó la herramienta Weka.

3.3 Clasificación

La clasificación de datos es un proceso que consta de una primera etapa de entrenamiento, que es donde se construye un modelo de clasificación, y una segunda etapa de reconocimiento, en el cual se utiliza el modelo para predecir etiquetas de clase para datos dados (Han et al., 2014).

Para la etapa de entrenamiento se definió manualmente una categorización mediante etiquetas, con la ayuda de un experto, para entrenar el modelo clasificador. Como cada documento puede corresponder a una temática, a varias o a ninguna se generó el modelo con clasificadores binarios independientes. De esta forma con las etiquetas definidas se entrena a cada clasificador binario para que identifique si un documento pertenece o no a dicha etiqueta.

El método empleado para la generación de cada clasificador binario fue el de Máquina de Vectores de Soporte (SVM, del inglés Support Vector Machine), el cual es ampliamente

utilizado en problemas de clasificación de texto, dado su rapidez y efectividad. Este método fue implementado ejecutando el algoritmo de Optimización Mínima Secuencial (SMO, del inglés Sequential Minimal Optimization) (Platt, 2014) en el software Weka aplicando la clasificación por pareja (1 vs 1). Es decir, construye n clasificadores binarios por las n combinaciones posibles de las etiquetas elegidas para la clasificación, empleando un Kernel polinomial del tipo $K(x,y) = \langle x, y \rangle^p$ con el exponente igual a 1, conformando así un Kernel lineal $K(x,y) = \langle x, y \rangle$. Además, se utilizaron márgenes duros, es decir, un parámetro $C = 1$.

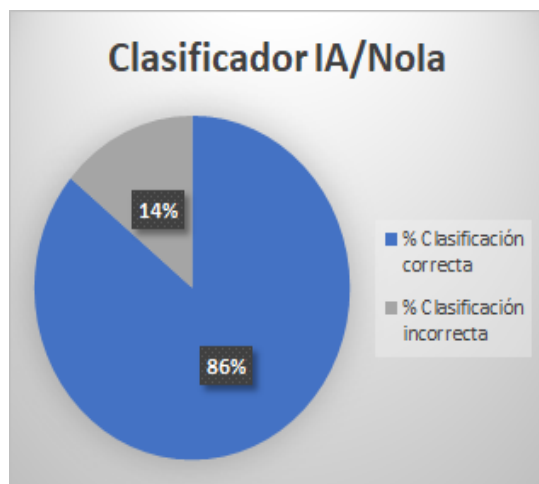


Figura SEQ Figura * ARABIC 3: Resultados en porcentajes del clasificador con la etiqueta IA/NoIA

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se probó el modelo con el material extraído del RDI de la Biblioteca Central de la UNSE dado la posibilidad de acceso a la información. Este repositorio cuenta actualmente con trabajos finales de grado y posgrado, artículos de revista, jornadas y congresos presentados por los alumnos y docentes de todas las Facultades. Fueron seleccionados 200 documentos científicos, correspondientes a temas de Informática, para ser clasificados.

Tras evaluar los documentos seleccionados y las temáticas predominantes se definieron las etiquetas Inteligencia Artificial (IA) y E-learning, esta segunda etiqueta se eligió en inglés puesto

que hay algunas palabras que en el ámbito informático es muy conocido y engloba una gran cantidad de temas. Además, no hay un concepto que resulte completamente equivalente.

Se etiquetaron como IA a aquellos documentos cuyos temas principales eran: agentes, multiagentes, minería de datos, minería de texto, ontologías, entre otros. Aquellos documentos que no traten estos temas fueron etiquetados como NoIA.

A su vez, aquellos documentos cuyos temas principales trataban sobre: aprendizaje colaborativo soportado por computadora, aplicación móvil, aprendizaje ubicuo, aulas virtuales, biblioteca digital, contenido educativo web, e-cultura, e-learning, e-tutores, enseñanza virtual, m-learning, entre otros. fueron clasificados con la etiqueta Elearn. Los documentos que no trataron los temas mencionados anteriormente fueron etiquetados como NoElearn.



Figura SEQ Figura * ARABIC 2: Resultados en porcentajes del clasificador con la etiqueta Elearn/NoElearn

Como resultado se obtuvo un archivo para los documentos de la categoría Inteligencia Artificial (100 con la etiqueta IA y 100 con NoIA) y otro archivo para los documentos de la categoría E-learning (108 con la etiqueta Elearn y 92 con la etiqueta NoElearn).

El clasificador binario correspondiente a la etiqueta del tema Inteligencia Artificial reconoció correctamente un 86% de los documentos y clasificó incorrectamente un 14%. Como se puede ver en la Fig. 2.

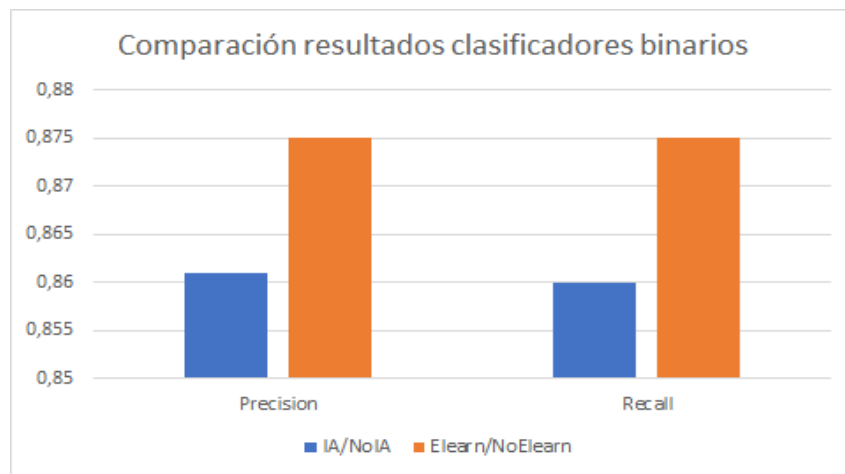


Figura SEQ Figura * ARABIC 4: Comparación de los resultados de precisión & recall de los clasificadores binarios

Como se puede observar en la Fig. 3 el clasificador binario correspondiente a la etiqueta del tema E-learning reconoció correctamente un 87% de los documentos y clasificó incorrectamente un 13%.

Se evaluó, además, los parámetros de precisión y recall, para comprobar la efectividad de los clasificadores binarios en el reconocimiento de las etiquetas mediante una validación cruzada de 10 Folds. Para obtener el parámetro precisión basta con calcular la proporción de documentos correctamente clasificados respecto del total de los que el modelo clasificó automáticamente a dicha categoría. El parámetro recall o exhaustividad equivale al cociente entre el número de documentos asignados correctamente a esa categoría y la cantidad de documentos realmente pertenecientes a la categoría en cuestión (Figueroa, 2017).

Con las etiquetas IA/NoIA se logró una precisión de 0,861 y un Recall de 0,860. Para las etiquetas Elearn/NoElearn se logró una Precision de 0,875 y un Recall de 0,875.

Se puede visualizar los resultados obtenidos de forma comparativa entre los clasificadores para ambas etiquetas en la Fig. 4.

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos es posible afirmar que la generación de un modelo clasificador utilizando el algoritmo SMO permite obtener valores de precisión y recall superiores al 80%, demostrando así su efectividad.

Actualmente, se están realizando más pruebas con otros algoritmos para la generación del modelo clasificador en busca de mejores resultados. Cabe destacar que el clasificador que se obtenga formará parte del sistema recomendador de documentos científicos almacenados en un RDI que se encuentra en desarrollo, con el fin de optimizar las búsquedas de documentos en estos repositorios simplificando la tarea de los usuarios finales.

6. REFERENCIAS

- Bouckaert, R. R., Frank, E., Hall, M., Kirkby, R., Reutemann, P., Seewald, A., & Scuse, D. (2009). WEKA Manual for Version 3-6-1. In *University of Waikato, Hamilton, New Zeland*.
- Cardoso, C. A., & Pérez Abelleira, A. (2010). Minería de texto para la categorización automática de documentos. *Cuadernos de La Facultad n. 5*, 11–45.
- Contreras Barrera, M. (2016). Minería de texto en la clasificación de material bibliográfico. *Biblios*, 55(1), 33–43. <https://doi.org/10.5195/biblios.201>
- Dupret Cabrera, E., Pérez Martínez, D. G., Cedeño Rodríguez, M. Y., Ramírez Mustelie, A., & Montoya Acosta, L. A. (2015). Importancia de los repositorios para preservar y recuperar la información. *Medisan*, 19(10), 1283–1290.
- Figueroa, C. G. (2017). *Clasificación automática de documentos. Un caso práctico. March*, 1–12.
- Figueroa, C. G., Alonso Berrocal, J. L., Zazo

- Rodríguez, Á. F., & Rodríguez, E. (2004). Algunas Técnicas de Clasificación Automática de Documentos. *Cuadernos de Documentación Multimedia*, 15(15), 1–2.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2014). Data mining: Data mining concepts and techniques. In *Proceedings - 2013 International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement, ICMIRA 2013*. <https://doi.org/10.1109/ICMIRA.2013.45>
- Joachims, T. (1998). Text categorization with support vector machines: Learning with many relevant features. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 1398, 137–142. <https://doi.org/10.1007/s13928716>
- Joachims, T. (2017). *SVMLight Support Vector Machine*. <http://svmlight.joachims.org/>
- Platt, J. C. (2014). *Fast training of Support Vector Machines using Sequential Minimal Optimization*. February 1999.
- Rose, S., Engel, D., Cramer, N., & Cowley, W. (2010). Automatic keyword extraction from individual documents. *Text Mining: Applications and Theory*, 1–277.
- Varguez Moo, M., Uc Cetina, V., & Brito Loeza, C. (2012). Clasificación de documentos usando Máquinas de Vectores de Apoyo. *Abstraction & Application*, 6(2012), 40–51. <https://docplayer.es/28365822-Clasificacion-de-documentos-usando-maquinas-de-vectores-de-apoyo.html>

Análisis Exploratorio sobre COVID-19 a partir de publicaciones científicas en *Microsoft Academic* empleando Modelado Temático

Medrano, J. Federico¹

(1) *Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Virtualización (Visualización y Recuperación Avanzada de Información), Universidad Nacional de Jujuy*
jfmadrano@fi.unju.edu.ar

RESUMEN

La expansión de Covid-19 ha afectado severamente la salud de la comunidad en todo el mundo, poniendo en relieve la importancia de las actividades de investigación en diferentes áreas del conocimiento. La proliferación de publicaciones científico-académicas que surgió, a partir de esta nueva temática, supone un reto para los investigadores al momento de hallar bibliografía adecuada y conocer los temas más relevantes tratados en estas. Por ello la minería de datos ofrece métodos automáticos para analizar y visualizar grandes conjuntos de textos generando nuevo conocimiento. El presente trabajo pretende realizar una primera aproximación al modelado de temas sobre el nuevo coronavirus, a partir de la recolección del conjunto de publicaciones, relacionadas al tema, indexadas por el motor académico *Microsoft Academic (MA)*. Empleando *Latent Dirichlet Allocation* como técnica de modelado y visualizando los temas identificados mediante *pyLDAvis* y *Uniform Manifold Approximation and Projection*. Con un número de temas igual a 20 se encontraron resultados favorables identificando temas que van desde las medidas de seguridad adoptadas al impacto en la salud de los infectados. Este estudio puede dar indicios de cómo resolver algunos interrogantes sobre esta problemática a partir del nuevo conocimiento generado y con un análisis en profundidad de las asociaciones encontradas.

ABSTRACT

The expansion of Covid-19 has severely affected the community's health around the world, highlighting the importance of research activities in different areas of knowledge. The proliferation of scientific-academic publications that arose, from this new topic, poses a challenge for researchers when finding adequate bibliography and knowing the most relevant topics covered in these. For this reason, data mining offers automatic methods to analyze and visualize large sets of texts, generating new knowledge. This work aims to make a first approach to topic modeling on the new coronavirus, from the collection of the set of publications, related to the topic, indexed by the academic engine *Microsoft Academic*. Using *Latent Dirichlet Allocation* as a modeling technique and visualizing the topics identified by *pyLDAvis* and *Uniform Manifold Approximation and Projection*. With a number of topics equal to 20, favorable results were found, identifying topics ranging from the security measures adopted to the impact on the health of those infected. This study can give indications of how to solve some questions about this problem based on the new knowledge generated and with an in-depth analysis of the associations found.

Palabras claves: Modelado de temas, COVID-19, LDA, Microsoft Academic

Keywords: Topic modeling, COVID-19, LDA, Microsoft Academic

1. INTRODUCCIÓN

Desde fines de 2019 donde se registraron los primeros brotes hasta nuestros días (Septiembre-2020), la pandemia del nuevo coronavirus Covid-19 ha afectado rápidamente de manera global a casi todo el mundo (Amos, 2020). Se han reportado millones de casos alrededor del globo y las cifras de fallecidos superan los cientos de miles. Sometiendo a los sistemas de salud a un estrés enorme (además de descarrilar las actividades económicas y alterar el comportamiento personal y social).

A medida que esta enfermedad ha avanzado, la cantidad de publicaciones científico-académicas sobre esta temática también ha ido en aumento. Una muestra de ello es el proyecto *Covid-19 Open Research Dataset* (CORD-19), un enorme *dataset* de artículos científicos sobre Covid-19 e investigaciones históricas relacionadas con el coronavirus lanzado en Marzo de 2020. CORD-19 está diseñado para facilitar el desarrollo de sistemas de extracción de información y minería de texto sobre su rica colección de metadatos y artículos estructurados de texto completo, como se indica en Wang (2020).

El análisis y procesamiento de grandes cantidades de texto no es una tarea sencilla; encontrar relaciones o nuevo conocimiento, a veces oculto entre miles o millones de registros, se torna impracticable sin recurrir a modernas técnicas y algoritmos de Aprendizaje Automático y Procesamiento del Lenguaje Natural. Al respecto, una de las técnicas muy populares y que ha dado buenos resultados al analizar conjuntos enormes de datos es el modelado de temas o *topic modeling*. Un tipo de modelo estadístico para descubrir los “temas” abstractos que ocurren en una colección de documentos. El modelado de temas es una herramienta de minería de texto de uso frecuente para el descubrimiento de estructuras semánticas ocultas en un cuerpo de texto.

Como lo indica García-Marco (2020), la misión del modelado de temas consiste, en identificar el conjunto de temas de la colección documental y en establecer la proporción de cada tema en cada documento. Estas operaciones se basan en la coocurrencia de palabras en los mismos documentos; y permiten establecer conjuntos de palabras definitorias, con mayor o menor peso, de cada tema. La presencia de unas u otras palabras en cada documento permite también estimar el porcentaje o proporción que cada tema juega en el contenido de ese documento.

Los trabajos científicos y académicos a cerca del Covid-19 han invadido no solo los repositorios institucionales y bases de datos bibliográficas, sino también blogs, redes sociales, páginas web personales, y diversos medios digitales. Las publicaciones abarcan distintos ámbitos del conocimiento, desde lo netamente médico (Graham, 2020; Le, 2020), pasando por lo ecológico (Hepburn, 2020; Helm, 2020), lo tecnológico/computacional (Wang y Wong, 2020; Randhawa, 2020) hasta lo social (Erduran, 2020; Hossain, 2020), entre muchos otros. Para poder tener una visión completa de esta gran masa de publicaciones diversificadas, es necesario valerse de técnicas que automaticen o reduzcan el enorme número de variables involucradas en un conjunto textual, por ello las técnicas de modelado temático presentan un punto inicial para poder encontrar las agrupaciones temáticas y poder de este modo describir y encontrar nuevo conocimiento a partir de éstas. Este “nuevo conocimiento” puede ser utilizado para dar respuestas a algunos de los interrogantes sobre esta pandemia o para encarar nuevas aristas o líneas de investigación y acción.

Según la literatura consultada, la mayor parte de las publicaciones que han empleado modelado temático tomando como eje el Covid-19 se centraron en el análisis de sentimiento (Xue, 2020; Jelodar, 2020), opinión (Wang, Zou, 2020), velocidad de *retweet* (Ordun, 2020) o percepción (Gupta, 2020) de las personas a partir de la recolección de *Tweets* de la red social *Twitter* o empleado noticias de medios digitales (Kim, 2020), o midiendo las emociones a partir de una encuesta (Kleinberg, 2020). El aporte novedoso de este trabajo radica en la aplicación de métodos de aprendizaje automático y minería de texto sobre el conjunto de publicaciones indexadas por el motor académico *Microsoft Academic* (MA), que están relacionadas con este nuevo virus. Principalmente empleando *Latent Dirichlet Allocation* (LDA) como técnica de modelado de temas y visualizando los resultados mediante *pyLDAvis*. Además, para complementar la interpretación gráfica se aplicó *Uniform Manifold Approximation and Projection* (UMAP), un algoritmo de reducción de dimensionalidad y una herramienta de visualización que permite “agrupar” documentos por tema. Estos dos enfoques, si bien distintos pero claramente complementarios, el analítico y el visual, han permitido conocer el panorama de lo que trata la literatura científica indexada en

MA sobre Covid-19 y además identificar temas fuertemente localizados y diferentes, que se verificaron como importantes a través de cada análisis posterior.

2 METODOLOGÍA

2.1 Fuente de datos

Microsoft Academic (MA), el motor de búsqueda de material científico-académico, es soportado por *Microsoft Academic Graph* (MAG), un grafo de conocimiento de publicaciones académicas estructurado en torno a los siguientes tipos de entidades: publicación, autor, afiliación del autor (institución), lugar de publicación (revistas y conferencias), campo de estudio (tema). Debido a que MAG es un grafo de conocimiento, facilita poderosos análisis cuantitativos del resultado de la publicación, el impacto, la colaboración y mucho más. Como lo indica Hug (2017), MAG fue lanzado en Junio de 2015 y modela “las actividades de comunicación académica de la vida real como un grafo heterogéneo” (Sinha, 2015). Los datos para MAG se recogen principalmente de los *feeds* de metadatos de editores y páginas web indexadas por el buscador *Bing* (el buscador de propósito general de *Microsoft*). Este enorme “grafo” puede ser accedido por dos vías, la primera de ellas a partir del motor de búsqueda académico MA y la otra por medio de la *Academic Knowledge API* (AK-API).

La AK-API permite, mediante peticiones HTTP y configurando los parámetros necesarios (expresión de consulta, cantidad de registros a devolver, posición a partir de la cual se retornarán los resultados, criterio de ordenación, atributos de las entidades a recuperar, estos vendrían a ser los metadatos que se utilizarán en el proceso de recolección, y por último la clave de suscripción del servicio), recuperar un conjunto de resultados que cumplen con los filtros solicitados. Todos los resultados entregados se obtienen en formato JSON.

2.2 Recolección de datos

El conjunto de publicaciones fue recolectado a principios de septiembre de 2020. Para tal fin se construyó una aplicación en C# (Framework .NET 4.6) para enlazar con la AK-API y poder luego persistir los datos de manera temporal en una base de datos SQL Server 2016. Se recolectaron todos los registros del MAG

relacionados con la temática Covid-19. Como el MAG no posee todos los registros agrupados en un único tema o campo de estudio, fue necesario realizar un relevamiento inicial para conocer todos los distintos nombres de campos de estudio asociados a la temática en cuestión. Así pues, se realizó una única consulta filtrando por campo de estudio (campo de metadato *Field Name*) con las siguientes opciones: “*Coronavirus*”, “*Coronavirus disease 2019 (COVID-19)*”, “*Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2)*”, “*2019-20 coronavirus outbreak*”, “*Coronaviridae*” y “*Coronavirus Infections*”.

Los campos de estudio listados poseen asociado un identificador único el cual debe ser suministrado a la AK-API para poder realizar las consultas. Se recolectaron un total de 95.047 publicaciones, donde el 88% de las mismas poseen año de publicación 2.020.

2.3 Preprocesamiento de datos

Antes de generar el modelo LDA, los datos se sometieron a un proceso de limpieza y transformación para evitar no solo errores sino sesgos innecesarios. El preprocesado consistió en una serie de pasos, el primero de ellos eliminar los registros que no poseían título o resumen (41.717 registros no poseen resumen, este es un error muy frecuente en las bases de datos bibliográficas de libre acceso debido principalmente a la imposibilidad de indexar correctamente dicho campo). Seguido de esto se eliminaron los registros de idioma distinto al inglés (se emplearon solo los registros en idioma inglés para darle una interpretación más sencilla a los temas encontrados, si bien es una buena práctica trabajar sobre un conjunto monolingüe, (Singh, 2020) ha demostrado buenos resultados sin aplicar filtros de idioma); existían alrededor de 1714 registros en idioma español, 812 en portugués, 705 en francés y 401 en indonesio entre los más frecuentes. Luego se pasó todo el texto a minúsculas, se eliminaron las *stopwords* (palabras vacías y poco descriptivas) del idioma inglés, se eliminaron los signos de puntuación y se realizó la lematización de los términos de cada documento. Todo este proceso se llevó a cabo en *Python* empleando la librería NLTK (Bird, 2006) y obteniendo como resultado un total de 49.351 documentos.

2.4 Modelado de Temas

Una de las cuestiones a resolver en cualquier proceso de *clustering* (agrupamiento) supervisado, tiene que ver con la elección de la cantidad de agrupaciones. Para el caso del modelado temático sucede lo mismo, es necesario elegir un número que sea suficiente para abarcar la mayor cantidad de temas, puesto que un número pequeño reagruparía temas quizás con muy poca o nula relación, y con un número muy grande se obtendrían agrupaciones muy específicas pero con pocos documentos, y por ende una sobrecarga en las tareas de análisis individual de cada tema y la complejidad de obtener una visión global. En este trabajo se realizaron varias pruebas con distintos números de temas, el rango osciló entre 5 y 25, obteniendo los resultados más claros con una cantidad igual a 20.

Los títulos y resúmenes recolectados de cada registro fueron tratados con el método *Latent*

Una vez identificadas las distintas asociaciones y relaciones entre el conjunto de documentos a partir del modelo LDA, se procedió a realizar dos visualizaciones para una mejor interpretación y análisis.

La primera de ellas empleó la biblioteca *pyLDAvis*. *PyLDAvis* se crea en base a *LDAvis*, una visualización web interactiva de temas estimados utilizando *Latent Dirichlet Allocation* (Sievert, 2014). Más específicamente, *pyLDAvis* es una biblioteca de Python para la visualización interactiva de modelos de temas que ayuda a los usuarios a interpretar los temas en un modelado de temas. *PyLDAvis* proporciona dos paneles de visualización como se muestra en la Figura 1. El panel del lado izquierdo muestra la vista global del tema con el mapa de distancia entre temas y el panel derecho muestra los gráficos de barras de términos.

Para la segunda visualización se empleó el

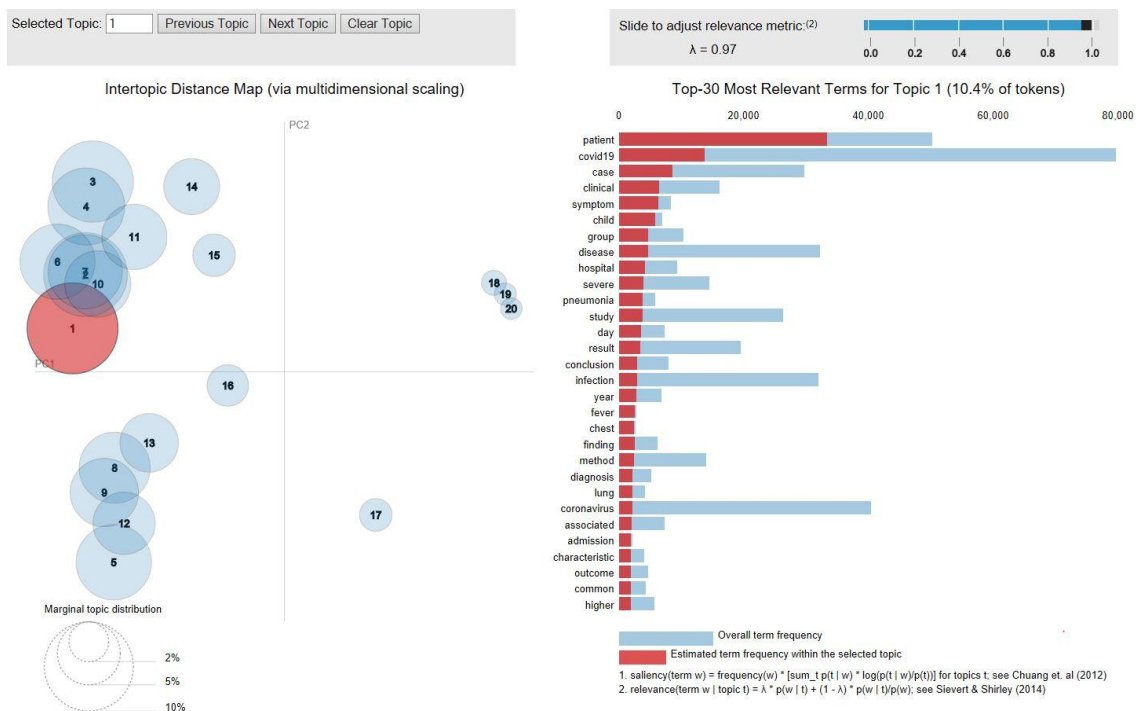


Figura 1. Panel de visualización de *pyLDAvis*

Dirichlet Allocation (LDA), un modelo probabilístico generativo para colecciones de datos discretos como corpus de texto (Blei, 2003). Esto se llevó a cabo también en *Python* empleando la librería *Gensim* (Řehůřek, 2011) que posee implementación del método elegido.

2.5 Visualización

algoritmo *Uniform Manifold Approximation and Projection* (UMAP), una técnica de reducción de dimensiones que se puede utilizar para la visualización de forma similar a *t-SNE* (otra de las técnicas muy difundidas de reducción de dimensiones), pero también para la reducción general de dimensiones no lineales (McInnes, 2018). UMAP identifica el comportamiento de agrupación único de distintos temas para mejorar

la comprensión de los temas importantes en el corpus y ayudar a evaluar la calidad de los temas generados. Utilizando la implementación de *TfidfVectorizer* de *Scikit-Learn* (Pedregosa, 2011), y configurando la cantidad máxima de características en 30.000 (*max_features* = 30.000), se transformó el corpus de 49.351 registros en una matriz (49.351; 30.000) y se obtuvo el mapa de la Figura 2. Donde se puede observar la distribución y agrupación de documentos por tema.

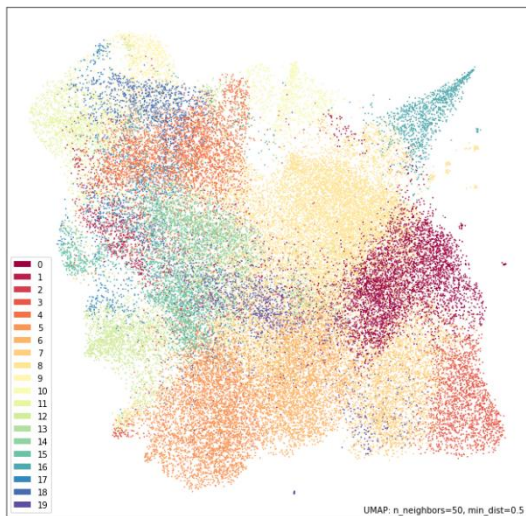


Figura 2. Distribución espacial del conjunto total de documentos, agrupados en 20 temas, empleando UMAP

3 RESULTADOS

3.1 Temas dominantes

En los modelos LDA, cada documento se compone de varios temas en distintas proporciones. Pero, por lo general, solo uno de los temas es dominante, por esta razón resulta recomendable cuantificar el peso de cada tema en cada documento y de este modo identificar cual es el tema que predomina en cada uno. En la Figura 3 se observa una gráfica con la distribución de cada tema predominante.

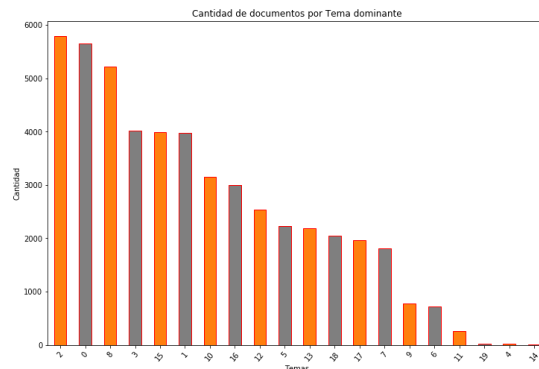


Figura 3. Gráfico de barras de la cantidad de documentos por tema predominante

Los 20 temas identificados fueron numerados del 0 al 19, a continuación se ofrece una breve descripción de algunos de los temas más relevantes. A partir de la extracción de los términos/palabras más representativos de cada tema, empleando una nube de palabras con énfasis en la frecuencia de dichos términos en el conjunto documental.

3.2 Nube de palabras

Por ejemplo los términos más representativos del Tema 2 se pueden ver en la Figura 4, este tema está relacionado al servicio de salud y cuidado del paciente.



Figura 4. Nube de palabras del Tema 2 (servicio de salud)

Del mismo modo, el tema 10 (ver Figura 5) trata sobre el origen del virus, situándolo en Wuhan-China indicando la propagación de un nuevo coronavirus y los brotes iniciales en dicha ciudad. Hoy en día nadie pone en dudas el lugar de origen del Covid-19, pero es necesario destacar que de forma automática, este conocimiento o estas relaciones, fueron hallados entre las publicaciones analizadas.

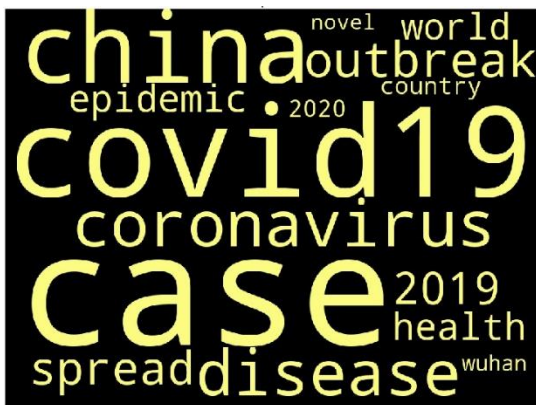


Figura 5. Nube de palabras del Tema 10 (origen de la infección)

Así mismo el Tema 17 trata de las medidas de prevención haciendo mención a cuestiones como el distanciamiento social, el cierre de emergencia, la reducción en el contacto entre otras cuestiones (ver Figura 6).



Figura 6. Nube de palabras del Tema 17 (Medidas de prevención)

El resto de temas tratan de igual medida cuestiones como los síntomas y las complicaciones más frecuentes (Temas 18 y 9), o las medidas de detección del virus (Tema 16), o las comparaciones con otros coronavirus detectados anteriormente (Tema 14), o la distintas denominaciones que posee esta enfermedad (Tema 12), o las medidas que se tomaron con respecto a la educación (Tema 13) entre otros.

4 CONCLUSIONES

La difusión de información puede influir fuertemente en el comportamiento de las personas, como así también la desinformación y la *infoxicación* (intoxicación por información). En la constante lucha contra esta pandemia, las tareas de investigación desde distintas ópticas y campos de estudio se volvieron cruciales, no solo para aplicar soluciones u obtener conocimiento, sino también para entender acerca del comportamiento de esta terrible enfermedad y de cómo ha alterado los hábitos y costumbres de las personas en todos los ámbitos.

Muchas de las conclusiones obtenidas en esta primera aproximación pueden parecer obvias puesto que durante meses se han observado, escuchado y leído en distintos medios de comunicación. Como el situar el origen del virus o las medidas de precaución adoptadas por los distintos gobiernos. Pero que estas mismas conclusiones sean fácilmente verificables y que se hayan obtenido de forma automática por medio de las técnicas aquí empleadas, indica la capacidad y el poder discriminativo del enfoque propuesto. Las personas pueden hallar fácilmente relaciones en textos similares sin estructura, pero que un algoritmo logre hallar estas mismas relaciones o nuevo conocimiento es realmente sorprendente, partiendo del hecho de lograr automatizar gran parte del procesamiento de estas enormes cantidades de documentos y facilitar no solo el entendimiento sino la detección de temas centrales.

El modelado de temas sobre la bibliografía científica del Covid-19 puede aportar respuestas a diversos interrogantes a partir de la experiencia realizada en otras regiones o de las medidas aplicadas para contener los brotes, a partir del análisis de las distintas agrupaciones identificadas. A medida que la cantidad de publicaciones aumenta, el nuevo conocimiento sobre la temática se actualiza y se replica. Así es, que los modelos de tema pueden ayudar a organizar y ofrecer información para comprender grandes colecciones de cuerpos de texto no estructurado y poder brindar respuestas basadas en información contextualmente relacionada.

Examinando las distancias entre temas a partir de la visualización con la biblioteca pyLDAvis, se pueden trazar otras cuestiones como la existencia de alguna correlación entre temas muy “cercanos”.

5 REFERENCIAS

- Amos, O. BBC News. *Contagio de covid-19: los países que no han registrado ningún caso de coronavirus (y el precio pagado por evitarlo)*. Recuperado el 14 de 09 de 2020, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-53892496>, 2020.
- Bird, S. NLTK: The Natural Language Toolkit. *Proceedings of the ACL-02 Workshop on Effective Tools and Methodologies for Teaching Natural Language Processing and Computational Linguistics*, (págs. 69-72). Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/2143017621>, 2006.
- Blei, D., Ng, A., & Jordan, M. Latent dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3, 993-1022. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/1880262756>, 2003.
- Erduran, S. Science Education in the Era of a Pandemic: How Can History, Philosophy and Sociology of Science Contribute to Education for Understanding and Solving the Covid-19 Crisis? *Science Education*, 29(2), 1-3. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3013252844>, 2020.
- García-Marco, F.-J., Figuerola, C., & Pinto, M. Análisis de la evolución temática de la investigación sobre Información y Documentación en español en la base de datos LISA mediante modelado temático (1978-2019). *Profesional De La Informacion*, 29(4). Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3047528600>, 2020.
- Graham, B. Rapid COVID-19 vaccine development. *Science*, 368(6494), 945-946. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3023230016>, 2020.
- Gupta, M., Bansal, A., Jain, B., Rochelle, J., Oak, A., & Jalali, M. Whether the Weather Will Help Us Weather the COVID-19 Pandemic: Using Machine Learning to Measure Twitter Users' Perceptions. *medRxiv*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3046706101>, 2020.
- Helm, D. The Environmental Impacts of the Coronavirus. *Environmental and Resource Economics*, 76(1), 21-38. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3021685064>, 2020.
- Hepburn, C., O'Callaghan, B., Stern, N., Stiglitz, J., & Zenghelis, D. Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change? *Oxford Review of Economic Policy*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3020975734>, 2020.
- Hossain, M. Current status of global research on novel coronavirus disease (COVID-19): a bibliometric analysis and knowledge mapping. *F1000Research*, 9, 374. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3012080801>, 2020.
- Hug, S., & Brändle, M. The coverage of Microsoft Academic: analyzing the publication output of a university. *Scientometrics*, 113(3), 1551-1571. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/2605124925>, 2017.
- Jelodar, H., Wang, Y., Orji, R., & Huang, H. Deep Sentiment Classification and Topic Discovery on Novel Coronavirus or COVID-19 Online Discussions: NLP Using LSTM Recurrent Neural Network Approach. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 1-1. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3035119815>, 2020.
- Kim, T.-J. COVID-19 News Analysis Using News Big Data : Focusing on Topic Modeling Analysis. *The Journal of the Korea Contents Association*, 20(5), 457-466. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3033168164>, 2020.
- Kleinberg, B., Vegt, I., & Mozes, M. Measuring Emotions in the COVID-19 Real World Worry Dataset. *arXiv preprint arXiv:2004.04225*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3015947791>, 2020.
- Le, T., Andreadakis, Z., Kumar, A., Román, R., Tollefsen, S., Saville, M., & Mayhew, S. The COVID-19 vaccine development landscape. *Nature Reviews Drug Discovery*, 19(5), 305-306. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3015371627>, 2020.
- McInnes, L., Healy, J., Saul, N., & Großberger, L. UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection. *Journal of Open Source Software*, 3(29), 861. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/2889326414>, 2018.

- Ordun, C., Purushotham, S., & Raff, E. Exploratory Analysis of Covid-19 Tweets using Topic Modeling, UMAP, and DiGraphs. *arXiv preprint arXiv:2005.03082*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3023281526>, 2020.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., . . . Duchesnay, É. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12(85), 2825-2830. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/2101234009>, 2011.
- Randhawa, G., Soltysiak, M., Roz, H., Souza, C., Hill, K., & Kari, L. Machine learning using intrinsic genomic signatures for rapid classification of novel pathogens: COVID-19 case study. *PLOS ONE*, 15(4). Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3019119825>, 2020.
- Řehůřek, R., & Sojka, P. Gensim -- Statistical Semantics in Python. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/2590362024>, 2011.
- Sievert, C., & Shirley, K. LDAvis: A method for visualizing and interpreting topics. *Proceedings of the Workshop on Interactive Language Learning, Visualization, and Interfaces*, (págs. 63-70). Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/2160170318>, 2014.
- Singh, L., Bansal, S., Bode, L., Budak, C., Chi, G., Kawintiranon, K., . . . Wang, Y. A first look at COVID-19 information and misinformation sharing on Twitter. *arXiv preprint arXiv:2003.13907*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3015131281>, 2020.
- Sinha, A., Shen, Z., Song, Y., Ma, H., Eide, D., Hsu, B.-J., & Wang, K. An Overview of Microsoft Academic Service (MAS) and Applications. *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web*, (págs. 243-246). Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/1932742904>, 2015.
- Wang, L., & Wong, A. COVID-Net: A Tailored Deep Convolutional Neural Network Design for Detection of COVID-19 Cases from Chest Radiography Images. *arXiv preprint arXiv:2003.09871*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3012582186>, 2020.
- Wang, L., Lo, K., Chandrasekhar, Y., Reas, R., Yang, J., Eide, D., . . . Kohlmeier, S. COVID-19: The Covid-19 Open Research Dataset. *arXiv preprint arXiv:2004.10706*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3020786614>, 2020.
- Wang, X., Zou, C., Xie, Z., & Li, D. Public Opinions towards COVID-19 in California and New York on Twitter. *medRxiv*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3042594261>, 2020.
- Xue, J., Chen, J., Chen, C., Zheng, C., Li, S., & Zhu, T. Public discourse and sentiment during the COVID-19 pandemic: using Latent Dirichlet Allocation for topic modeling on Twitter. *arXiv preprint arXiv:2005.08817*. Obtenido de <https://academic.microsoft.com/paper/3041699688>, 2020.

Almacenamiento a perpetuidad de registros de auditoría de una infraestructura de red

Ortega, Hugo O.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*
hortega@herrera.unt.edu.ar;

RESUMEN

La integridad de la información que contiene un registro de evento originado en los componentes de una red, condiciona el éxito de una auditoría. En todos los casos, los datos aportados son claves en el momento de probar hechos irregulares, tengan estos un origen negligente o delictivo. En un mundo donde las redes de dispositivos están omnipresentes, es de vital importancia preservar en el tiempo la integridad y autenticidad de los registros de auditoría, puesto que representan un elemento de prueba objetivo en una sociedad que evoluciona junto a la tecnología y, por lo tanto, desarrolla leyes que contemplan y castigan los delitos sobre la información digital. Este escenario plantea nuevos desafíos que motivan a investigar y desarrollar una solución de almacenamiento de registros de auditoría que se encuentren siempre disponibles e inmutables a lo largo del tiempo. Esto permitirá probar con un alto porcentaje de seguridad delitos informáticos. El presente trabajo tiene como objetivo proponer un modelo para la adquisición, el almacenamiento y la disponibilidad de los registros de auditoría generados por los dispositivos de una red, en un entorno que favorezca a la inmutabilidad y el no repudio de la información almacenada, de forma tal que represente un medio de prueba irrefutable.

ABSTRACT

The integrity of the information contained in an event log originating from the components of a network conditions the success of an audit. In all cases, the data provided is key when proving irregular events, whether they have a negligent or criminal origin. In a world where device networks are omnipresent, it is vitally important to preserve the integrity and authenticity of audit event log over time, as they represent an objective element of evidence in a society that is evolving with technology and therefore developing laws that contemplate and punish crimes involving digital information. This scenario generates new challenges that motivate research and development of an audit log storage that should remain unchanged over time. This will allow proving with a high percentage of security computer crimes. This work aims to propose a model for the acquisition, storage and availability of audit records generated by the devices of a network, in an environment that favors the immutability and non-repudiation of the stored information, so that it represents a strong evidence.

Palabras claves: Registro de eventos de auditoría, inmutable, blockchain

Keywords: Audit Event Log, immutable, blockchain

1. INTRODUCCIÓN

Un gran porcentaje del hardware y el software que forman parte de una red de dispositivos puede registrar evidencias de todos y cada uno de los eventos que ocurrieron durante un tiempo dado. Esas evidencias son conocidas como logs, registros de eventos o registros de auditoría.

La importancia que tiene la información que proporciona un registro de eventos justifica el esfuerzo económico y tecnológico necesario para proteger la inmutabilidad de su contenido.

En informática, un log o registro, es la grabación en un archivo de texto o en una base de datos de un acontecimiento, acción o evento que afecta a un proceso en particular como, por ejemplo, una

aplicación, una actividad de una red o un movimiento de un robot. Un conjunto de logs o historial de logs, constituyen una evidencia del comportamiento del sistema durante el período en que fueron registrados los mismos.

El almacenamiento y posterior análisis de los registros de auditoría derivados del funcionamiento del hardware que interconecta los dispositivos de una red, permite que se pueda prevenir, detectar y por sobre todas las cosas probar fehacientemente el origen y las causas de acciones negligentes o delictivas contra la integridad de una red de dispositivos

El objetivo del presente trabajo es proponer un modelo que le permita a cualquier organización asegurar a perpetuidad la inmutabilidad del contenido de los registros de logs que sean generados por la electrónica y/o el software que forma parte de la infraestructura de red: switches, routers, cortafuegos (Firewalls), detectores de intrusos (IDS), entre otros.

2. ESTADO DEL ARTE

Si bien es cierto que 50 o 60 años atrás, la mayoría de los sistemas de información no estaban digitalizados (al menos en Argentina), en la actualidad es difícil imaginar un sistema comercial, administrativo o industrial que no haya sido informatizado. El desarrollo de sistemas financieros, el comercio electrónico, la digitalización de entes gubernamentales, los sistemas de información en el campo de la salud, las soluciones automatizadas en la industria, entre otros, responden a un modelo digital, en donde hay en juego miles de millones de dólares, e inclusive algo más importante, millones de vidas humanas.

Surge una pregunta: Las soluciones para el almacenamiento, la integridad y la disponibilidad de los registros de información ¿cuánto han evolucionado? y en caso que hayan evolucionado ¿cuán acorde es esa evolución en función de la importancia que tienen los mismos en los sistemas de información que los generan?

El objetivo primario fue encontrar procedimientos que conserven la integridad y la confidencialidad de la información. En la actualidad el desafío incluye la inmutabilidad (entiéndase como inmutable, la preservación en todo sentido, esto significa, evitar la modificación o eliminación de registros de auditoría sin dejar rastros).

La problemática ha sido investigada y se desarrollaron distintas soluciones que fueron evolucionando junto al progreso de la tecnología del hardware y el software: Bruce Scheneier y John Kelsey entre 1998 y 1999, Brent R. Waters y otros entre 2003 y 2004, Wengsheng Xu y otros en 2005, Vasilios Stathopoulos y otros entre 2006 y 2008, Giorgia Azzurra Marson y Bertram Poettering en 2013, entre otras soluciones desarrolladas.

Sin embargo, la mayoría de las propuestas tienen un alto costo de implementación y se basan en soluciones centralizadas. La realidad indica que, al momento de desarrollar el presente trabajo, la vulnerabilidad de los sistemas de almacenamiento de logs sigue siendo reconocida en la comunidad digital y tratada entre otras organizaciones, por la prestigiosa comunidad Open Web Application Security Project (OWASP 2017)

A partir del contexto descrito y en función de la evolución de las soluciones ya implementadas, una tecnología disruptiva como lo es blockchain, tiene todas las posibilidades de brindar una respuesta eficiente al problema de mantenimiento de los registros de auditoría.

Es válido pensar en una migración desde la estrategia centralizada que emplea entidades intermedias (Fig. 1, izquierda), hacia la implementación de ideas disruptivas, que permitan almacenar múltiples copias de los registros de auditoría, usando bloques encriptados, en un modelo descentralizado y tolerante a fallas (Fig. 1, derecha). Esto es posible gracias a la extraordinaria evolución que han experimentado las redes de datos (velocidad, alcance geográfico, confiabilidad, escalabilidad, performance, tolerancia a fallas, etc.)

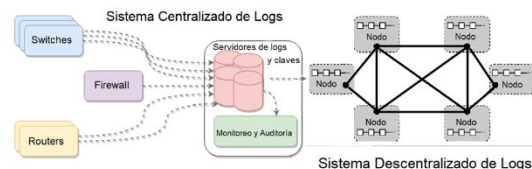


Figura 1: Sistema de almacenamiento centralizado versus sistema de almacenamiento descentralizado usando canales encriptados.

3. REGISTRO DE AUDITORÍA

Un registro de auditoría (log) es información que se genera a través de un ordenador, un dispositivo de red o una aplicación en respuesta a un estímulo

(Ramirez 2015). Esta información está contenida en una estructura de datos y puede ser enviada a una pantalla, a un archivo o a una base de datos en un servidor central.

Los estímulos pueden ser de variados orígenes, por ejemplo, una base de datos crea un log cada vez que se hace una “inserción” de registro en algunas de sus tablas, un AP (Access Point o Punto de Acceso) lo genera cuando algún equipo se conecta o desconecta de alguno de los puntos de acceso de la red, los servidores web generan un log cuando un cliente accede a alguna de las páginas web que alberga, un router lo hace cuando un usuario ejecuta cambios en la topología de la red, entre otros. Un gran porcentaje del hardware y el software que forman parte de una red de dispositivos tiene la capacidad de generar información acerca de su funcionamiento.

La información almacenada en un registro de auditoría tiene un gran valor de prueba sobre las características de un evento, puesto que permite conocer hora, origen, nivel de criticidad, usuario, categoría, descripción, de un determinado suceso, como lo muestra la Fig. 2.

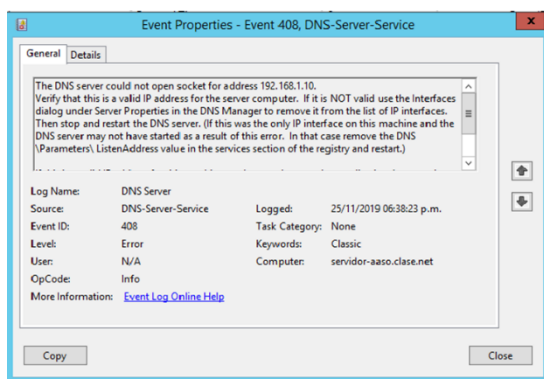


Figura 2: Registro de un evento generado en el servicio de resolución de nombres de dominio (DNS) en un servidor con plataforma Windows Server

4. SOLUCIÓN PROPUESTA

El objetivo principal de un sistema de registro seguro se basa en tres pilares: mantener la disponibilidad, integridad y autenticidad de la información contenida en los registros almacenados.

En un sistema de registros de auditoría, cualquier log puede ser trascendental en la detección de un ataque, la penetración al sistema o la

consumación de un delito. En este contexto, es clave preservar la evidencia en todas las fases de su ciclo de vida (Fig. 3).

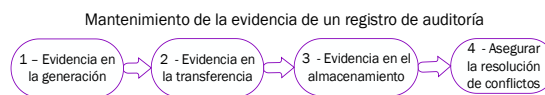


Figura 3: Fases en las que se debe preservar una evidencia.

La evidencia en la generación de logs (fase 1) se lleva a cabo en las fuentes (routers, switches, firewalls, IDS, entre otros), en la medida que soporten la generación de logs firmados digitalmente, los cuales se firman con la clave privada de la fuente generadora.

La evidencia en la fase de transferencia (fase 2) consiste en la acción de transferir el evento desde su origen hacia el sistema de almacenamiento centralizado. En sistemas que requieren altos estándares de seguridad (como los sistemas financieros), es recomendable que la transmisión de logs de eventos se lleve a cabo utilizando protocolos orientados a conexión a través de canales cifrados. Para ello es necesario dos cosas:

- Implementar un mecanismo de transporte confiable, como por ejemplo el protocolo de transmisión de datos TCP (Transmission Control Protocol). Este es un estándar para la transmisión de datos orientado a conexión, lo cual implica que asegura la entrega de todos los segmentos con información que fueron enviados, como así también garantiza que sean ordenados en el destino.
- Recurrir a un protocolo de tunelización para cifrar el canal entre el origen y el destino (se recomienda, sobre todo cuando se usan enlaces públicos). Algunos protocolos de tunelización que se pueden implementar a través de redes privadas virtuales (VPN – Virtual Private Network) son: PPTP (Point to Point Tunneling Protocol), IPSec (Internet Protocol Security), L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol), MPLS (Multiprotocol Label Switching), etc.

La evidencia en la fase de almacenamiento (fase 3), representa el objetivo principal del presente trabajo. Cualquier registro, junto con sus datos deben almacenarse de manera que conserven la disponibilidad e integridad para uso posterior. Esto incluye prevenir la modificación o eliminación perpetrada por negligencia o por un

atacante que busca borrar huellas. La confidencialidad también es una preocupación debido a la potencial sensibilidad de la información contenida en los registros de anotaciones.

Luego de ser detalladas las tres instancias anteriores, se está en condiciones de describir la fase 4 (Resolución de conflictos), la cual ocurre cuando se ha producido una intrusión y han sido adulterados los logs almacenados en el sistema original. Tanto el intruso como la víctima pueden intentar negar la autenticidad de la evidencia. Un auditor deberá luego verificar que nadie haya modificado el registro desde la generación. Esta verificación de evidencia consiste en: corroborar que la firma de los logs es auténtica y verificar la prueba de integridad. Para la verificación de la firma, el auditor debe tener acceso a los correspondientes certificados de clave pública de las fuentes generadoras. La prueba de integridad está representada por el hash y la marca de tiempo inmodificable que estará almacenada en un modelo de almacenamiento de datos enlazado por punteros encriptados en un entorno descentralizado: blockchain.

4.1. ¿Por qué blockchain?

Blockchain cuenta en su diseño con tres pilares básicos (Zheng, y otros 2017) que son claves para lograr el objetivo principal de este trabajo: “asegurar la inmutabilidad de la información contenida en los registros de auditoría”.

Se detallan a continuación cada uno de esos pilares:

- a. **Descentralización:** La naturaleza descentralizada de la tecnología blockchain significa que no se basa en un punto central de control, de esta forma logra que el sistema sea más justo, seguro y tolerante a fallas. No hace falta un sistema intermediario. Los protocolos de consenso aseguran transacciones válidas y registran datos en una manera que es incorruptible. El protocolo de consenso describe cómo es el proceso de comunicación entre los nodos para determinar cuáles son las transacciones ciertas, y cuál es su orden. El consenso se logra cuando hay suficientes dispositivos de acuerdo con la validez y el orden de un conjunto de transacciones.
- b. **Transparencia:** La transparencia de una cadena de bloques proviene del hecho de que las tenencias y las transacciones de cada usuario son todas fehacientemente verificables.
- c. **Inmutabilidad:** La inmutabilidad significa que una vez que se ha ingresado algo en la blockchain, no puede ser manipulado. Incluso el más mínimo cambio en la entrada tiene enormes consecuencias en el hash de salida. Alterar cualquiera de los bloques ya vinculados en la cadena de bloques rompería el puntero hash al bloque anterior

4.2. Arquitectura de la solución

La arquitectura completa de la solución propuesta se muestra en la Fig. 4. Los logs de auditoría se generan en cada una de las fuentes (routers, switches, firewall, IDS, entre otros.) previa habilitación y configuración de la registración de eventos en cada una de ellos. Cualquiera sea el originante del log, se debe aplicar al mismo políticas de seguridad estrictas: control de acceso físico o lógico, contraseñas de administración complejas, actualización de firmware o parches de seguridad. En caso de obviar estas recomendaciones, el originante puede ser atacado, deshabilitando las configuraciones de registración de eventos.

En caso que las fuentes soporten el agregado de firma digital, como lo describe el RFC 5848 (Signed Syslog Messages), los registros van a ser generados con un campo extra, el cual contiene el resultado de aplicarle a los datos de log, la función sign(), utilizando la clave privada y secreta del dispositivo generador del evento.

Los datos generados se transmiten a un sistema de almacenamiento central utilizando protocolos diseñados a tal fin. Un estándar para transmisión de logs muy usado por su confiabilidad y facilidad para ser configurado, es el protocolo Syslog estandarizado en la RFC 5424 (“The Syslog Protocol”), el cual utiliza como mecanismo de transporte a UDP (User Data Protocol). Éste favorece a mejorar la performance en la entrega de datos, aunque no es orientado a conexión (en caso de perderse en el camino uno o más segmentos con información, la detección de la pérdida debe implementarse como una función extra en el desarrollo del modelo). Una alternativa para lograr una transmisión confiable, es el RFC 3195 (“Reliable Delivery for Syslog”). En este

caso el protocolo de transporte usado es TCP (Transmission Control Protocol), el cual como ya se explicó anteriormente, utiliza un mecanismo orientado a conexión (garantiza orden y entrega de todos los segmentos con datos).

Cualquiera fuera el protocolo usado para transportar los logs de eventos desde las fuentes a la base de datos central, es posible agregar mayor seguridad al proceso de transmisión. Para ello se debe encapsular el protocolo origen en otro protocolo seguro, por ejemplo, IPsec, PPTP, L2TP, etc., el cual cifra los datos que circulan por una autopista pública e insegura, permitiendo que se mantengan su integridad y privacidad. En el destino, corresponde ejecutar la operación inversa (quitar el protocolo seguro) con el objetivo de recuperar el paquete de datos original, y poder manipular la información del mismo.

Cuando los datos llegan al servidor de logs centralizado, los mismos son almacenados en una base de datos confiable y segura. Una aplicación monitorea la base de datos para detectar la llegada de nuevos logs. Por cada nueva entrada que se almacena en la base de datos central, se extrae la información relevante del registro que acaba de llegar:

- ✓ IP del sistema generador
- ✓ Marca de tiempo en que se generó el log
- ✓ Tipo de log
- ✓ Descripción del mismo.

Estos son los datos que se envían a la blockchain generando una transacción que es almacenada en un bloque junto con transacciones que llegan desde otros nodos del sistema distribuido. Cada transacción es aprobada por los nodos pares del sistema de la red de blockchain en un tiempo máximo, predefinido como tiempo de espera. En caso de haber vencido el tiempo de espera o no haber sido aprobada la transacción, los datos no serán dados de alta en el bloque correspondiente y se rechazará la transacción. El tiempo de espera asegura que el retraso entre la generación de registros y su inclusión en la cadena de bloques sea lo más bajo posible.

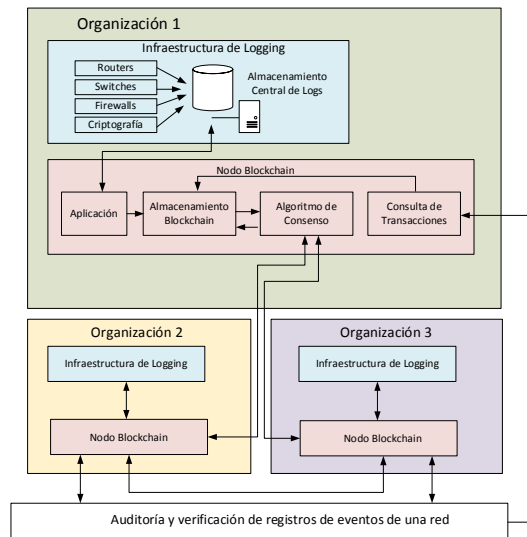


Figura 4: Arquitectura de la propuesta de solución al objetivo planteado

4.3. Propuesta formal

En la presente propuesta, cada una de las organizaciones participantes de la solución, tendrá un identificador, en este caso “o”, con “o” $\in \{1..n\}$; una clave privada para firma digital de cada una de ellas (Z_o); y la clave pública correspondiente (K_o).

Se definirán cuatro procesos, P1 (Proceso Aplicación Cliente), P2 (Proceso Aplicación Blockchain), P3 (Proceso Verificación) y P4 (Proceso Recuperación):

Proceso Aplicación Cliente (P1): se establece un contador de log k , con $k \in \{1..l\}$ y un contador de transacciones i , con $i \in \{1..t\}$. También se define a cada log que llega al servidor central como $L_{o,k}$ y al procesamiento del mismo para extraer la información importante que será almacenada en la blockchain, se lo denomina $P_{o,i}$. A los fines del presente trabajo, la “información importante” de un log $L_{o,k}$ está compuesta por :

- ✓ Identificador de organización (“o”)
- ✓ Dirección ip del originante (“ip”)
- ✓ Timestamp del registro (“ts”)
- ✓ Nivel de criticidad (“cr”)
- ✓ Prioridad (“pr”)
- ✓ Descripción del evento (“de”)
- ✓ Firma (“si”), aquí se almacena el resultado de aplicar la función $sign()$ a

los datos del log, utilizando la clave privada del sistema que lo origina (Kelsey 2010)

Al comienzo $k=i$, dado que cada log genera una transacción. La aplicación cliente se puede ejecutar en el sistema operativo como un “proceso demonio” o en un esquema de planificación cada 10 minutos (scheduling). En cualquier caso, cada vez que detecta un registro nuevo en el almacén central, lo extrae como $L_{o,k}$, lo procesa convirtiéndolo en $P_{o,i}$ (información importante para almacenar) y lo incluye como parte de la nueva transacción en blockchain, $T_{o,i}$. La transmisión de $T_{o,i}$ al nodo de blockchain se debe hacer utilizando un canal cifrado. La expresión formal completa de P1 es así:

$T_{o,i} = (P_{o,i}, H_{o,i}, S_{o,i})$ dónde cada uno de los argumentos se define como:

$P_{o,i} = (o, K_o, L_{o,k})$

$H_{o,i} = \text{hash}(L_{o,k})$, pero de $L_{o,k}$ solo [o, ip, ts, cr, pr, de]

$S_{o,i} = \text{sign}(Z_o, P_{o,i})$, usado para el no repudio de la organización

Proceso Nodo Blockchain (P2): Después de que la transacción fue propagada a la red y propuesta como parte de un bloque por el líder del protocolo de consenso, el procesamiento real se lleva a cabo en cada nodo. Se incluye una marca de tiempo basada en el consenso distribuido con cada transacción y la unicidad de la entrada del registro es verificado por cada nodo de la siguiente forma:

$$i > 1 : H_{o,i} \ni \{H_{o,1} \cdot H_{o,i-1}\}, \forall o \in 1 \dots n$$

Si esta condición falla, no se producen cambios en el estado persistente como resultado de la transacción. Dos entradas de registro idénticas con el mismo valor hash no puede ser parte del sistema. Si la condición es verdadera y más de dos tercios de todos los nodos han procesado con éxito la transacción (proceso de consenso entre nodos compañeros), la misma se almacena irreversiblemente en el libro mayor.

Proceso de Verificación (P3): para la verificación, desde la aplicación consultas se debe ingresar tres valores: el ID de organización (o), la dirección ip del originante del registro (ip) y el timestamp (ts) de la entrada de log que se quiere verificar. Ésta accederá al almacén central, buscará el log correspondiente ($L_{o,ip,ts}$) y calculará el hash de

[o,ip,ts, cr, us, de]. A continuación, solicitará una prueba de inmutabilidad a la red blockchain, consultando a la misma con el valor hash calculado (h1). Si en la blockchain se encuentra una transacción cuyo valor $H = \text{hash}(o, ip, ts, cr, pr, de)$ es igual a valor hash calculado (h1), habrá comprobando la integridad del registro almacenado en el repositorio central. Respecto al no repudio de la organización, si la blockchain no implementa en forma nativa el control de no repudio; el proceso P3 deberá corroborar la firma de la misma, utilizando la función `verify()`. Ésta última función es la verificación correspondiente a `sign()`, por lo tanto, si la firma de la organización es correcta devuelve un 1, caso contrario un 0. La expresión formal de P3 es:

$H_o = \text{hash}(L_{o,ip,ts}) \wedge \text{verify}(K_o, P_{o,ip,ts}, S_{o,i}), K_o \in \{K_1 \dots K_n\}$; esto implica que el registro no fue alterado y se verificó la firma de la organización con la clave pública de la misma.

En caso que el valor hash calculado h1 no fuera encontrado en las transacciones almacenadas en la blockchain, se concluirá que, por algún motivo, la transacción no fue agregada a la cadena de bloques o los datos usados para calcular h1 fueron adulterados en el almacenamiento centralizado. Un perito informático o un auditor deberán determinar la causa.

Proceso de Listado y Recuperación (P4): para el proceso de listado y recuperación de logs, un usuario deberá ingresar a la aplicación de consultas: la organización (o), una hora de inicio (hi) y una hora de final (hf). Estas variables serán utilizadas para hacer dos consultas: la primera, a la base de datos de repositorio central (entradas L_o entre [hi,hf]) generando un listado L_{rc} (listado transacciones registradas en el repositorio central); y la segunda, va a consultar al nodo de la blockchain (entradas T_o entre [hi,hf]) generando un listado L_b (listado de transacciones agregadas a la blockchain). Ambos listados podrán ser comparados, a partir de lo cual, se podrán presentar cuatro resultados:

Las ocurrencias se detectan en L_{rc} y en L_b y H_o (hash de los datos del registro almacenado en la blockchain) = $\text{hash}(L_o)$ (hash de los datos almacenados en el repositorio central). Este es el resultado esperado. Los datos en el almacenamiento central no fueron alterados. Es el escenario ideal.

Las ocurrencias se detectan en L_{rc} , pero no forman parte de L_b . Esto implica que existen entradas de logs en el repositorio central que no fueron agregadas a la blockchain.

Las ocurrencias se detectan en L_b , pero no se listan en L_{rc} . Esto implica que hay registros de logs que permanecen inmutables en la blockchain, pero que fueron eliminados del repositorio central.

Las ocurrencias se detectan en L_{rc} y en L_b , pero H_o (hash de los datos del registro almacenado en la blockchain) \neq hash(L_o) (hash de los datos almacenados en el repositorio central). En este caso corresponden a entradas de logs que se mantienen inmutables en la blockchain, pero fueron adulteradas en el repositorio central.

En todos los casos (excepto el primero), corresponderá al auditor tomar una decisión sobre qué hacer con las diferencias. La expresión formal para P4 es:

Si \forall hash (L_o) \nexists H_o para el período hi y hf \therefore log no fue procesado por la blockchain

Si \forall H_o \nexists hash (L_o) para el período hi y hf \therefore log en almacén central fue eliminado para la marca de tiempo dada.

Si $H_o \neq \text{hash}(L_o) \wedge [o, ip \text{ y } \text{marca de tiempo}]$ de $L_o = [o, ip \text{ y } \text{marca de tiempo}]$ de T_o , para el período hi y hf \therefore log en almacén central adulterado

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo analizó la problemática referida al mantenimiento inalterable del contenido de los registros de auditoría. Luego se estudió y profundizó en conceptos que permitan asegurar la evidencia de un log a lo largo de su ciclo de vida. En tercer lugar, se investigó acerca de las prestaciones del modelo de almacenamiento de datos conocido como blockchain, cuya filosofía y estructura evita la manipulación de datos, puesto que los mismos están encadenados a través de punteros criptográficos. Finalmente se desarrolló y describió detalladamente un modelo que garantiza la inmutabilidad del contenido de los registros de auditoría a lo largo del tiempo.

6. TRABAJOS A FUTUROS

A partir de lo investigado y de las conclusiones expuestas, se sugiere:

- ✓ Investigar acerca de la eficiencia, robustez y escalabilidad de distintas implementaciones de blockchain disponibles.
- ✓ Seleccionar una plataforma de blockchain que mejor se adapte a las necesidades de la solución ofrecida e implementar la misma para cuantificar su eficiencia y confiabilidad
- ✓ Optimizar la duración del ciclo de almacenamiento de la solución desarrollada, incorporando un esquema de rotación de registros de auditoría, en la medida que estos queden obsoletos. Esto permitirá reducir costos de almacenamiento.
- ✓ Incorporar al modelo propuesto un módulo de manejo de errores o excepciones, por ejemplo, la registración de eventos en una base de datos auxiliar para cuando los registros del almacén central no puedan agregarse a la blockchain en tiempo y forma.

REFERENCIAS

- Bellare, M., Yee, B. S., «Forward Integrity For Secure Audit Logs», *Technical Report, Computer Science and Engineering Department, University of California at San Diego*, 11 1997, 16-17.
- Dinh, T. T. A., Zhang, R. L. M., Gan Chen, Ooi B.C., Wan J., «Untangling Blockchain: A Data Processing View of Blockchain Systems.», *IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING* 30, n° 7 (Julio 2018).
- Elsden C., Manohar A., Briggs J., Harding M., Speed C., Vines J., «Making Sense of Blockchain Applications: A Typology for HCI.», *CHI '18: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Montreal: Association for Computing Machinery New York, NY United States, 2018.
- Fehér D. J., Sándor B., «Log File Authentication and Storage on Blockchain Network.», (SISY 2018), • *IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*) 2018.

- Good, G., «Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger.», *Ethereum project yellow paper*, 4 2017.
- Group., IEEE 802.3 Ethernet Working, «Industry Connections Ethernet Bandwidth Assessment.», July de 2012, http://www.ieee802.org/3/ad_hoc/bwa/ (último acceso: 24 de 06 de 2020).
- Kelsey, J., Callas, J., Clemm, A., «Signed Syslog Messages - RFC5848.», Mayo de 2010, <https://tools.ietf.org/html/rfc5848> (último acceso: 18 de 07 de 2020).
- Marsson, G. A., Poetering, B., «Practical Secure Logging: Seekable Sequential Key Generators.», *European Symposium on Research in Computer Security*, 2013, 111-128.
- Nakamoto, S., «Bitcoin: un sistema de dinero en efectivo electrónico peer-to-peer.», 2008, https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin_es.pdf (último acceso: 06 de 03 de 2020).
- OWASP, OWASP Top 10, <https://wiki.owasp.org/images/5/5e/OWASP-Top-10-2017-es.pdf> (último acceso: 28 de 10 de 2020).
- Ramirez, B. A. C., «Diseño e Implementación de una solución de gestión centralizada de logs de aplicaciones, sistemas y dispositivos basada en Logstash que permita la creación de cuadros de mando para explorar, analizar y monitorear eventos de seguridad, Barcelona, *Tesis Máster Universitario en Seguridad*, Universidad Autónoma de Barcelona, 2015.
- Schneier B., Kelsey J., «Secure audit logs to support computer forensics.», *ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC)*, Mayo 1999, 159-176.
- Stathopoulos V., Panayiotis, K., Magkos E., «Secure log management for privacy assurance in electronic communications.», *Computers & Security, Volume 27, Issues 7-8*, Diciembre 2008: 298-308.
- Waters B. R., Belfanz D., Durfee G., Smarters D. K., «Building an Encrypted and Searchable Audit Log.», *Network and Distributed System Security Symposium (NDSS)*, 2004.
- Xu W., Chadwick D., Otenko S., «A PKI-Based Secure Audit Web Service.», *IASTED Communications, Network and Information and CNIS., Phoenix.*, Noviembre 2008.
- Xu, X., Weber I., Staple M., Bos J., Bass L., Rimba C., Pautaso P., «Taxonomy of Blockchain-Based Systems for Architecture Design.», *2017 IEEE International Conference on Software Architecture*, 2017.
- Zheng, Z., Xie S., Dai H., Chen X., Wang H., «An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends.», *IEEE 6th International Congress on Big Data*, 2017.

Hacia una propuesta de diseño de Interfaz centrado en el usuario para promover creatividad desde el enfoque de las Neurociencias

Velázquez Isabel¹, Sosa Mabel¹, Digión Leda¹

(1) *Instituto de Investigaciones en Informática y Sistemas de Información FCEyT, Universidad Nacional de Santiago del Estero Belgrano (s) 1912, Santiago del Estero, República Argentina*
kereyes; litasosa; ldigion{@unse.edu.ar}

RESUMEN

La propuesta se enmarca en el campo de la disciplina Interacción Hombre-Computador (IHC), y pretende profundizar el estudio de la incidencia de los aspectos humanos en el proceso de construcción de interfaces de sistemas educativos digitales, focalizando en una de las variables más relevantes para la vida de los individuos del siglo XXI: la creatividad. Desde el punto de vista educativo, se asume que los sistemas, dispositivos, aplicaciones digitales entre otros, son parte de una “ecología comunicativa” que interviene cada vez con mayor alcance, en la construcción del conocimiento humano, produciendo nuevas formas de pensamiento, que asociado a un *diseño de interfaz centrado en el usuario* puede potenciar la creatividad, como competencia de resguardo de la condición humana. Se considera pertinente asumir las Neurociencias como marco conceptual de referencia del que emerge el principio de viabilidad del aprendizaje, y desarrollo de la creatividad en las personas, abordándose en este trabajo algunos aspectos, reflexiones y una conclusión preliminar.

ABSTRACT

The proposal is framed in the topic field of Human-Computer Interaction and it aims at going deeper in the study of the human aspect of the construction process in digital educational system interfaces, approaching to one of the more relevant variables in the life of the individual of the XXI Century: the creativity. From the educational viewpoint, it is assumed that digital systems, devices, applications, among others, are part of a communicative ecology, which more and more interact to a broader extent in the construction of human knowledge, producing new ways in thinking, which associated to a user-centered design can enhance the creativity, as an essential trace of the human condition. It is appropriate to conceive the neural science as a conceptual frame of reference which will produce the principle of learning and development of the creativity in persons. This paper presents some of their related aspects, reflections, and a preliminary conclusion.

Palabras claves: Interfaz – usabilidad – creatividad – neurociencia.

Keywords: Interface - usability - creativity – neuroscience.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de aplicaciones informáticas orientadas a la educación se acrecienta cada vez más en la búsqueda de compatibilizar dos sistemas, el Humano y el Computacional con características distintas y con una misma finalidad: dotar a la máquina de recursos que faciliten, amplíen y promuevan nuevas competencias en las personas-usuarios sin socavar su condición humana; en esta línea de pensamiento, la creatividad (también la criticidad,

aunque que no es tratada en este trabajo) emerge como aspecto relevante y a la vez condicionante del proceso. En el fondo de la cuestión se plantea la interacción entre personas y computadoras a través de un medio o interfaz, lo que en el campo educativo se reconoce como un proceso de intercomunicación. En Lorés et al. (2002), la interfaz es el punto en el que los seres humanos y las computadoras se ponen en contacto, transmitiéndose mutuamente tanto información,

órdenes y datos, como sensaciones, intuiciones y nuevas maneras de ver las cosas.

Desde un enfoque educativo, la interfaz es parte de la comunicación, hoy esencial en la vida de las personas, pues posibilita satisfacer sus necesidades sociales y culturales, claves para la supervivencia. De esta afirmación se deduce la importancia del estudio del uso técnico de los dispositivos digitales en relación a la influencia en el comportamiento humano; un aspecto que, en la actualidad es abordado por la “ecología comunicacional” desde el concepto de intercomunicabilidad, como “el flujo que une a emisores y receptores, que a su vez son productores, manipuladores, conservadores y transmisores de mensajes” como lo mencionan Costa et al. (2010).

Los modelos de comunicación como las Interfaces se han transformado en una dirección compatible. Mientras que las primeras han mutado de una perspectiva lineal a una sistémica enfatizando la interactividad, las interfaces a lo largo del tiempo han tendido a una creciente transparencia de acuerdo a Speiegl (2013) citado en Smulski (2018). Es decir, el uso de interfaces cada vez requiere menos conocimientos o habilidades técnicas específicas, lo que ha facilitado el uso masivo y la naturalización de las prácticas de interacción. Sin embargo se considera pertinente, a los fines del presente trabajo, advertir que, la facilidad de uso de la Interfaz puede generar un aumento en la automatización del pensamiento despojándolo de la capacidad crítica y creativa.

Cuando se utiliza una interfaz, en el proceso de interacción se presentan normas de carácter explícito y criterios implícitos que determinan la interacción y generalmente son desconocidas por los usuarios; como una consecuencia del diseño. Ahora bien, tal diseño influye en el modo en que las tecnologías son utilizadas, es decir, propone reglas que organizan las prácticas sociales que se realizan con ellas. Y los usuarios “aprenden” según expresa Landa en Constantino (1995): “*El pensamiento constituye una unidad de conocimientos y acciones que posibilita, sobre la base de las informaciones sobre ciertos objetos, extraer conclusiones acerca de otros, es decir permite conocer ciertas cosas por intermedio de otras; el proceso mental no puede producirse sin la correlación entre estos dos componentes básicos: los conocimientos y las acciones*”. Al respecto, nos remitimos al caso del niño que no

sólo aprende una actividad con ayuda de la madre sino que con ella se apropia de las reglas de interacción que gobiernan y regulan la actividad a aprender, lo que implica el aprendizaje de la ‘gramática de la interacción’. El acento, por tanto, no está en aprender nuevas destrezas mediante una instrucción programada, sino en incorporar y asimilar el significado social y cultural de la actividad.

En este sentido, se torna importante la desnaturalización de tales prácticas a partir del reconocimiento y análisis de las reglas y criterios de las interfaces. Y resulta pertinente contemplar la interacción entre las reglas de la interfaz y las prácticas sociales entramadas en una escena de aplicación, en este caso, en la escena educativa. La escena educativa ha modificado sus coordenadas espacio-temporales como consecuencia del uso de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación, la escuela no es ya el único ámbito donde las personas aprenden y se educan, hoy el escenario es mundial, no existen fronteras políticas, ideológicas; la información se expande en tiempo real y recupera el pasado, siempre a disposición de la persona-usuario en el momento en que lo necesita; se han superado barreras culturales, económicas, políticas e ideológicas. Por los efectos producidos, se reconoce que asistimos a una verdadera revolución cultural y comunicacional con transformaciones simbólicas y materiales relevantes para la humanidad.

Este escenario educativo pone de manifiesto la importancia que, los fenómenos comunicativos mediados por computadoras, tienen en la digitalización de los procesos humanos, “condicionando” el comportamiento. Disciplinas científicas, advierten sobre el peligro de la automatización del pensamiento por el uso meramente instrumental de los dispositivos informáticos. Es indudable, que existiría una importante relación entre el conocimiento de ciertas reglas y criterios de las interfaces y el pensamiento en términos cognitivos, lo que permitiría reforzar la idea de que tal aspecto de la interfaz podría constituirse en un potenciador de la creatividad.

El conocimiento de aspectos cognitivos fundamentales como la percepción, la sensación, la emoción, entre otros, desde el enfoque de las Neurociencias, permite un diseño ergonómico y a escala humana. Se presupone que los métodos y herramientas propios de las neurociencias son

potencialmente útiles para hacer visible en el diseño, los aspectos técnicos que favorecen una toma de decisiones consciente. En este sentido, corresponde al diseño fortalecer su carácter social, cultural y educativo, y buscar alternativas neurocientíficas para fortalecer la condición humana a partir de la experiencia del usuario; en términos de Larrosa (2015) “*la experiencia es lo que nos pasa. No lo que pasa, sino lo que nos pasa*”. Es decir, la posibilidad de que algo nos acontezca, y para que eso ocurra se necesita poder detenerse en los detalles, y sobre todo poder entablar un encuentro. Ese es uno de los motivos para impulsar nuevas perspectivas o enfoques, como por ejemplo el neurodiseño, como una propuesta que reúne en un solo enfoque otros paradigmas de diseño tales como el Diseño Centrado en el Usuario, Experiencia del Usuario, Diseño Emocional, Diseño Sensorial, entre otros, a los cuales se incorporan las técnicas y conocimientos neurocientíficos, siempre desde un enfoque transhumanista (Herrera Batista, 2012).

El propósito del trabajo es problematizar y estudiar la interfaz de usuario, en tanto nexos que configuran una escena de aplicación, tornando visible el entramado de actores y procesos cognitivos, y para plantear un diseño de interacción e interpretación que configure una experiencia creativa de usuario, en ambientes educativos.

El trabajo se organiza en cinco secciones. Además de esta introducción, la sección dos y tres describen el marco teórico donde se apoya el trabajo, la Neurociencia vinculada a las Ciencias de la Computación y la conceptualización de Creatividad, la sección cuatro presenta la propuesta de atributos de Usabilidad para promover creatividad, y finalmente se presentan reflexiones sobre el trabajo propuesto.

2. NEUROCIENCIAS Y CIENCIAS COMPUTACIONALES

La Neurociencia constituye un área de conocimientos relativamente reciente, que avanza vertiginosamente aportando la convergencia de diversas ciencias al conocimiento del aprendizaje y el desarrollo (Salas, 2003). Detalles acerca del aprendizaje y el desarrollo han convergido para formar un cuadro más completo de cómo ocurre el desarrollo intelectual. El cometido de las Neurociencias es comprender los procesos

mentales merced a los cuales percibimos, actuamos, aprendemos y recordamos Kandel et al. (2001). El término "Neurociencias", hace referencia a campos científicos y áreas de conocimiento diversas que, bajo distintas perspectivas de enfoque, abordan los niveles de conocimiento vigentes sobre el sistema nervioso (Salas, 2003). Se hace Neurociencia pues, desde perspectivas totalmente básicas, como la propia de la Biología Molecular, y también desde los niveles propios de las Ciencias Sociales. De ahí que este constructo involucre ciencias tales como: neuroanatomía, fisiología, química, neuroinmunología, genética, la neuropsicología, las ciencias computacionales.

Manes (2014) ante la pregunta sobre si *¿es cierto que las computadoras podrían imitar el funcionamiento del cerebro humano?*, responde que es difícil porque “el cerebro tiene una capacidad plástica para remodelar sus circuitos que aún la tecnología no ha logrado igualar. Muchos modelos de inteligencia artificial computarizados están en desarrollo para intentar imitar la forma en que la información se adquiere, pero la complejidad del cerebro (y su plasticidad) excede la comparación con una computadora. Será muy difícil crear una simulación parecida a la del cerebro humano por su capacidad única de adaptarse a un contexto en cambio permanente. Nos adherimos a la afirmación de Manes, por eso en el Proyecto de Investigación ejecutado en la Universidad Nacional de Santiago del Estero, con el título “Implicancias conceptuales interdisciplinarias en la búsqueda de creatividad y criticidad para ambientes colaborativos y distribuidos soportados por computador”, se busca indagar sobre los avances de la neurociencia que enriquecen la posibilidad de compatibilizar el sistema humano con el sistema computacional, centrándose en la interfaz de usuario, como componente de mediación. A su vez la interfaz cuenta con atributos que favorecen el uso del sistema computacional.

La premisa desde donde se parte considera el sistema humano gobernado por el cerebro, un órgano fundamentalmente adaptativo que se transforma permanentemente aún en la edad adulta, generando el desarrollo de competencias, la que se aborda desde dos líneas diferenciadas: neurociencia computacional y neurociencia educativa.

Desde el campo de la *Neurociencia Computacional*, Cortés presupone la idea que,

habría un circuito alojado físicamente en el cerebro que procesa e interpreta la información del contexto es decir, cualquier proceso cognitivo (función) que tiene lugar en el cerebro, tiene un determinado circuito físico o "cableado" que lo procesa (estructura), lo cual se fundamenta en dos ideas básicas: a) "la conectividad en los circuitos corticales es bastante recurrente", como lo sostienen Douglas et al. (1995) citados en (Cortes, 2009); y b) la existencia de diferentes jerarquías en el cerebro, operando a muy diferentes escalas de tiempo y espacio e interaccionando entre sí.

En este sentido, la Neurociencia Computacional ha contribuido en los últimos años a estudiar la función cerebral, ya que la multitud de neuronas conectadas en forma abundante, unas a otras, y a tan diferentes escalas temporales y espaciales, hace que el estudiar el cerebro sea hoy en día uno de los retos más importantes en la ciencia actual.

Desde el campo de *Neurociencia Educativa* se trata de elucidar qué estructuras y funciones neurales se asocian con los procesos de aprendizaje y enseñanza, se intenta contribuir con ideas acerca de cómo enriquecer tales procesos, pero todavía no se puede indicar cómo aplicar esas ideas en contextos educativos específicos como se menciona en Lipina (2018).

Mientras que hoy, las ciencias de la computación y sus tecnologías, han posibilitado nuevas formas del proceso de diseño, sin embargo, como señala Fuentes (2005) en Herrera Batista (2012), "*las herramientas están muy a la mano, no así las ideas*". Se podría inferir que, las tecnologías facilitan el manejo de información y la realización de actividades repetitivas necesarias en el diseño, pero no contribuyen de manera significativa al mejoramiento de los procesos creativos y a la generación de ideas innovadoras en la solución práctica de problemas de diseño. Donde el factor humano sigue siendo clave en la generación de ideas novedosas y soluciones creativas a los problemas de diseño, ya que "la creatividad en el diseño continúa siendo offline o analógica" como lo menciona Sosa Medina (2007) en Herrera Batista (2012). En este sentido, la neurociencia abre nuevas posibilidades para conocer y comprender mejor la naturaleza de la cognición y la conducta humana y brinda un acercamiento científico al usuario del diseño.

Es decir, si el objeto final del diseño es el usuario, y la experiencia de éste está determinada por los procesos neuronales, se comprende la importancia

de la neurociencia en el diseño y la necesidad de nuevos paradigmas tales como el neurodiseño. Se dice que el neurodiseño articula directamente conocimiento de neurociencia y diseño hacia la creación de un objeto que resuelva un problema o satisfaga una necesidad, alejándose de presupuestos cerebro-centristas y adoptando una postura integrada e interactiva de cerebro-conducta-cultura del conjunto operante situado, que constituye el usuario y el producto en el proceso de uso instanciado en un contexto según Ávila Gutiérrez et al. (2011).

El neurodiseño como disciplina tiene que ver con la incorporación de conocimientos sobre procesos mentales, que explican el comportamiento de los usuarios (percepción, conducta, toma de decisiones), al campo del diseño del producto. En este sentido, dada la importancia que tiene la usabilidad como atributo de la interfaz, en el diseño de productos usables, es decir, la forma en que se perciben los estímulos externos y se responden ante éstos, resulta fundamental comprender el proceso perceptivo mediante el cual un individuo selecciona, organiza e interpreta estímulos para entender el mundo en forma coherente y con significado, y estudiar las zonas de procesamiento sensorial ubicándolos en los hemisferios cerebrales. En este campo del neurodiseño, se interesa conocer cómo sucede este proceso particularmente analizado a nivel de los sentidos, ya que estos son los receptores de la información sobre el medio ambiente. Las formas de vida, las costumbres, los hábitos, las instituciones en las que se nace y se crece influyen fundamentalmente en la caracterización del ser social, el que a su vez determina el tipo, modo, cantidad y calidad de estímulos que el usuario percibe. No se trata de conexiones estables entre estímulos y respuestas, sino de esquemas de acción que pueden integrarse y coordinarse a través de la propia actividad del sujeto.

Si se piensa en la creatividad como una competencia, es más un dominio de una cualidad que un rasgo y, por lo tanto, se puede enseñar. Al percibirlo de esta forma, es posible potenciar en el usuario esa habilidad creativa y promoverla. Pero por otro lado, si consideramos el proceso creativo de diseño de interfaz, es preciso comprender la tarea y su realización; y por ello, para que el usuario realice su tarea con eficiencia, tiene que pensar con creatividad cómo va a

ejecutarla, percibir los estímulos del ambiente y transmitir información a otros, si es necesario. Es decir, según el atributo de usabilidad que se desea reforzar en el proceso creativo de diseño de interfaz, resulta necesario especificar un nivel de creatividad esperado. Podría tomarse en cuenta los niveles propuestos en Valero Matas (2019), y el correspondiente nivel de dominio asociada, según la propuesta de Villa y Poblete (2007). Esta relación de nivel y dominio de creatividad, proporciona orientaciones para identificar los atributos de usabilidad, necesarios para estimular la creatividad. Siendo los atributos indicadores operativos (fluidez, flexibilidad y originalidad) de la creatividad del usuario, y a la vez del proceso creativo (Tabla 1). Para los diseñadores constituye un reto el poder conocer y aplicar los diversos conceptos de estas disciplinas en el diseño de productos y aplicaciones, ya que el interés principal de éste es lograr la mayor satisfacción y mejores experiencias de uso en las personas.

Tabla 1: Correspondencia Nivel de creatividad - dominio e indicadores de Usabilidad

Nivel de Creatividad Valero Matas (2019)	Niveles de dominio Villa y Poblete (2007)	Atributos de usabilidad (Nielsen, 1998)
Adquisitiva formativa	Identificar y desarrollar pensamiento creativo en situaciones sencillas.	<i>Facilidad de Aprendizaje, flexibilidad</i>
Elaborativa	Aplica el pensamiento creativo para organizar la información de forma novedosa o establecer nuevas relaciones.	<i>Facilidad de ser recordado, robustez</i>
Proyectiva	Desarrolla de modo sistemático el pensamiento creativo en las tareas y proyectos académicos o profesionales con su evaluación.	<i>Eficiencia, Satisfacción del usuario</i>

3. CREATIVIDAD

Crear no significa partir de la nada, se requieren conocimientos extensos previamente aprendidos para crear, excelente memoria, principalmente memoria de trabajo, excelente capacidad de razonamiento y un amplio conocimiento del lenguaje. Creatividad es la función cerebral que asocia, analiza e interpreta conocimientos adquiridos para generar nuevas ideas, que beneficien al individuo o a la comunidad (Escobar y Gómez González, 2006). El problema que se presenta para incorporar la creatividad como elemento de la usabilidad es que se conocen

sus componentes básicos pero la creatividad emerge de la interacción de sistemas neuronales distribuidos en el cerebro, como resultado de una acción integrada de procesos biológicos, cognitivos, afectivos y es esa interacción la que aún no está demarcada y establece un desafío técnico pero también ético a la posibilidad de automatizar tal cuestión. Pero, nos planteamos en este punto ¿si existe alguna conexión entre el automatismo, como capacidad propia de la informática y la creatividad como competencia educativa necesaria para la persona frente al avance tecnológico?

Desde la perspectiva abordada en el Proyecto se destaca la implicancia del pensamiento divergente, de acuerdo con los siguientes autores: Gardner (1995) considera que “la idea clave en la concepción psicológica de la creatividad, ha sido la del pensamiento divergente” y por su carácter sintético, la aproximación conceptual de Corbalán Berná en (Rodríguez Muñoz, 2011) para quien la creatividad es entendida como la capacidad de utilizar conocimientos e informaciones de forma novedosa, y de hallar soluciones divergentes a los problemas; para lo que se requiere motivación generada por factores intrínsecos y extrínsecos, es en éste último que podría posicionarse, la Interfaz.

Martínez Llantada (2002) plantea que el análisis teórico y la valoración práctica llevan al criterio de que la creatividad se expresa en la esencia socio transformadora del hombre, lo cual no quiere decir que todos los hombres son creadores, pero sí que todos pueden serlo potencialmente. La creatividad es un proceso objetivo de la psiquis humana susceptible de ser desarrollada y no un don innato, aunque juega un papel importante la dotación genética del individuo.

El aprendizaje, como la creatividad es un proceso interno de la persona, la cual, el educador no puede acceder, directa ni exhaustivamente, pero a la vez, es un proceso que tiene condiciones que se pueden propiciar, controlar y evaluar, lo que requiere incentivar, potenciar, promover haciendo al estudiante consciente de su autodesarrollo y sus fortalezas cognoscitivas, capacidades y habilidades, potencialidades que lo caracterizan como ente activo y consciente de su realidad, lo que favorece la originalidad y la flexibilidad en el aprendizaje.

También en el campo de la psicología, se identifica la creatividad con el pensamiento creativo o divergente, y, por lo tanto, se identifica

con la capacidad del ser humano para procesar la información que ha sido percibida (Valero-Matas, Valero-Oteo, Coca y Leyva, 2016) citados por Valero Matas (2019). Algunas características que marcan la diferencia del pensamiento creativo con el pensamiento convencional (Vega Botter, 2019) son:

- No depende de las relaciones lineales entre dos o más objetos para establecer una comparativa, sino que se basa en principios abstractos, que a primera vista no tendrían mucho sentido pero otorgan y generan nuevos significados.
- Requiere de una capacidad de visualización mayor, se busca alternativas nuevas ante alguna situación, mientras que con el pensamiento estructurado por lo general, el sujeto sabe lo que va a ocurrir.
- Emplea recursos creativos constantemente, a diferencia de los recursos convencionales o usuales, los cuales se basan en la costumbre.
- Implica mantenerse en un proceso de aprendizaje constante, en base a conocimientos internalizados, y de ellos nacen nuevas ideas.

Por último si se considera el pensamiento creativo como competencia, se lo relaciona con otros tipos de pensamiento: reflexivo, analógico, analítico y sistémico; así como con la capacidad de observación, de establecer relaciones con la resolución de problemas y toma de decisiones, innovación, flexibilidad y apertura a otros puntos de vista, por mencionar tan solo algunos rasgos.

4. DISEÑO CENTRADO EN EL USUARIO PARA PROMOVER CREATIVIDAD

La interacción entre persona y computador tiene como elementos claves, la tecnología, la persona y el diseño, centralizados en la interfaz de usuario (IU). La IU integra elementos de hardware y software que posibilitan la interacción, es decir, el intercambio de mensajes o instrucciones entre la persona y el computador. Se trata de mejorar la interacción entre las *personas* y la *tecnología* por medio del diseño de una interfaz más simple, centrada en las necesidades humanas y cuyo uso aumente la efectividad y satisfacción de las personas. En este sentido, el Diseño Centrado en el Usuario (DCU) se presenta como un enfoque de diseño y un proceso en el que las necesidades, requerimientos y limitaciones del usuario final del producto constituyen el foco de cada etapa del proceso de diseño. En particular, en el área de la Interacción Persona Computador, el DCU

constituye un método orientado a conocer las particularidades del usuario con el propósito de obtener interfaces de usuario más familiares y efectivas, minimizando el riesgo de que no lleguen a ser comprendidas y utilizadas. Desde el enfoque DCU los desarrolladores de aplicaciones informáticas intentan lograr usabilidad y accesibilidad en las interfaces respondiendo a las capacidades físicas y cognitivas, a los gustos, preferencias y expectativas del usuario.

Según ISO 9241-11(1998), usabilidad es la medida en la que un producto puede ser usado por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción, en un contexto de uso especificado. La satisfacción es, según Nielsen, en González Sánchez et al. (2012) una de las tres propiedades más importantes. Si bien es difícil, definir la satisfacción de usuario, Vogt (2004) citado en (Hernández Salazar, 2011) la interpreta como el resultado de un proceso permanente de comparación entre la experiencia y las percepciones subjetivas, en un lado, y los objetivos y las expectativas, en el otro.

Nielsen (2003) menciona la usabilidad en términos de:

- **Facilidad de Aprendizaje:** el diseño de la interfaz garantiza que el manejo sea fácil e intuitivo en su uso. Un indicador puede ser el tiempo en que un usuario aprende a usar una interfaz que no conoce.
- **Eficiencia:** se refiere al tiempo que el usuario tarda para realizar las tareas, una vez aprendido el funcionamiento del sistema. Un indicador es el número de transacciones que realiza el usuario por unidad de tiempo para completar la tarea, en este sentido se busca el menor tiempo.
- **Facilidad de ser recordado:** referido al tiempo que tarda el usuario en adquirir el conocimiento necesario para usar la interfaz eficientemente, después de un periodo sin hacerlo. Es decir, la capacidad de recordar las forma de uso de un sistema.
- **Eficacia:** se refiere a los errores que comete el usuario mientras usa el sistema, y la capacidad de recuperar los propios errores. Los indicadores son la frecuencia y gravedad de errores y la ayuda que prevé el sistema.
- **Satisfacción:** indica lo agradable y sencillo que le resulta al usuario la realización de las tareas, por la facilidad y simplicidad de uso.

La *facilidad de aprendizaje* y la *facilidad de ser recordado*, junto con la *eficiencia* de uso

determinan la rapidez con que se pueden desarrollar las tareas, una vez que se ha aprendido a usar el sistema. Cuando las herramientas son fáciles de manipular y no es necesario un entrenamiento previo, es posible que facilite el pensamiento divergente en usuarios no expertos. Cuando las herramientas del programa son complejas, es muy probable que el usuario se centre en la herramienta y no en la idea, es decir, pensará como la herramienta le indica pensar y se expresará como la herramienta le dice que se exprese (Penagos y Aluni, 2000). Cuanto mayor es la usabilidad de un sistema, más rápido opera el usuario al utilizarlo, y el trabajo puede realizarse en un menor tiempo (Nielsen, 1993).

En definitiva, existe usabilidad, cuando la interfaz, además de ser amigable, está centrada en las necesidades del usuario, en alguna medida le da poder, el uso es eficiente, existe retroalimentación, es fácil de aprender, fácil de recordar, es subjetivamente placentera y hay un bajo número de errores del usuario. Los errores reducen la eficiencia y satisfacción del usuario (Nielsen, 1993), y se requiere que el usuario pueda notar inmediatamente las acciones erróneas y contar con posibilidad de recuperar el error, deshacerlas y rehacer.

Comprender la forma en que los usuarios perciben los estímulos cuando entran en contacto con un producto, permite contar con información relevante que contribuya a satisfacer eficazmente sus necesidades. A través del neurodiseño, o de su componente neurocientífico, se intenta dar respuesta a las verdaderas necesidades del usuario. Si se comprende el funcionamiento del sistema nervioso y se profundiza en la forma en que percibe el usuario (es decir, cuál es su realidad), se podrán identificar más claramente sus necesidades y, en consecuencia, brindar un producto diferenciador y generador de valor.

Insuasty (2012) establece otros atributos, que se consideran importantes a la hora de relacionarlos con los aspectos de creatividad. Hace referencia a la *flexibilidad*, como la variedad de posibilidades para intercambiar información entre usuario y sistema, y la multiplicidad de vías para realizar una tarea a través de una interfaz flexible, modificable por el usuario y personalizable. Y a la *robustez del sistema para* el cumplimiento de objetivos, brindando posibilidades de recuperación de información y de adaptación de la tarea al usuario.

El atributo *entendibilidad* se relaciona con la capacidad de interpretación de las diferentes funciones del sistema, en los diferentes entornos en los que se use. Un programa que potencie la creatividad en personas no expertas en el manejo de software, deberá centrarse en el usuario y no tanto en la herramienta, y el uso de las herramientas deberá ser transparente y permitir la construcción de nuevas ideas. El uso del sistema como herramienta de construcción y no de repetición, es lo que brinda la pauta para que un programa computacional pueda potenciar a la creatividad (Penagos y Aluni, 2000).

En relación al contenido y apariencia de una aplicación, que pueden sostener condiciones de usabilidad y promover creatividad, una persona puede sentirse atraída por ciertos objetos, por la manera en que los percibe, por su forma, sus colores, y las emociones que le provoca. En este sentido, la capacidad de brindar ayuda inteligente mediante la integración de algoritmos con diseño visual orientado a la gestión de ideas (*inteligente y atractivo*) adquiere relevancia.

De acuerdo a Neiret (2008) hay dos factores que pueden mantener al usuario con una actitud expectante. Por un lado, la naturaleza misma de la aplicación identificada con la atención cognitiva. Y por otro, la apariencia de la aplicación, identificada con la atención afectiva. La atención cognitiva es la que se basa en el valor que el usuario le da a la información según sus conocimientos previos, por lo tanto, hace falta que la información sea relevante y esté bien organizada. Cuanto más especializado sean los contenidos de una aplicación, más se puede basar el diseño en la atención cognitiva, porque se tiene la ventaja del interés del receptor en el tema específico de la aplicación. En cambio, la atención afectiva está ligada a la apariencia de la aplicación. Se basa en el lazo afectivo que se establece entre el usuario y la aplicación.

Un programa que potencie la creatividad tendrá las herramientas adecuadas para la expresión creativa, para la integración de información, para observar o plantear el problema (Penagos y Aluni, 2000), es decir, es un lugar de despegue, con el instrumental necesario para iniciar y continuar un “viaje a las ideas”.

5. REFLEXIONES FINALES

La interfaz orientada a promover la creatividad y criticidad desde la perspectiva de la

Neurociencia, y evaluada bajo condiciones de usabilidad, es un marco referencial pertinente para su estudio, como aporte para evitar la enajenación de los usuarios, dado que estudia la creatividad como una capacidad de todos los seres humanos, posible de desarrollar en la que se conjugan variables técnicas y humanas integradas en un continuum aún no demarcado, si bien hoy constituye un desafío. La tecnología demanda una metodología de construcción que supere el nivel sintáctico que genera comportamientos automáticos y avance a un nivel semántico y pragmático, en una dialéctica entre intencionalidad educativa y técnica, para ello se requiere que la metodología se fundamente en la convergencia de diversos campos científicos para desentrañar las dimensiones filosóficas, biológicas, psicológicas, sociales y culturales, así como una metodología de diseño arraigada en las condiciones del usuario. Desde el equipo de investigación que realiza este trabajo, la Neurociencia es la perspectiva teórica y conceptual pertinente para dotar a la interfaz de aspectos técnicos que favorezcan la creatividad en el proceso de aprendizaje, mediante negociación, ámbitos de significados compartidos entre usuarios y diseñadores que activan esquemas de semántica experiencial, para re-definirlos a la luz del potencial cognitivo que representan los nuevos conceptos de la cultura y los conocimientos con los que se pone en contacto el usuario produciendo la reorganización del sistema social.

REFERENCIAS

- Ávila Gutiérrez, M., Aguayo González, F., Lama Ruiz, J. y Córdoba Roldán, A. *Neurodiseño y Neurousabilidad: un nuevo enfoque del diseño desde la perspectiva de la Neurociencia*. Sevilla Técnica, 37, 42-45, 2011.
- Constantino, G.D. *Didáctica Cognitiva: el enfoque cognitivo de la inteligencia y sus implicancias para la instrucción*. Ediciones CIAFIC. Bs. As. Argentina. 1995.
- Cortés, J. *La Neurociencia Computacional hoy: I. Qué es y por qué es difícil su estudio*. *Ciencia Cognitiva*. Revista Electrónica de Divulgación, Vol. 3 N° 1, 5-7. 2009
- Costa, J. *Ecología de la comunicación e interacción social. Pensar La Publicidad*. Revista Internacional De Investigaciones Publicitarias, 4(2), 17 – 24, 2011
- Escobar A., Gómez González B. *Creatividad y función cerebral*. Rev. Mex. Neuroci. 7(5), 2006
- Gardner, H. (1995) *Mentes Creativas*. Barcelona, España: Paidós
- González-Sánchez, J.L., Montero-Simarro, F., y Gutiérrez-Vela, J.L. *Evolución del concepto de usabilidad como indicador de calidad del software*. El profesional de la información, 2012, septiembre-octubre, v. 21, n. 5. ISSN: 1386-6710
- Hernández Salazar, P. La importancia de la satisfacción del usuario. *Documentación de las Ciencias de la Información*, UNAM México. Vol.34, Págs. 349–368. 2011. ISSN 0210-4210
- Herrera Batista, M. Á. *El neurodiseño como una nueva práctica hacia el diseño científico*. No solo usabilidad: revista sobre personas, diseño y tecnología, N° 11, 2012. ISSN 1886-8592.
- Insuasty, G. *Diseño e innovación a partir de procesos creativos. Ideorama como estudio de caso*. Diseño y Comunicación. Publicaciones DC. Actas de Diseño. Bs. As., Argentina, Año VI, Vol. 12, Marzo 2012.
- ISO 9241-11:1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)-Part 11: Guidance on usability. 1998.
- Kandel. E., Schwartz, J. y Jessel, T. *Principios de neurociencia*. Madrid: McGraw- Hill. 2001.
- Lépez Martínez, O. *Enseñar creatividad. El espacio educativo*. Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales - UNJU, núm. 35, pp. 61-75, noviembre 2008.
- Lipina S. J. *Reflexiones sobre la Neurociencia Educacional Contemporánea*. Desde la Patagonia difundiendo Saberes - Vol. 15- N° 26, 2018. <http://hdl.handle.net/11336/91249>
- Lorés, J., et. al. *Introducción a la Interacción Persona-Ordenador*. Asociación Interacción Persona-Ordenador, AIPO. 2002.
- Manes, F. *Usar el cerebro*. Planeta, 4° ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 2014.
- Martínez Llantada M. *Material Docente básico del Curso Educación de la Creatividad*. Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño. La Habana, Cuba, 2003.
- Neiret, S. *Diseño de Interfaz en el Software Educativo Infantil = Diseño de Emociones*. Tesis de Grado. Fac. de Informática. Universidad Nacional de La Plata. 2008.
- Nielsen, J. *Usability Engineering*. AP Professional, 1993.

- Nielsen, J. Usability 101: Introduction to Usability 2003
- Penagos, J. y Aluni, R. *Creatividad Exponencial. Creatividad*. Revista Psicología. Edición Especial. Universidad de las Américas, Puebla, 2000.
- Rodríguez Muñoz F. J. *Contribuciones de la neurociencia al entendimiento de la creatividad humana*. Arte, Individuo y Sociedad, 23 (2), 45-54, 2011.
- Salas, R. *¿La educación necesita realmente de la neurociencia?* Estudios Pedagógicos, N° 29, pp. 155-171, 2003
- Smulski, M. *Neurociencia cognitiva, desarrollo de software y educación: ¿La interfaz como puente?* Hipertextos, Número temático: Educación y tecnologías digitales. Vol. 6, N° 10, 2018.
- Vega Boter, M. *Creatividad: cómo y por qué*. El Liberal. www.elliberal.com.ar/noticia/493215/creatividad-como-que. 14.06.2020
- Valero Matas, J. A. La creatividad en el contexto educativo: adiestrando capacidades. Tecnología, Ciencia y Educación, 13, 150-171, 2019.

FORESTAL, AGRONOMÍA Y ALIMENTOS



Sondeo del consumo familiar de frutas y verduras en barrios de San Salvador de Jujuy durante el aislamiento por Covid-19

Bernal, Roberto A.¹; Capra, Franco S.¹; Garnica Tinte, Guillermo R.¹; Gaspari, Eduardo S.¹; Valdiviezo, Melisa R.¹

(1)Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy

bernalrac@fi.unju.edu.ar; francocapra.lol@gmail.com; InGuillermoGTinte@fi.unju.edu.ar; santiagogaspari@fi.unju.edu.ar; melisavaldiviezo@fi.unju.edu.ar

RESUMEN

Existen tres elementos que conforman el sistema alimentario que actúan como puntos de entrada y salida de la nutrición y que son necesarios estudiar para comprenderlo. Estos son las cadenas de suministro de alimentos, los entornos alimentarios y el comportamiento de los consumidores. Este trabajo sondea con un carácter meramente descriptivo el consumo de frutas y verduras durante el aislamiento generado por el Covid-19 a partir de una encuesta que evalúa su disponibilidad y asequibilidad para los consumidores, basados en el análisis de variables vinculadas al entorno alimentario tales como: nivel de ingreso, presupuesto destinado a la compra de frutas y verduras, composición familiar y lugares y frecuencia de compra. Este estudio se complementa con el de los factores que afectan a la cadena de valor relevados por el INTA. Los resultados permiten visualizar el bajo consumo de frutas y verduras incrementado por la rotura de la cadena y el efecto de la pandemia, en concordancia con lo que viene observando la encuesta nacional permanente de hogares. Esto marca la importancia de poder apoyar la agricultura familiar para fortalecer la cadena, facilitando el acceso a alimentos saludables e integrando mayores posibilidades de conformar lo que se conoce como oasis alimentario.

ABSTRACT

There are three elements that conform the food system that act as entry and exit points for nutrition and that it is necessary to study to understand them. These are food supply chains, food environments, and consumer behavior. This work probes with a merely descriptive character the consumption of fruits and vegetables during the isolation generated by the Covid-19 from a survey which assesses its availability and affordability to consumers, based on the analysis of variables related to the food environment such as income level, budget for the purchase of fruits and vegetables, family composition and places and frequency of purchase. This study is complemented by the work of the factors that affect the value chain surveyed by INTA. The results allow to visualize the low consumption of fruits and vegetables increased by the breaking of the chain and the effect of the pandemic, in accordance with what has been observed in the permanent national household survey. This marks the importance of being able to support family farming to strengthen the chain, facilitating access to healthy food and integrating greater possibilities of forming what is known as a food oasis.

Palabras claves: ingreso familiar- lugar de compra- consumo- gasto

Keywords: family income – place of purchase – consumption - expenditure

INTRODUCCIÓN

La alimentación es un fenómeno biológico, social y cultural, pero son más los aspectos socioculturales, y cómo éstos se entretajan con las ideas que las personas tienen de lo biológico y médico, los que guían y orientan mayoritariamente las decisiones de las personas en relación a su alimentación. Contreras (1995)

Al ser un fenómeno complejo es necesario abordarlo desde un marco integral como el que constituye el enfoque del sistema alimentario. Los sistemas alimentarios incluyen además sus interacciones con los entornos alimentarios, la cadena de valor y el comportamiento de los consumidores para comprender por qué y de qué manera las dietas están cambiando y afectando los estados nutricionales de las personas de todo el mundo. Poder interpretarlo y comprenderlo permitirá las maneras de intervenir y aplicar soluciones que se basen en los derechos para mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición para todas las personas, especialmente las más vulnerables. Para avanzar en el estudio de la cadena de valor de frutas y verduras, se considera pertinente adoptar los conceptos desarrollados en el 2017 por el grupo de alto nivel de expertos en seguridad y nutrición de la Organización de las Naciones Unidas alimentaria para la Alimentación y la Agricultura, GANESAN

El informe de FAO- GANESAN en su marco conceptual detalla todos los elementos que engloban un *sistema alimentario* (medio ambiente, personas, insumos, procesos, infraestructuras, instituciones, etc.) y las actividades relacionadas con la producción, la elaboración, la distribución, la preparación y el consumo de alimentos, así como los productos de estas actividades, incluido los resultados socioeconómicos y ambientales.

Se destaca que los tres elementos integrantes de los sistemas alimentarios, que actúan como puntos de entrada y salida de la nutrición son: las cadenas de suministro también llamadas cadenas de valor de alimentos, los entornos alimentarios y el comportamiento de los consumidores. La rueda de los sistemas alimentarios incorpora los diferentes elementos de la cadena de suministro de alimentos y del entorno alimentario, sobre los que se puede actuar para mejorar los resultados en materia de salud y nutrición y la sostenibilidad de estos diferentes tipos de sistemas alimentarios,

como se puede apreciar en la Figura 1 (GANESAN, 2017)



Figura 1: cadenas de suministro de alimentos y entornos alimentarios

El entorno alimentario hace referencia al contexto físico, económico, político y sociocultural que enmarca la interacción de los consumidores con el sistema alimentario con miras a la adquisición, la preparación y el consumo de alimentos.

La cadena de suministro de alimentos abarca la secuencia de todas las etapas que recorren los alimentos desde su producción hasta su consumo, en concreto: producción, almacenamiento, distribución, elaboración, envasado, venta al por menor y comercialización. Las decisiones adoptadas por los múltiples agentes que participan en cualquier etapa de esta cadena tienen implicaciones para las demás etapas, ya que influyen en los tipos de alimentos disponibles y accesibles y en la forma en que se producen y consumen. (GANESAN, 2017).

Hawkes y Ruel (2011) proponen un análisis de cadena de valor orientada a la nutrición. Este enfoque busca comprender cómo se organizan las cadenas de valor de los alimentos, su estructura y funcionamiento para mejorar los resultados en términos nutricionales, analizando la disponibilidad, asequibilidad y aceptabilidad de las frutas y verduras para los consumidores. La disponibilidad se refiere a la presencia de frutas y verduras en un lugar específico, teniendo en cuenta que, si no hay frutas y verduras disponibles, no se puede contribuir a la nutrición y al objetivo de salud. La asequibilidad se refiere a la posibilidad de adquirir frutas y verduras por parte de los potenciales consumidores, considerando al precio y los ingresos de la población como determinantes en el poder de compra. La aceptabilidad se refiere a las

evaluaciones subjetivas de calidad de los alimentos por parte de los consumidores. El ejemplo obvio es la publicidad, pero no es este el único vehículo. El Estado puede influir fuertemente en las preferencias y por ende, en las decisiones de consumo

El comportamiento de los consumidores refleja las elecciones de los consumidores, tanto en el hogar como a título particular, sobre los alimentos que se adquieren, almacenan, preparan y consumen y sobre la distribución de los alimentos en la familia. En el comportamiento de los consumidores influyen las preferencias personales determinadas por el sabor, la comodidad, la cultura y otros factores. Sin embargo, dicho comportamiento también depende del entorno alimentario existente. Los cambios colectivos en el comportamiento de los consumidores pueden abrir vías para establecer sistemas alimentarios más sostenibles que mejoren la seguridad alimentaria y la nutrición y la salud. (GANESAN, 2017).

La Organización Mundial de la Salud establece que un consumo suficiente de frutas y verduras podría salvar hasta 1,7 millones de vidas cada año. La ingesta insuficiente de frutas y verduras es uno de los 10 factores principales de riesgo de mortalidad a escala mundial. Se calcula que la ingesta insuficiente de frutas y verduras causa en todo el mundo aproximadamente un 19% de los cánceres gastrointestinales, un 31% de las cardiopatías isquémicas y un 11% de los accidentes vasculares cerebrales. Las variables que pueden condicionar el consumo de frutas y verduras se pueden dividir entre aquellas que están vinculadas al entorno sobre percepciones culturales y sociales sobre lo bueno y lo deseable, variables como composición del hogar, considerando por ejemplo la influencia materna por sobre la del padre, la cantidad de hijos por familia, el ingreso promedio o la educación familiar y económicas tales como la asequibilidad, es decir, la posibilidad de adquirir frutas y verduras por parte de los consumidores en función del precio y los ingresos de la población. Actualmente la fruta es considerada como un bien de lujo y no como un alimento básico para la canasta familiar, provocando la caída en la demanda de frutas y hortalizas.

Cadena de valor de frutas y verduras

Para complementar el desarrollo del trabajo y comprender el aumento de precios y desabastecimiento se recuperan los datos relevados en el estudio del impacto del Covid-19 en los diferentes eslabones de la cadena de valor de frutas y verduras realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) el que analizó la accesibilidad a la semilla, dificultades en la agricultura familiar, cosecha y distribución (Quiroga et al, 2020). Los productos provenientes de la actividad agrícola se utilizan para el autoconsumo, se venden en mercados locales o bien, son vendidos a intermediarios que se acercan a las fincas. Una parte importante de la horticultura y frutas provienen de la producción principal de la quebrada. Los principales cultivos son la zanahoria, verduras de hoja, haba, arveja, zapallito, maíz, brócoli, pimiento, apio y rabanito. También se producen en menor escala cultivos de origen andino, como yacón, oca, papa lisa, quinua y maíces (Ministerio de Producción de Jujuy, 2011, citado en Zamora Gómez, 2015).

El intermediario juega en la cadena de valor de las hortalizas un rol destacado, pues es el nexo entre el productor y los mercados regionales (San Salvador de Jujuy, Perico, Salta, Santiago del Estero, Tucumán, Chaco y Córdoba, entre otros), que son los que abastecen al pequeño comerciante y al consumidor final (Zamora Gómez, 2016).

Los productores de quebrada en los departamentos de Tumbaya, Tilcara y Humahuaca alcanzan al número de 2.468 de tipo familiar según el Censo Nacional Agropecuario 2002. Estos productores al no tener capacidad financiera terminan financiándose con los comisionistas y las agroquímicas de la zona mediante alguna garantía prendaria o hipotecaria. Analizando los problemas que generó el Covid en el inicio de la cadena, es decir, comenzando por el primer eslabón en caso de la semilla se produjo un aumento de su valor. Se produjo además escases de la semilla para comenzar el trabajo con los almácigos de pimiento, tomate y lechuga. Se presume que esto es debido a que la semilla comercial es importada. En el caso de los agroinsumos no se conseguía los de origen sintético que normalmente eran aportados por los intermediarios que compran la cosecha. También aumentaron los precios de los abonos naturales como el guano de cabras de la zona, así también el guano de pollo que se utiliza en grandes proporciones en las parcelas de cultivo. En la etapa de cosecha se registraron pérdidas para

poder levantarla desde el 30 al 50% de la cosecha por la falta de peones rurales, presentándose grandes dificultades para conseguirlos, ausencia o intermitencia de intermediarios, interrupción de la venta, caída en el precio de venta. Estos problemas se presentaron debido al desconocimiento de los municipios locales en considerar la actividad agropecuaria como actividad esencial. Situación que impidió el desplazamiento de productores y peones rurales. En lo referente a la logística vinculada al transporte de productos se complicó durante la primera quincena de la cuarentena, cuando las actividades se paralizaron. Los mercados y ferias cerraron, por lo que tampoco hubo demanda. Luego comenzaron a regularizarse, habilitando espacios feriales precedentes o nuevos, aunque las demoras, la disminución de la demanda y las dificultades para la circulación, continúan. Estos pequeños productores que suministran frutas y verduras ya enfrentaban dificultades para acceder al crédito antes de la pandemia. Se produjo la ruptura de la cadena de distribución del choclo fresco quebradeño en bolsas por colectivo, impidiendo la llegada a la capital. La primera estrategia de las autoridades locales para evitar contagios, fue la de no permitir el ingreso de camiones y equipos a los pueblos y parajes, así la carga de las cosechas se realizó sobre la ruta.

Entorno alimentario y comportamiento del consumidor

Las regiones del Noroeste (NOA) y Noreste (NEA) son aquellas en las que la participación del gasto en alimentos y bebidas no alcohólicas para consumir en el hogar supera marcadamente el promedio del país y el del resto de las regiones entre el 29 y 30%. Pero se destaca que NEA como NOA en la Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares (ENGHo) (2017-18) registra el nivel de gasto medio mensual por hogar y por persona más bajo del país.

El objetivo planteado en este trabajo es sondear con un carácter meramente descriptivo el consumo familiar de frutas y verduras de una muestra de los habitantes de diferentes barrios de San Salvador de Jujuy, considerando la actual situación de pandemia, relevando algunas de las variables presentes en el entorno y que forman parte del comportamiento del consumidor como

la asequibilidad vinculada a la posibilidad de adquirir las verduras y frutas.

Los principales clientes de los mercados mayoristas son las verdulerías y fruterías y los mismos repartidores, quienes cumplen la función de acercar la oferta a los comercios minoristas. Estos actores en el sistema tradicional juegan el rol de intermediarios. (Quiroga et al, 2020)

Con la detección de la pandemia y el avance del Covid-19 se elaboró una encuesta, efectuada por alumnos de ingeniería industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Esta encuesta se inicia con la intención de poder reconstruir la cadena de valor de frutas y verduras con otros trabajos complementarios. Se parte del consumidor para luego con la ayuda de otras encuestas, a realizar en el futuro, identificar intermediarios si los hubiera y llegar hasta los proveedores de estas frutas y verduras. Proveedores que en muchos casos provienen de agricultura familiar o son pequeños productores. Esto permitirá analizar la interacción de los diferentes actores que componen esta cadena y determinar quién tiene la gobernanza.

Las variables relevadas con la encuesta realizada fueron tales como: el porcentaje de los ingresos de cada grupo familiar que destinan a la compra de frutas y verduras, cómo se adquieren esos productos, es decir, los lugares donde realizan las compras: supermercados, mercados de concentración o verdulerías donde se compran, cuánto dinero destinan a frutas y verduras, frecuencia de compra diaria o semanal, la cantidad de personas que integran el grupo familiar, el consumo diario y los alimentos más consumidos en el contexto actual.

Se buscó registrar cómo es actualmente el consumo familiar de frutas y verduras considerando la importancia de que su ingesta en cantidades suficientes en el sistema inmunológico. Las Guías Alimentarias para la Población Argentina (GAPA), elaboradas por la Asociación Argentina de Dietistas y Nutricionistas Dietistas en el año 2000 y actualizadas en 2016, recomiendan consumir 400g de hortalizas no feculentas y 300g de frutas, es decir, un total de 700g de frutas y verduras. En términos de porciones, la sugerencia es consumir a diario 5 porciones de frutas y verduras en variedad de tipos y colores. FAO recomienda fortalecer el sistema inmunológico a través de la alimentación. Aumentar el consumo de frutas y verduras, con al menos cinco porciones al día.

Contienen mucha vitamina A y C, además de antioxidantes, que ayudarán a combatir infecciones. Consumir legumbres al menos tres veces a la semana porque se conservan por mucho tiempo, son económicas y ayudan a mantenerse sano, porque son altas en proteína y hierro. (GAPA, 2016)

La encuesta fue respondida por 346 familias que viven en distintos barrios de San Salvador de Jujuy. La recolección de datos se realizó entre los días: 25/04 y 10/06, la encuesta se promocionó en redes sociales como WhatsApp y Facebook. La cantidad mayor de respuestas provienen de barrios con alta densidad poblacional como Alto Comedero, San Pedrito e Islas Malvinas pero se complementan con datos en menor cantidad de veinticinco barrios. La mayor cantidad de respuestas fueron contestadas en el lapso comprendido entre el 30/04 y el 08/05, es decir, durante 13 días, donde el aislamiento social en la provincia de Jujuy fue el más estricto.

Respecto a la conformación del grupo familiar la mayoría está compuesto de dos a cuatro integrantes. EL porcentaje más alto de respuestas de 118 en total vino del rango etario entre 20 y 29 años, le siguen en orden de importancia 44 respuestas de personas entre 30 y 39, luego 43 respuestas para los mayores de 40 y solo 16 para personas menores de 20 años.

La mayor cantidad de familia compra frutas y verduras una vez a la semana un total del 46,6% y en el barrio donde vive, día de por medio lo hace un 28,9% en el barrio donde reside o barrio cercano y 14% todos los días el resto lo hace más espaciado o cuando surge la necesidad y en barrio cercanos. Un porcentaje del 67% compra sus frutas y verduras en los supermercados y minoristas.

Se utiliza más el efectivo para hacer las compras porque las verdulerías no tienen capacidad para ofrecer el cobro con tarjeta de crédito o débito. La crisis económica ha llevado a muchas personas a abrir verdulerías pequeñas como una alternativa para mejorar ingresos. Esta situación beneficia a los vecinos barriales que prefieren ir de compras a una verdulería cercana, pagando un precio un poco más alto, antes que ir a un súper por una cuestión de seguridad, evitando las aglomeraciones. Luego de relevar precios de frutas y verduras en dos supermercados, un mercado mayorista y siete verdulerías se pudieron constatar que los precios más baratos se encuentran en los supermercados y mercados

mayoristas aunque algunos pocos productos están más baratos en algunas verdulerías. Las frutas como la manzana, banana y naranjas son más baratas en los supermercados. Verduras como el tomate, zanahoria, acelga, lechuga y morrón están más baratos en el mercado de concentración. Las variaciones en los precios de los distintos productos en las verdulerías oscilan en diferentes porcentajes que van entre un 24% hasta 226% respecto a los precios promedios.

A pesar de estas diferencias en precios las personas tienden a hacer sus compras de frutas y verduras en los barrios en donde residen una vez a la semana o día por medio, además de hacerlo realizando un gasto promedio inferior a 1000 pesos. Con este gasto comprando 2kg de hortalizas no feculentas y 1kg de la fruta más barata por día apenas alcanzarían el consumo diario de una familia tipo de cuatro personas sugerido por las guías alimentarias. Este resultado de consumo no es diferente del consumo promedio de Argentina de 135gr de hortalizas no feculentas y 93gr de frutas, es decir, un valor total de ingesta de 228g, que sólo alcanzaba a cubrir el 32,5% del consumo de 700g recomendado en nuestro país tal como lo plantea la Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares (ENGHo) realizada en 2012.

Un 27,6 % consume entre 5 y 10 frutas como consumo diario familiar, el 63,3% consume menos de cinco frutas y un porcentaje muy bajo como más de 10 no alcanza el 1%. Solo un 31,2% de familias encuestadas consumen muchas frutas y muchas verduras. Existe un consumo menor a lo recomendado por la guía alimentaria de frutas y un poco más de verduras. Las verduras de mayor consumo son: papas, cebolla, zapallo, acelga, espinaca y el consumo de las frutas es muy bajo comparativamente. Situación que se explica en un entorno donde los ingresos familiares apenas logran cubrir la canasta básica. Un 35,6% percibe de 20.000 a 40.000 pesos, a un 30% les ingresa menos de 20.000 pesos, 22,6% supera los 40.000 pesos y 11% supera ampliamente los 40.000.

CONCLUSIONES

La rotura que provocó el Covid-19 de la cadena de valor evidenció su vulnerabilidad manifestada por la falta de semillas, agroinsumos, abonos naturales, la dificultad para la cosecha y los problemas de transporte. La encuesta pone en

evidencia el bajo consumo de frutas y verduras potenciado por el incremento de sus precios lo que dificulta su asequibilidad como consecuencia de la rotura de la cadena productiva. Todos estos problemas se transforman en oportunidad, frente a la dificultad del ingreso de las frutas que vienen de otras provincias, para organizar y fortalecer la cadena para la provisión de productos locales. Estos incrementos de precios marcan la importancia de la producción de la agricultura a pequeña escala que constituye la base de la seguridad alimentaria en muchos países y es una parte importante del panorama social, económico y ecológico de todos los países.

Para poder garantizar que los pequeños productores puedan acercar sus productos frescos con buenos precios a los consumidores o mercados es necesario mejorar la asociatividad de éstos y realizar los ajustes a la cadena de valor mediante la implementación de políticas públicas que colaboren y apuntalen la articulación de este pilar y colaborar con la promoción del consumo de frutas y verduras, elementos basales para mejorar la salud de la sociedad. Pilar que permita el acceso físico a los alimentos que facilitan dietas saludables para poder alcanzar un oasis alimentario, que se asocia a la abundancia de alimentos adecuados, y evitar los pantanos alimentarios, referido a la abundancia de comida inadecuada para una alimentación saludable (Wagner *et al.*, 2019).

Es necesario por un lado poder seguir documentando el alcance de los cambios en los entornos alimentarios considerando que el comportamiento de los consumidores y la demanda de alimentos específicos pueden determinar el suministro de alimentos. Por esta razón sería pertinente repetir la encuesta a un número representativo para poder realizar inferencias. Las intervenciones relacionadas con la demanda se centran en la sensibilización, el cambio de comportamiento, la voluntad de pagar, la transferencia de conocimientos y el empoderamiento, con vistas a aumentar la demanda de alimentos nutritivos y mejorar así los hábitos dietéticos.

También es necesario por otro lado investigar cómo influir en el entorno alimentario para suministrar productos alimenticios más saludables educando al consumidor. Muchos países han reconocido la importancia de la educación nutricional, a menudo haciéndola obligatoria dentro de los planes de estudios escolares, así

como fomentando programas sobre la materia que tienen como objetivo ciudades, escuelas, lugares de trabajo y proveedores de alimentos. La educación nutricional no solo ilustra la bioquímica de la nutrición, sino que estimula también el análisis crítico de las elecciones de alimentos y ayuda a desarrollar habilidades prácticas en relación con una amplia serie de contextos.

REFERENCIAS

- Asamblea Mundial de la Salud, 57. Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud: informe de la Secretaría. Organización Mundial de la Salud. 2004 disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/21211>
- Censo Nacional Agropecuario 2002. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>.
- Contreras, J., Alimentación y cultura: necesidades gustos y costumbres. Universitat de Barcelona, Barcelona, 1995.
- Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares 2017-2018. https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/sociedad/engho_2017_2018_informe_gastos.pdf
- Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares 2012-2013 https://www.indec.gov.ar/uploads/informesde_prensa/engho_25_04_14.pdf
- Guías Alimentarias para la población argentina, disponible en: http://www.msal.gov.ar/images/stories/bes/graficos/0000001007cnt-2017-06_guia-alimentaria-poblacion-argentina.pdf
- Hawkes C, Ruel MT. Value chains for nutrition. In: Institute. IFPRI, editor. Leveraging Agriculture for Improving Nutrition and Health; New Delhi. <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/2020anhconfpaper04.pdf> International Food Policy Research Institute, 2011.
- HLPE. 2017. La nutrición y los sistemas alimentarios. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, Roma, 2017.
- Quiroga Mendiola, M., Ríos, F., Alcoba, L. N., Romero, S. R., Regazzoni, J. E., Gerbi, P., Quiroga Roger, J. Impacto de la emergencia sanitaria por COVID-19 en las cadenas

- productivas de la agricultura familiar de Salta y Jujuy, 2020.
- Wagner, J., Hinton, L., McCordic, C., Owuor, S., Capron, G., Gonzalez Arellano, S. 2019. Do Urban Food Deserts Exist in the Global South? An Analysis of Nairobi and Mexico City. *Sustainability*, 11(7), 1963. doi: <https://doi.org/10.3390/su11071963>.
- Zamora Gómez, J. P. Propuesta de gestión integrada del agua para riego en el distrito de Maimará, Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, República Argentina [Universidad Nacional del Litoral]. (2015). <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/tesis//handle/11185/977>.
- Zamora Gómez, J. P. (2016). Análisis de la situación del distrito de riego de Maimará, Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy. Aportes para la elaboración de propuestas para la mejora del manejo del agua con fines agrícolas, en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Litoral. Facultad De Ingeniería y Ciencias Hídricas. Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

Implementación de un método colorimétrico para cuantificación de hierro en alimentos de hojas verdes

Bucci, Antonella, M¹; Leguizamón Carate, Jorge N²; Ledesma, Ana, E^{2,3}

(1) *Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
antonellamailenbucci@gmail.com

(2) *Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías,*
Universidad Nacional de Santiago del Estero.
leguizamocarate@unse.edu.ar

(3) *Centro de Investigaciones en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-UNSE-CONICET),*
Universidad Nacional de Santiago del Estero.
anael@unse.edu.ar

RESUMEN

En los últimos años, numerosos avances científicos a través de modernas técnicas experimentales, permitieron el estudio de matrices alimenticias. Sin duda las técnicas espectroscópicas y de superficies, han permitido un campo de estudio de amplio espectro para estos tipos de sistemas. Por ello, actualmente cuantiosos proyectos interdisciplinarios se están desarrollando con participación de las distintas áreas como la química, la biología, alimentos; todas tendientes a buscar mejoras en el estudio de matrices de alimentos. La implementación de técnicas espectrofotométricas permite a laboratorios no especializados contar con un análisis no muy costoso y que garantice la fiabilidad de los resultados. En este trabajo se describe la implementación de una técnica analítica que basada en espectroscopia UV-visible, permite evaluar el contenido de Hierro presente en hojas verdes. Los resultados obtenidos evidencian que el método de la orto-fenantrolina cumple con las condiciones de linealidad, sensibilidad y reproducibilidad para ser utilizado en la determinación del contenido de Hierro en hojas verdes frescas. Asimismo, cumple con los parámetros estadísticos preliminares calculados, por lo que es efectivo para su uso en determinaciones rutinarias de laboratorio. Además, se determinó el contenido de hierro de hojas frescas de albahaca, espinaca y achicoria provistas por pequeños productores de la provincia de Santiago del Estero.

ABSTRACT

In recent years, numerous scientific advances through modern experimental techniques have allowed the study of food matrices. Undoubtedly, spectroscopic and surface techniques have allowed a broad spectrum field of study for these types of systems. For this reason, currently numerous interdisciplinary projects are being developed with the participation of different areas such as chemistry, biology, food; all tending to seek improvements in the study of food matrices. The implementation of spectrophotometric techniques allows non-specialized laboratories to have an inexpensive analysis that guarantees the reliability of the results. In this work, the implementation of an analytical techniques that based in UV-visible spectroscopies that allow to evaluate the Iron content in green leaves was described. The results showed that the orto-phenanthroline method satisfy of linearity, sensitivity and reproducibility conditions to be used in the determination of the iron content in fresh green leaves. Likewise, it complies with the preliminary calculated statistical parameters, making it effective for use in routine laboratory determinations. In addition, the iron contents in fresh basil, spinach and chicory leaves provided by small producers of Santiago del Estero province were determined.

Palabras claves: Oligoelementos – Espectrofotometría UV- Vis – Hojas verdes – Salud

Keywords: Oligoelements – Spectrophotometry UV- Vis - green leaves- Health.

1 INTRODUCCIÓN

Los oligoelementos son un grupo de elementos químicos que participan en muchos procesos de nuestro organismo a nivel metabólico y fisiológico. Pertenecen a la familia de micronutrientes y dentro de ella a los minerales los cuales se encuentran presentes en muy pequeñas cantidades. Los principales oligoelementos presentes en el cuerpo son metales o metaloides, los más comunes son: Mn, Co, Ni, Cu, Fe, Zn, Si, I y Se, k y Na estos son de vital importancia para el desarrollo del normal funcionamiento del organismo, por lo que es importante el consumo frecuentemente de niveles adecuados mediante la ingesta de alimentos seleccionados en la dieta. La carencia de estos oligoelementos, es origen de enfermedades causantes de alteraciones en el crecimiento y en la homeostasis de organismo, según lo describe Ramírez Hernández (2015).

1.1 Importancia nutricional del Fe

El hierro es un nutriente indispensable para la formación de la hemoglobina, sustancia encargada de transportar el oxígeno a todas las células del cuerpo. El hierro, junto con el oxígeno es necesario también para la producción de energía en la célula. En el organismo, el hierro se encuentra principalmente en la sangre, pero también en los órganos y en los músculos. También sirve para activar el grupo de vitaminas B, estimula la inmunidad y la resistencia física. La deficiencia de hierro es la causa de muchas enfermedades siendo la más común la anemia ferropénica. En general el estado nutricional de hierro de una persona depende del balance determinado por la interacción entre los nutrientes que componen la dieta, la biodisponibilidad, las pérdidas y los requerimientos por crecimiento. La cantidad de hierro que asimila el organismo depende de la cantidad ingerida, la composición de la dieta y la regulación de la absorción. En este sentido es importante conocer el contenido de hierro en alimentos tales como carnes y vegetales de hojas verdes oscura, para si estimular su consumo y prevenir la deficiencia del Hierro (Rojas, 2020).

1.2 Importancia de las Técnicas usadas

Comúnmente en la cuantificación de los elementos metálicos se usa la técnica de

absorción atómica, pero los altos costos de los equipos hacen inviable la absorción atómica para los laboratorios no especializados especialmente en Santiago del Estero, donde no se cuenta con equipos de tal envergadura. Por ello, se busca optimizar técnicas que permitan análisis rutinarios y de bajo costo con equipamiento accesibles en laboratorios y con técnicas altamente sensibles y fácilmente reproducibles. La técnica analítica empleada en el presente trabajo está basada en la espectrofotometría visible, una técnica que a comparación con la absorción atómica no es costosa, es viable, y el espectrofotómetro es uno de los instrumentos analíticos de mayor disponibilidad por lo general en cualquier laboratorio del campo de aplicación. Este equipamiento no requiere de altos costos de mantenimientos por lo que es de gran interés su optimización e implementación como técnica rutinaria para determinar iones metálicos como Fe según Arango Ruiz (2012).

La técnica de cuantificación de Hierro por el método de la *orto*-fenantrolina, es una técnica donde las interferencias metálicas como Bi, Cd, Hg, Mo y Ag son precipitadas con la *o*-fenantrolina, y la materia orgánica y colorantes son disminuidas por una combustión seca y suave y posterior disolución en ácido (Lopez Silva, 2016).

En el presente trabajo se analizó la implementación del método de *o*-fenantrolina para la determinación del contenido de Fe en hojas verdes de albahaca, espinaca y achicoria, provistas por productores locales pertenecientes a la asociación civil "Santiago Diversidad".

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de la muestra

Las muestras de hojas frescas (achicoria, albahaca y espinaca) fueron provistas por productores de la feria localizada en la UNSE, quienes las cosecharon en los meses de Febrero y Marzo. Las hojas frescas fueron lavadas con agua de la canilla y al mismo tiempo se clasificaron y separaron aquellas que presentaban daños apreciables. Posteriormente, se colocaron en una bandeja, donde se lavaron con agua destilada con mucho cuidado y se dejaron en papel absorbente durante 5 min para finalmente secar en estufa a 70°C. Se cortaron utilizando un cuchillo de acero inoxidable perfectamente limpio sin incluir las

haces con la nervadura. Para la toma de muestra se realizó un cuarteo donde se mezclaron las hojas picadas, se dividieron en 4 proporciones aproximadamente iguales y se procedió a descartar los extremos diagonales. Este proceso se repitió hasta obtener un tamaño de muestra de aproximadamente 10 gramos.

2.2 Tratamiento de muestra

La Fig. 1 muestra un diagrama de flujo con la preparación de cada una de las matrices a evaluar.

2.2.1 Carbonización, Calcinación e incineración

Se pesaron 20 muestras conteniendo diferentes pesos (1, 3 y 5 g) y otras 10 muestras conteniendo 3 g. Las muestras secas fueron colocadas en crisoles y se carbonizaron a llama directa con mechero hasta el cese de humo, y que las cenizas estuviesen oscuras. Posteriormente, se llevaron las muestras a mufla 500 °C hasta observar cenizas totalmente blancas. Una vez retirada de la mufla se colocaron en desecador.

2.2.2 Dilución de cenizas

Finalmente, las cenizas fueron disueltas en 10 mL HCl de ácido concentrado 0,1 M y se llevó a un volumen de 25 mL con agua destilada.

Una vez estandarizada la técnica, ambos pasos se repitieron para la determinación en hojas de espinaca y albahaca.

2.3 Método colorimétrico de la orto-fenantrolina

El hierro total fue estimado colorimétricamente por el método de orto-fenantrolina, según AOAC (2016). La orto-fenantrolina reacciona con el Fe²⁺, originando un complejo de color rojo característico (ferroína) que absorbe notablemente en las regiones del espectro visible de 510 nm. Después de la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺, se da la formación de un complejo con la adición de orto-fenantrolina, tal como se muestra en la Fig. 2.



Figura 1: Proceso de obtención y digestión de materiales experimentales (hojas de achicoria para la determinación de la concentración de hierro).

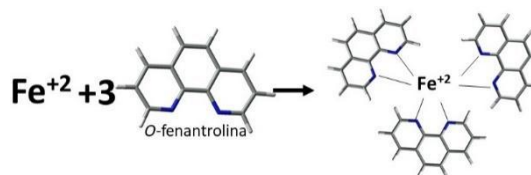


Figura 2. Reacción de reacción de Hierro con orto-fenantrolina

2.4 Preparación de soluciones

Las soluciones de Acetato de sodio (0,1 M), 1,10 fenatrolina (5 mM), Clorhidrato de Hidroxilamina (10 % p/V), Sulfato Ferroso (100 ppm), fueron

preparadas con agua destilada ultra pura (conductividad = $0.002\text{--}0.010\text{ mS cm}^{-1}$) obtenida a partir de un sistema purificador de agua OSMOION 10.2 (APEMA, Buenos Aires, Argentina) el mismo día que se realizó la determinación.

2.5 Curva de calibración

Diferentes alícuotas de una solución madre de Sulfato Ferroso 100 ppm fueron adicionados en un matraz de 10 mL, a fin de obtener concentraciones finales de Fe entre 0-2 ppm. Cada uno de los ensayos fue realizado por triplicado usando un espectrofotómetro 1800 UV-Visible Shimadzu.

2.6 Preparación de las muestras

Alícuotas de 5 ml de las soluciones de muestras se vertieron en un matraz de 10 ml. Seguidamente se agregaron volúmenes de 400 μL de Hidroxilamina, 2 mL acetato de sodio, 1 mL de 1,10 fenantrolina y se llevó a volumen final con agua destilada ultra pura. Para las determinaciones espectrofotométrica se utilizó una celda de cuarzo de 10 mm de espesor y capacidad 3 mL registrándose las absorbancias a 510 nm, correspondiente al máximo de absorción del complejo Rojo-naranja de fenantrolina-hierro. Previa a las mediciones se calibró el pH de cada una de las muestras de en un rango entre $2 < \text{pH} < 4$, para asegurar la formación del complejo coloreado.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3 Curva de calibración

Para la curva de calibración se prepararon 8 soluciones patrones mostradas en la Fig.3, en la cual se evidencia la formación del color anaranjado producido por el complejo con el Hierro. Un tiempo de 10 min fue suficiente para observar la coloración permanente y registrar valores constantes de absorbancias a 510 nm, previamente se hizo un barrido para determinar la longitud máxima a la cual absorbe las muestras patrones, evidenciando así la formación del complejo colorimétrico de tris (1,10-fenantrolina) hierro II a 510 nm

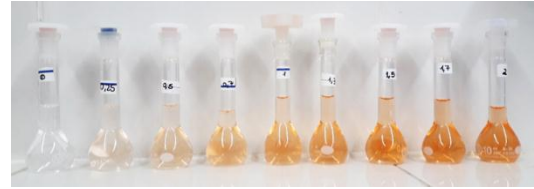


Figura 3: Soluciones patrones de calibración

En la Fig 4 se muestra la evaluación estadística con ANOVA, análisis de residuales y correlación de las curvas de calibración medidas con un R^2 de 0,98. Como el valor de la probabilidad (p) correspondiente a esta prueba es menor que 0,05 existe una diferencia estadísticamente significativa entre la absorbancia media de un nivel de concentración a otro para el 95 % de confianza, lo que indica que esta cambia proporcionalmente en la medida que cambia la concentración, obteniéndose una relación adecuada entre los patrones de la curva y los datos experimentales de absorbancia.

En las dos curvas realizadas se observa linealidad en el rango entre 0-2 ppm con coeficientes de correlación de 0,993 y 0,984. El coeficiente de correlación igual a $0,993 > 0,99$ demuestra que hay una relación relativamente fuerte entre la absorbancia y la concentración.

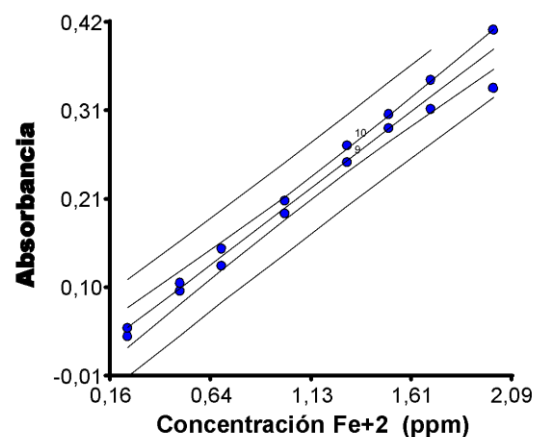


Figura 4: Curva de calibración de Fe.

Luego de análisis de varianza con el paquete estadístico InfoStat, y considerando la información sobre los coeficientes de regresión se puede escribir la ecuación 1 del modelo ajustado:

$$A = 0,0027 + 0,19 C \quad (1)$$

Donde C es la concentración de Hierro divalente (Fe⁺²) en ppm, y A es la absorbancia obtenida por mediciones espectrofotométricas.

Esta ecuación se utilizó para el cálculo de las concentraciones de las muestras analizadas.

3.2 Procesamiento de muestras de achicoria

Se tomaron las diferentes muestras conteniendo 1, 3 y 5 g y se colocaron en crisoles, para su posterior calcinación bajo campana como se observa en el esquema de la Fig. 1.

Luego de la calcinación se colocaron en mufla a 505 °C hasta la observación de cenizas blancas durante 5 hs para las muestras de 1 g, 12 hs para la muestra de 3 g y 24 hs para las muestras de 5g. Una vez retiradas, las cenizas fueron disueltas en solución de HCl 0,1 N hasta su posterior análisis por espectrofotometría de absorción.

El contenido de Hierro expresado como mg por cada 100 g de producto fue determinado teniendo en cuenta la concentración de Hierro obtenida de la curva de calibración, el volumen de muestra, el factor de dilución y la masa de muestra, según la ecuación 2:

$$[Fe] \left(\frac{mg}{100 g} \right) = \frac{[Fe] \left(\frac{mg}{L} \right) \times V(mL) \times f \times \frac{1L}{1000 mL}}{M(g) \times 100} \quad (2)$$

Dónde:

- [Fe] (mg/100 g): concentración de Hierro expresada como mg de Hierro cada 100 g de muestra de hojas verdes.
- [Fe] (mg/L): concentración de Fe diluida de la solución ácida digeridas de las cenizas de las hojas.
- [Fe] (mg/100 g): concentración de Hierro final de la muestra.
- V (mL): Volumen final de la solución ácida digerida (25 mL)
- M (g): masa de las hojas
- f: factor de dilución

3.3 Cantidad de masa óptima de achicoria para evaluación de la técnica

Basados en esta curva de calibración, se calcularon las concentraciones respectivas de hierro en las diferentes matrices. Para las muestras se dejaron un tiempo de estabilización

de 30 min antes de su determinación colorimétrica. Este tiempo fue optimizado, siguiendo las lecturas de absorbancia en el tiempo, el cual evidenció lecturas constantes de absorbancia pasados los 25 min de reacción.

A fin de optimizar la técnica para esta determinación como primera medida se evaluó la cantidad de muestra que evidenció valores de medidas más estables y reproducibles.

El gráfico de cajas de la Fig. 5 muestra la distribución asimétrica de la observación alrededor de los valores centrales para las muestras, también se evidencia que presentan un sesgo positivo de forma general, como lo describe Walpole (2007). Esto infiere que las determinaciones son dependientes de la cantidad de muestra. La mediana se encuentra más cercana al cuartil inferior lo que indica el 25 % de las observaciones comprendidas entre el primer y segundo cuartil se encuentran más próximas. Comparando las longitudes totales de las cajas se observa que las muestras de 3 gramos presentan una mayor concentración del 50 % central de las observaciones, además presenta también una menor dispersión de los datos por lo que la muestra de 3 gramos brinda una mayor confiabilidad a los resultados. Probablemente, la mayor dispersión y valor atípico observado cuando se analiza 1 g de muestra, puede atribuirse a que la cantidad de hierro presente es baja, por lo que su determinación requeriría el uso de una técnica de adición estándar. Considerando una masa de 5 gramos, se observa que los resultados obtenidos son mayores que para los encontrados a partir de 3 g de muestra. Estos resultados sugieren que la determinación analítica usando 3 g de muestra presenta la menor dispersión de los datos y una mayor precisión, por lo que consideramos que esta podría ser la masa adecuada para la implementación de esta metodología. Además, teniendo en cuenta que en literatura se reporta un contenido de Hierro en espinaca cercano a 2 mg/100 g, López Silva (2016), consideramos que una masa de 3 g es la que más se aproxima a dicho valor.

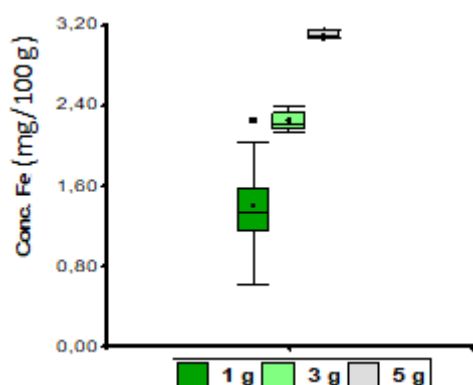


Figura 5: Gráfico de cajas de Micronutriente (Fe), Basado en Medianas para muestras de 1, 3 y 5 gramos. El contenido de Fe está expresado en mg/100 g de muestra de vegetal.

3.4 Análisis estadístico

Para evaluar la sensibilidad en las distintas masas, se realizó una prueba de t-Student, como lo explica Baracho (1986). Los límites de detección inferior (LI) y superior (LS) se corresponden con las cantidades de un analito cuya señal puede ser distinguida mediante la técnica. Para la muestra de 1g el valor promedio fue de 1,40 ppm/100 g obteniéndose una desviación estándar de 0,37, un límite inferior LI (95) de 1,22 y un límite Superior LS (95) de 1,58. Además se obtuvo un valor de t para estimar la media de la población siendo su valor de 16,41. Para la muestra de 3g el valor promedio es de 2,25, la desviación estándar de 0,10, el límite inferior 2,18 y el superior de 2,32 y el valor de t fue igual a 74,55. Por último para la muestras de 5g se obtuvo un valor medio de 3,11, desviación estándar igual a 0,05 límite inferior igual a 2,99 y un valor de límite superior de 3,23, mientras el valor para la t fue 109,83. Estos resultados evidencian que la desviación estándar relativa (DER) se encontró en los rangos de aceptabilidad internacional, menor o igual al 5% sólo para las muestras de 3 y 5 g. Así, podemos inferir que una cantidad promedio de 3 g es la cantidad óptima para determinar el contenido de Hierro mediante la aplicación del método propuesto.

3.5 Influencia del pH

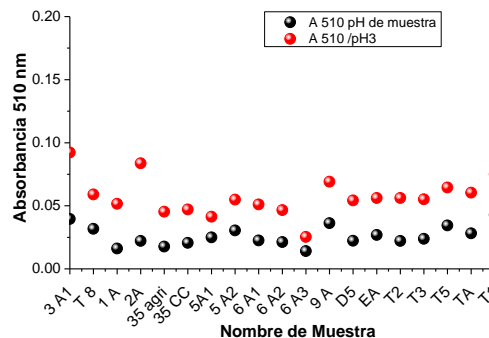


Figura 6: Variación de absorbancias registradas a 510 nm. En tanto la curva roja corresponde a valores de pH iniciales de la muestra y la negra a valores de pH corregidos a un valor de 3.

En la Fig. 6 se pone de manifiesto la dependencia de la absorbancia del complejo de Ferrioina con el pH para las distintas muestras analizadas usando una masa de 3 gramos. Este es un factor importante, por lo que la gráfica evidencia la existencia de una variabilidad en la coloración del complejo por efecto del pH. Se observa que a pH menor a 2 que presentan las muestras del digesto, la absorbancia a 510 nm es menor que cuando se lleva la muestra a un pH final de 3. Este comportamiento fue observado también para valores de pH de 3,5, 4 y 5 (datos no mostrados). Esto demuestra, que la formación del complejo es dependiente del valor del pH del medio y que la concentración de Fe de la muestra debe ser determinada a un valor de pH óptimo a 3.

3.6 Determinación de hierro en diferentes hojas

En la Fig. 7 se muestran las cantidades de Fe por 100g de muestra, observándose una mayor concentración de Fe presente en espinaca, lo cual sirve de información nutricional para el consumo y para su uso en general en la industria alimenticia.

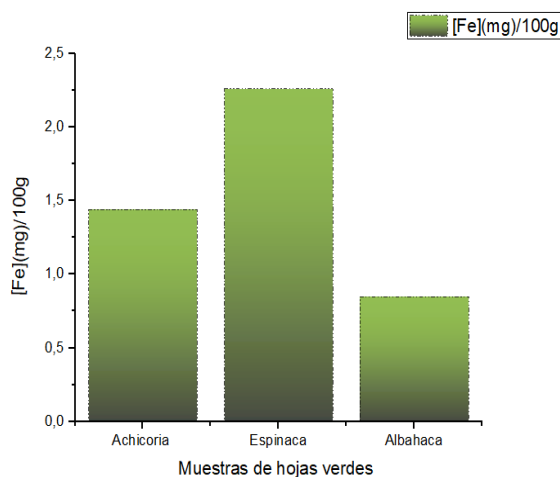


Figura 7: Cantidad de Fe presente por 100 gramos para muestras de Achicoria, Espinaca y Albahaca

Si se comparan los resultados obtenidos con otros reportados en la literatura, se puede observar que el valor de 2,2 mg/100g determinado para espinaca fresca es próximo al valor de 1,97 reportado por López Silva (2016). Un valor de aproximadamente 1,4 mg/100 g que fue determinado para achicoria es algo menor que el valor de 2 mg reportado para achicoria recolectadas en el monte del Chaco Argentino por Freyre (2000). Para hojas frescas de albahaca se registró un valor de 0,7 mg/100g del vegetal.

Los valores obtenidos son aceptables teniendo en cuenta los datos bibliográficos.

El método de determinación de Hierro empleado para el análisis de hojas verdes frescas, cumple con los parámetros estadísticos preliminares calculados, por lo que es efectivo para su uso en determinaciones rutinarias de laboratorio. Además, se determinó el contenido de hierro de hojas frescas de albahaca, espinaca y achicoria provistas por pequeños productores de la provincia de Santiago del Estero.

4 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue soportado con fondos de un proyecto N° 23/C158 (Consejo de Investigaciones, Universidad Nacional de Santiago del Estero).

5 REFERENCIAS

- Arango Ruiz AJ, Vélez Argumedo CM, Jaramillo Garcés Y, Valencia Rojas MA, Hernández Sierra A, Cuantificación de hierro ferroso en espinaca y harina fortificada: una aplicación para la industria de panificación. *Journal of Engineering Technology* Vol.1, N°1, 2012
- Association of Official Analytical Chemistry AOAC, O. M. (s.f.). *Method AOAC 944.02*. (16 th edition ed.). United States.2016
- Barbacho, A, G, *Estadística Elemental Moderna*, Editorial Ariel,S.A, Barcelona,1986.
- Freyre MR, Baigorria CM, Rozycki VR, Bernardi CM, Charpentier M, Vegetales silvestres sub explotados del Chaco argentino y su potencial como recurso alimenticio. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol.50, n.4: 394-399, 2000
- López Silva YL, García Mercado JC, Cuantificación de hierro total en las hojas de espinaca (basella alba) por espectrofotometría ultravioleta/visible, <https://repositorio.unan.edu.ni/1395/1/75006.pdf>, 2016.
- Ramírez Hernández J, Bonete MJ, Martínez-Espinosa RM, Propuesta de una nueva clasificación de los oligoelementos para su aplicación en nutrición, oligoterapia, y otras estrategias terapéuticas. *Nutrición Hospitalaria* 31(3):1020-1033, 2015
- Rojas R, Hierro-Ministerio de Salud www.ministeriodesalud.go.cr,2020.
- Walpole R, Myers R, Myers S, Ye K, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Pearson Educacion, Mexico, 2007.

Efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero y fructanos sobre la textura de quesos procesados untables de leche de cabra

Burgos, Laura^{1,3}; Pece, Nora.² y Maldonado, Silvina.¹

(1) *Ingeniería para el Desarrollo de la Agroindustria Regional (IDeAR) Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITA) Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy. smaldonado@fi.unju.edu.ar*

(2) *Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA). Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. norapece@unse.edu.ar*

(3) *CONICET. laura.burgos@conicet.gov.ar; laura.silvina.burgos@gmail.com*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia de la incorporación de fructanos (FOS) y concentrado proteico de lactosuero (WPC) sobre las propiedades texturales del queso procesado untable de cabra. Se elaboraron quesos procesados utilizando como materia prima quesos de cabra de 10, 20 y 40 días de maduración, en la proporción 2:1:1. Para la formulación del queso procesado untable se utilizó un diseño factorial con 2 factores (FOS y WPC) y 3 niveles (0%, 5% y 10%), resultando 9 formulaciones. Se determinó la composición y el perfil de textura de cada uno de los quesos. Se encontró que la dureza, la elasticidad y la adhesividad presentaron una relación directa con el aumento de la concentración de WPC e indirecta con el aumento de la concentración de FOS. La formulación con 5% de FOS y 5% WPC presentó características texturales similares al control y mayor valor nutricional.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the influence of the incorporation of fructans (FOS) and whey protein concentrate (WPC) on the textural properties of goat processed cheese. Processed cheeses were elaborated using goat cheeses of 10, 20 and 40 days of ripening, in the following proportion (2: 1: 1). For the formulation of the spreadable processed cheese, a Factorial Design with 2 factors (FOS and WPC) and 3 levels (0%, 5% and 10%) was used, resulting in 9 formulations. The composition and texture profile of each of the cheeses were determined. Hardness, elasticity and adhesiveness showed a direct relationship with the increase on the WPC concentration and an indirect relationship with the increase on the concentration of FOS. Formulation with 5% FOS and 5% WPC presented textural characteristics similar to the control and greater nutritional value.

Palabras claves: textura – FOS – proteína de lactosuero – queso procesado

Keywords: texture – FOS – whey protein – processed cheese

1. INSTRUCCIONES

El queso procesado o fundido es un producto lácteo derivado de quesos sometidos a un proceso térmico y fisicoquímico con el objeto de detener su maduración y obtener un producto estable de mayor vida útil (Dimitreli, 2008). Los quesos procesados se clasifican en dos grandes grupos: cortables (block) y untables (spread), existiendo diferencias tecnológicas entre ellos. El queso de tipo untable se caracteriza por tener un cuerpo débil y marcadas características de esparcibilidad.

En la formulación suelen utilizarse quesos molidos, sales fundentes, estabilizadores y aditivos que pueden contribuir al flavor del producto final. Las materias primas se mezclan y se calientan a elevadas temperaturas (75° - 95°C) con el objeto de detener la maduración y obtener un producto estable de larga duración y con alta calidad nutritiva, conservando el sabor, además de propiciar la diversificación de productos (Kapoor, 2008). Debido al aumento en el consumo de este tipo de quesos, en el diseño se han propuesto modificaciones que mejoran el

valor nutricional para el desarrollo de quesos probióticos, prebióticos o simbióticos (Ferrão, 2016).

Los fructanos de bajo peso molecular, también llamados fructooligosacáridos o simplemente FOS, se consideran carbohidratos altamente fermentables. Son sustratos fermentativos para el crecimiento de bifidobacterias que constituyen hasta un 25 % de la flora del colon y, durante su competencia al fermentar los FOS contribuyen a la disminución y hasta la anulación de cepas patógenas que son sensibles al medio ácido. Esta capacidad de estimular el crecimiento en el colon de bacterias específicas consideradas beneficiosas y de disminuir y hasta anular el crecimiento de bacterias patógenas, se conoce como efecto prebiótico. Por su configuración química los FOS no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas del hombre y de animales (Souza, 2015; Wang, 2012), por lo que se comportan como fibra dietaria. Suelen ser muy estables en los rangos de pH encontrados en la mayoría de los alimentos (pH entre 4 y 7) así como durante la refrigeración (Vega, 2015) y aportan un valor calórico reducido (1,5 kcal/g) si se comparan con los carbohidratos digeribles (4 kcal/g) (Madrigal, 2007). Los FOS han sido evaluados en estudios en humanos y en animales, en los que se ha establecido su efectividad y seguridad; Chen (2016) y Fernández (2016) concluyeron que con un consumo de 15 g de FOS/ día no se evidencian reacciones adversas gastrointestinales. Los FOS poseen un ligero sabor dulce (entre 30 a 50% del poder edulcorante de la sacarosa), son totalmente solubles en agua, lo que les otorga propiedades humectantes cuando se emplean como aditivos en la formulación de alimentos. La viscosidad de las disoluciones de FOS suelen ser mayores que las de otros hidratos de carbono en la misma concentración y más estables térmicamente (Al-Sheraji, 2013).

Varios estudios involucrados en la adición de FOS e inulina a productos lácteos han informado un efecto positivo, tanto en el crecimiento de bacterias probióticas como en características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales (Karimi, 2014; Salvatore, 2014; Alves, 2013; Fadaei, 2012). Sin embargo todavía existe poca información disponible acerca de los efectos de adición de FOS sobre dichas características. Se ha estudiado la incorporación de FOS en quesos de leche de vaca (Rodrigues, 2012) y el efecto estabilizante de fructanos de alto peso molecular

en quesos procesados, en los que se incorporaron por sus propiedades gelificantes (Al-Sheraji, 2013; Drunkler, 2009).

Por otra parte, el suero obtenido como resultado de la producción quesera, se puede aprovechar para la elaboración de productos con agregado de valor (Castells, 2013). Tamime (2011) informó que utilizó concentrado proteico del suero (WPC) en la elaboración de quesos procesados, para proporcionar un producto con mejores propiedades funcionales y mayor rendimiento quesero. Se realizaron estudios del efecto de la adición entre un 5% y un 10% de WPC, sobre la reología, la textura y la calidad sensorial de queso procesado de vaca (Mihulová, 2013; Lee, 2013). Como resultado de estos y otros estudios se sabe que el aumento en la concentración del WPC produce cambios en la dureza, en el módulo complejo de cizalla y en la fluencia de los quesos procesados, sin alterar su sabor, en el rango de concentración estudiado.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia de la incorporación de fructanos de bajo peso molecular (tipo FOS) y concentrado proteico de lactosuero sobre las propiedades texturales del queso procesado untable de cabra, analizando el efecto de su concentración y caracterizando químicamente el producto obtenido.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Queso procesado untable

La elaboración del queso procesado se llevó a cabo utilizando como materia prima quesos de cabra de distintos tiempos de maduración obtenidos en el laboratorio, en proporción 2:1:1, referida a: queso de 10 días: queso de 20 días: queso de 40 días. Cada formulación se desarrolló usando un 20% de grasa, estableciendo el valor de humedad del producto final en 63% y el pH dentro del rango de 5,7-6. Se incorporaron además sales fundentes marca JOHA en un 2,8% de la masa total del queso fundido (Burgos, 2019). Los quesos untables se elaboraron y analizaron, utilizando dos réplicas y cada una de ellas por cuadruplicado.

Para la formulación del queso procesado untable se utilizó un diseño factorial con 2 factores y 3 niveles. Uno de los factores fue la concentración de fructanos (Beneo 95), la que se estableció en los siguientes niveles: 0%, 5% y 10 % (p/p),

dichos valores se encuentran por debajo de la ingesta máxima recomendada (15 g FOS/día) para obtener un alimento sin producir reacciones adversas gastrointestinales. El otro factor fue el nivel del concentrado proteico de lactosuero bovino (WPC) a incorporar, considerando los siguientes: 0%, 5% y 10% (p/p), valores usados para aumentar el rendimiento en quesos procesados unttables. De acuerdo al diseño estadístico resultaron nueve formulaciones (%FOS, %WPC): 1(0,0), 2(0,5), 3(0,10), 4(5,0), 5(10,0), 6(5,5), 7(10,5), 8(5,10) y 9(10,10).

2.2 Caracterización química

La caracterización química de los quesos procesados formulados, se realizó según métodos AOAC (16th Ed., 1995): Proteínas totales: por el método de Kjeldahl, método A.O.A.C. 955.04 c. Cenizas: método A.O.A.C. 968.08. Grasas: método de Hidrólisis Ácida A.O.A.C., 922.06. Humedad (AOAC 935.29) en estufa de vacío (Shel lab, modelo 1410) a 60 ± 1 °C y 25 pulg Hg de vacío.

2.3 Análisis de textura

Se analizó la textura de las nueve formulaciones según Weiserová (2011). Para ello se utilizó un texturometro TA.XT plus, con una sonda cilíndrica P/0,5 de 12,7 mm de diámetro. Se realizó una doble penetración con una profundidad de 10 mm desde la superficie, a una velocidad de 2 mm/s, con un tiempo de espera entre el primer y el segundo ciclo de 5 s. Los ensayos se realizaron bajo temperatura controlada de 10 ± 1 °C, en una probeta de 36 mm de diámetro. La aplicación del test permitió obtener cuatro parámetros diferentes: dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad.

2.4 Análisis estadístico

Los resultados se examinaron utilizando la prueba de Rangos Múltiples de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. El análisis de varianza se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion XV.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización química

Las composiciones de cada uno de los quesos procesados unttables formulados se muestran en la Tabla 1.

De acuerdo a estos resultados, el contenido de humedad fue disminuyendo en las formulaciones respecto al control, ya que la incorporación del FOS y el WPC redundó en un aumento de los sólidos totales respecto del queso control.

Con el agregado de WPC se incrementó el contenido relativo de proteínas en las distintas formulaciones, siendo la formulación 3 la que presentó mayor contenido en comparación a las 8 y 9, con igual concentración de adición de WPC (10%), influenciadas por la presencia del FOS en estas últimas. Con la incorporación de WPC en las distintas formulaciones se aumentó el valor nutricional de los quesos, mejorando no sólo el contenido sino la calidad de las proteínas. Las proteínas del WPC son fuente de varios aminoácidos esenciales, particularmente, son ricas en aminoácidos sulfurados (metionina y cisteína) y en aquellos de cadenas ramificadas (leucina, isoleucina y valina), por lo que poseen un valor biológico (VB) 15% superior al de la proteína del huevo y al de otras fuentes proteicas comerciales (Smithers, 2008).

Además desde el punto de vista nutricional, se considera apropiado clasificar a las fibras dietarias según su comportamiento en medio acuoso. Las fibras solubles (FAS) o totalmente fermentables, son aquellas que forman geles en contacto con el agua, en donde se encuentran comprendidos los fructanos. La American Dietetic Association (ADA) recomienda a los adultos consumir una dieta que contenga 3-10 g de fibra soluble procedente de diversas fuentes vegetales. En el Código Alimentario Argentino (Cap. XVII, art. 1385 y 1386) se establece que los alimentos modificados en fibra, deberán contener como mínimo 3 g de fibra alimentaria /100 g para alimentos sólidos. Considerando la incorporación del 5 y 10% de FOS en las distintas formulaciones, a los quesos obtenidos en las formulaciones 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se los podría etiquetar como “quesos procesados unttables adicionados con fructooligosacaridos”, demostrando su potencial como alimento funcional prebiótico.

3.2 Análisis del perfil de textura

Los parámetros de textura hallados en los quesos procesados unttables con las nueve formulaciones, se muestran en la Tabla 2.

Felix da Silva (2016) expresan que la dureza se utiliza como un índice de la resistencia del producto, mientras que la cohesividad indica la resistencia de la unión interna del queso procesado. La adhesividad es la tendencia del queso procesado a resistir la separación de un material con el que contacta (Hosseini-Parvar, 2015). Es sabido que los quesos procesados altamente adhesivos no son bien aceptados por los consumidores porque a menudo son difíciles de separar del material de embalaje (Sołowiej, 2014).

En la dureza y la elasticidad se encontró una relación directa con el aumento de la

concentración de WPC e indirecta con el aumento de la concentración de FOS, esto se debe a la estructura lineal de estos fructanos, que interfieren en la formación del gel, debido entre otros a su efecto plastificante y a su posibilidad de formar uniones con las proteínas, lo que dificulta la formación de la estructura del gel o sea la red proteica. Resultados similares reportó Drunkler (2009) en queso requeijão cremoso con el agregado de oligofructosa. Por el contrario, las proteínas séricas refuerzan la matriz caseínica del queso aumentando su dureza. Esto podría explicarse por el aumento en el contenido de proteínas que permitió más interacciones proteína-proteína y formó una red de proteínas más firme (Dimitreli, 2007).

Tabla 1. Formulaciones de queso procesado untable de cabra (g/100g).

Formulación (%FOS, %WPC)	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas
1 (0,0)	63,6±0,2 ^(d)	9,7±0,1 ^(a)	21,7±0,3 ^(b)	3,95±0,01 ^(c)
2 (0,5)	59,4±0,7 ^(c)	14,9±0,1 ^(c)	21,7±0,2 ^(b)	3,75±0,03 ^(b)
3 (0,10)	58,8±0,6 ^(c)	17,7±0,3 ^(e)	22,7±0,2 ^(c)	3,88±0,03 ^(bc)
4 (5,0)	58,15±0,01 ^(c)	10,1±0,4 ^(a)	21,2±0,3 ^(ab)	3,78±0,01 ^(b)
5 (10,0)	57,8±0,2 ^(c)	10,3±0,1 ^(a)	21,3±0,2 ^(ab)	3,57±0,01 ^(a)
6 (5,5)	58,47±0,07 ^(c)	14,2±0,2 ^(bc)	20,2±0,3 ^(a)	3,59±0,07 ^(a)
7 (10,5)	53,4±0,3 ^(b)	13,3±0,3 ^(b)	20,2±0,2 ^(a)	3,49±0,01 ^(a)
8 (5,10)	53,9±0,3 ^(b)	16,7±0,1 ^(d)	20,3±0,2 ^(a)	3,55±0,01 ^(a)
9 (10,10)	50,1±0,7 ^(a)	16,4±0,3 ^(d)	20,7±0,3 ^(ab)	3,46±0,06 ^(a)

Valores promedio en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05).

Tabla 2. Parámetros de textura de los quesos procesados unttables formulados.

Formulación (%FOS, %WPC)	Dureza (N)	Adhesividad (N.s)	Cohesividad	Elasticidad
1 (0,0)	0,34±0,07 ^(ab)	0,26±0,07 ^(a)	0,79±0,04 ^(b)	0,958±0,008 ^(ab)
2 (0,5)	0,7±0,1 ^(c)	1,8±0,4 ^(b)	0,67±0,02 ^(a)	0,964±0,001 ^(b)
3 (0,10)	2,1±0,5 ^(d)	3,0±0,3 ^(c)	0,70±0,04 ^(a)	0,967±0,001 ^(b)

4 (5,0)	0,18±0,04 ^(a)	0,4±0,1 ^(a)	0,80±0,08 ^(b)	0,947±0,001 ^(a)
5 (10,0)	0,14±0,03 ^(a)	0,3±0,1 ^(a)	0,90±0,04 ^(c)	0,950±0,004 ^(a)
6 (5,5)	0,5±0,1 ^(bc)	1,3±0,5 ^(b)	0,74±0,07 ^(ab)	0,951±0,008 ^(a)
7 (10,5)	0,67±0,06 ^(bc)	1,7±0,1 ^(b)	0,69±0,02 ^(a)	0,964±0,002 ^(b)
8 (5,10)	1,6±0,5 ^(d)	3,3±0,2 ^(c)	0,67±0,03 ^(a)	0,965±0,004 ^(b)
9 (10,10)	1,9±0,2 ^(d)	4,2±0,4 ^(d)	0,67±0,02 ^(a)	0,966±0,007 ^(b)

Valores promedio en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Según Lee (2013), durante el fundido del queso procesado las proteínas de suero añadidas a la formulación sufren una desnaturalización progresiva, modificando la estructura del queso a través de la formación de enlaces cruzados, que implican a las proteínas de suero desnaturalizadas con enlaces disulfuro, así como también enlaces no covalentes. Además, es probable que la estructura de cadena abierta de las proteínas de suero desnaturalizadas produzca mayor unión con el agua dentro del queso. Este aumento de la unión al agua por el enlace puente hidrógeno dentro de las cadenas explicaría la mayor firmeza en los quesos, en acuerdo a las investigaciones de Mleko (2000, 2001), Gupta (1993), Lakemond (2008).

La cohesividad disminuyó con el aumento de la concentración de WPC y aumentó con el agregado de FOS, lo que indica que al incrementar los fructanos lineales es mayor la fuerza ejercida por los enlaces internos del queso procesado, este efecto en la cohesividad también fue informado por Drunkler (2009) en queso requeijão cremoso con el agregado de oligofruktosa. En cuanto a la adhesividad, incrementó junto a la concentración del WPC mientras que la adición de FOS no produjo un efecto significativo respecto al control. Una mayor cohesión significa que la estructura del queso no se desintegrará fácilmente, lo que estaría relacionado con la fortaleza de los enlaces internos en la estructura del queso (Kiziloz, 2009). Los quesos más duros suelen ser más adhesivos y menos cohesivos en comparación con los quesos más blandos. Thapa (1992) encontraron que la adhesividad de los quesos procesados aumentó significativamente al aumentar el contenido de WPC, mientras que su cohesión disminuía significativamente.

Considerando los resultados en los parámetros de textura se observó que el efecto de la

incorporación de WPC incrementó la dureza, la elasticidad y la adhesividad, demostrado en las formulaciones 2 y 3, en el rango de concentración estudiado. Respecto al efecto de la incorporación de FOS produjo un aumento en la cohesividad y disminución en la dureza, según se observa en las formulaciones 4 y 5. En las formulaciones con la incorporación de ambos factores, la formulación 6 (5% FOS y 5% WPC) no presentó diferencias significativas con el control en los parámetros de textura estudiados.

4 CONCLUSIONES

La incorporación de WPC y FOS en los quesos procesados untables de cabra formulados afectó la textura de los mismos, principalmente en la dureza, que aumentó al incrementar el contenido de WPC y disminuyó con la presencia de FOS. De las formulaciones con ambos factores, la formulación con 5% FOS y 5% WPC presentó características texturales similares al control, con mayor valor nutricional por el incremento en el contenido de las proteínas y por la incorporación de fibra soluble, lo que la convierte en un producto con potencial para ser considerado un alimento funcional prebiótico.

5 REFERENCIAS

- A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist 1995.
- Al-Sheraji, S. H., Ismail, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., Hassan, F. A. Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1542-1553. 2013
- Alves, L.L., Richards, N.S.P.S., Mattanna, P., Andrade, D.F., Rezer, A.P.S., Milani, L.I.G., Cruz, A.G., Faria, J.A.F. Cream cheese as a symbiotic food carrier using Bifidobacterium

- animalis Bb-12 and *Lactobacillus acidophilus* La-5 and inulin. *International Journal Dairy Technology*, 66, 63–69. 2013.
- Burgos, L., Pece, N., & Maldonado, S. Spreadable processed cheese using natural goat cheese ripened. *Nutrition & Food Science*. 2019.
- Castells M. L. Valoración del suero de quesería. *Instituto Nacional de Tecnología. Revista Lacteos Informa*, 3:3. 2013.
- Chen, G., Li C., Chen K. Fructooligosaccharides: A Review on Their Mechanisms of Action and Effects. Chapter 6. *Studies in Natural Products Chemistry*, Vol. 48.: 209-229. 2016.
- Dimitreli G., A. S. Thomareis. Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 84: 368–374. 2008.
- Dimitreli G., Thomareis A.S. Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, 79: 1364–1373. 2007.
- Drunkler, D. A. Produção de requeijão cremoso simbiótico. Tesis Doctoral. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)-Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.
- Fadaei, V., Poursharif, K., Daneshi, M., Honarvar, M.. Chemical characteristics of low-fat wheyless cream cheese containing inulin as fat replacer. *Europe Journal Exp. Biol.* 2, 690–694. 2012.
- Felix da Silva, D. F., de Souza Ferreira, S. B., Bruschi, M. L., Britten, M., & Matumoto-Pintro, P. T. Effect of commercial konjac glucomannan and konjac flours on textural, rheological and microstructural properties of low fat processed cheese. *Food Hydrocolloids*, 60, 308-316. 2016.
- Fernández, J., Redondo-Blanco, S., Gutiérrez-del-Río, I., Miguélez, E. M., Villar, C. J., & Lombó, F. Colon microbiota fermentation of dietary prebiotics towards short-chain fatty acids and their roles as anti-inflammatory and antitumor agents: A review. *Journal of Functional Foods*, 25, 511-522. 2016.
- Ferrão, L. L., Silva, E. B., Silva, H. L. A., Silva, R., Mollakhalili, N., Granato, D., Zacarchenco, P. B. Strategies to develop healthier processed cheeses: Reduction of sodium and fat contents and use of prebiotics. *Food Research International*, 86, 93-102. 2016.
- Gupta, V. K., & Reuter, H. Firmness and melting quality of processed cheese foods with added whey-protein concentrates. *Lait*, 73, 381-388. 1993.
- Kapoor R., L. E. Metzger. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects-A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7: 194-214. 2008.
- Karimi, R., Azizi, M.H., Ghasemlou, M., Vaziri, M. Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: a review. *Carbohydr. Polym.* 119, 85–100. 2014.
- Kiziloz, M. B., Cumhuri, O., & Kilic, M. Development of the structure of an imitation cheese with low protein content. *Food Hydrocolloids*, 23, 1596-1601. 2009.
- Lakemond, C. M. M., & van Vliet, T. Rheological properties of acid skim milk gels as affected by the spatial distribution of the structural elements and the interaction forces between them. *International Dairy Journal*, 18, 585-593. 2008.
- Lee, S. K., Huss, M., Klostermeyer, H., & Anema, S. G. The effect of pre-denatured whey proteins on the textural and micro-structural properties of model processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, 32(2), 79-88. 2013.
- Madrigal, L., Sangronis, E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(4), 387-396. 2007.
- Mihulova, M., Vejlupekova, M., Hanušová, J., Štětina, J., & Panovská, Z. Effect of modified whey proteins on texture and sensory quality of processed cheese. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(6), 553-558. 2013.
- Mleko, S., & Foegeding, E. A. Physical properties of rennet casein gels and processed cheese analogs containing whey proteins. *Milchwissenschaft-Milk Science International*, 55, 513-516. 2000.
- Mleko, S., & Foegeding, E. A. Incorporation of polymerized whey proteins into processed cheese analogs. *Milchwissenschaft-Milk Science International*, 56, 612-615. 2001.
- Rodrigues, D., Rocha-Santos, T. A., Gomes, A. M., Goodfellow, B. J., Freitas, A. C. Lipolysis in probiotic and synbiotic cheese: The influence of probiotic bacteria, prebiotic compounds and ripening time on free fatty acid profiles. *Food Chemistry*, 131(4), 1414-1421. 2012.

- Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V., Pirisi, A. Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. *Int. Dairy Journal*, 34, 1–5. 2014.
- Smithers, G. W. Whey and whey proteins—from ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704. 2008
- Souza, S., Pinto, J., Pereira, C., Malcata, F. X., Pacheco, M. B., Gomes, A. M., & Pintado, M. In vitro evaluation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour prebiotic potential. *Food and Bioproducts Processing*, 95, 96-105. 2015.
- Tamime, A. Y. "1 Processed Cheese and Analogues: An Overview." *Processed Cheese and Analogues* 1-24. 2011.
- Thapa, T. B., & Gupta, V. K. Rheology of processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Indian Journal of Dairy Science*, 45, 88-92. 1992.
- Vega, R., & Zuniga-Hansen, M. E. The effect of processing conditions on the stability of fructooligosaccharides in acidic food products. *Food chemistry*, 173, 784-789. 2015.
- Wang, S., Zhu, H., Lu, C., Kang, Z., Luo, Y., Feng, L., Lu, X. Fermented milk supplemented with probiotics and prebiotics can effectively alter the intestinal microbiota and immunity of host animals. *Journal Dairy Science*, 95, 4813–4822. 2012.
- Weiserová, E., Doudová, L., Galiová, L., Zák, L., Michálek, J., Janis, R. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. *International Dairy Journal*, 21, 979-986. 2011.

Evaluación de conocimientos en elaboradores de alimentos sobre riesgos de salud por consumo de sodio

Calliope, Sonia¹; Nieva, Liliana²; Cáceres Silvia²; Sammán, Norma¹

(1) CIITED- CONICET-UNJU- Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
soniroscal@gmail.com; normasamman@gmail.com

(2) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy.
hlnieva14@gmail.com; sinecal@hotmail.com

RESUMEN

La ingesta excesiva de sal se asocia con efectos nocivos para la salud como el aumento de la presión arterial; ésta es la primera causa de muerte y discapacidad en adultos en el mundo. La OMS recomienda una ingesta diaria de sal inferior a 5 g en adultos. Argentina estima un consumo promedio de sal de 12 g/día/persona. El objetivo de este estudio fue evaluar el conocimiento de los elaboradores de alimentos de pequeños establecimientos (artesanales, panaderías, rotiserías, ambulantes) sobre la importancia del consumo de sal y sus implicancias en la elaboración de los alimentos que expenden. Se realizaron encuestas anónimas a elaboradores de alimentos (>18 años) de la localidad de Palpalá y barrios periféricos de Jujuy Capital. Los encuestados reconocieron que la sal no es buena para la salud, la mayoría reconoció la diferencia entre sodio/sal y manifestó su interés por una alimentación sana, sin embargo, el 40% siempre agrega sal en altas cantidades en las comidas que preparan; el 22% de los encuestados no lee las etiquetas de información nutricional de los productos que emplean. Por ello, se sugiere capacitaciones en alimentación saludable y buenas prácticas en la elaboración de los alimentos a responsables de distintos tipos de establecimientos.

Palabras claves: conocimientos - contenido de sodio – riesgos de salud – elaboradores de alimentos

ABSTRACT

Excessive salt intake is associated with harmful health effects such as increased blood pressure; this is the leading cause of death and disability in adults in the world. The WHO recommends a daily salt intake of less than 5 g in adult. Argentina estimates an average salt consumption of 12 g/day/person. The objective of this study was to evaluate the knowledge of food manufacturers in small establishments (artisan products, bakeries, rotisseries, street vendors) about the importance of salt consumption and its implications in the preparation of the food they sell. Anonymous surveys were carried out to food manufacturers (> 18 years old) in the town of Palpalá and outlying neighborhoods of Jujuy Capital. The respondents recognized that salt is not good for health, most recognized the difference between sodium/salt and expressed their interest in a healthy diet, however, 40% always add salt in high amounts in the meals they prepare; 22% of those surveyed do not read the nutritional information labels of the products they use. For this reason, training in healthy eating and good practices in food preparation is suggested of different types of establishments.

Keywords: knowledge - sodium content – health risks - food manufacturers

1. INTRODUCCIÓN

La ingesta excesiva de sodio se asocia con efectos nocivos para la salud como la elevada presión arterial (PA). Ésta eleva el riesgo de sufrir Enfermedades cardiovasculares (ECV) las cuales son la primera causa de muerte y discapacidad en

adultos en Argentina y de la mayor parte de la población mundial, como se puede ver en Fig. 1. Una reducción moderada del consumo de sal induciría una reducción significativa de la presión arterial (Capuccio y col., 2019). Para la

prevención de enfermedades cardiovasculares, la Organización Mundial de la Salud (OMS), recomienda que la ingesta diaria de sodio sea inferior a 2,4 g/persona/día lo cual equivale a 5 g de cloruro de sodio (sal de mesa) para adultos (Organización Mundial de la Salud, 2013).

La Encuesta Nacional de Factores de Riesgo del Ministerio de Salud de Argentina (Ministerio de salud de la Nación, 2019) mostró que el 34,1% de la población adulta es hipertensa y se estima que el consumo promedio de sal por individuo ronda los 12 g/día/persona (Jereb, 2016). El 35% de las muertes cardiovasculares son atribuibles a la hipertensión.

Argentina ha establecido acuerdos voluntarios con empresas basados en el Plan Argentina Saludable del Ministerio de Salud y ha implementado el proyecto “Menos sal más vida” desde 2011, para reducir el uso de sal en productos industrializados y en panaderías artesanales. Luego ha elaborado la Ley 26905 (Promoción de reducción del consumo de sodio en la población, 2019) que establece contenidos máximos de sodio para productos cárnicos y derivados; farináceos, sopas, aderezos y conservas e implementa sanciones para los infractores. Esta ley también regula la inclusión de advertencias sobre los riesgos de consumo excesivo de sal en los envases de alimentos y promueve la eliminación de saleros en las mesas de los restaurantes. Estimaciones del Ministerio de Salud de Argentina indican que 65-70% de la ingesta de sodio proviene de alimentos procesados (Ferrante y col., 2011). Para verificar

si la industria alcanzó los límites técnicos de reducción de sal se realizó un estudio sobre el cumplimiento de los objetivos de reducción de sodio en alimentos industrializados de grupos prioritarios arribando a la conclusión de que éstos se cumplen parcialmente (Calliope y Samman, 2019).

En toda América Latina es habitual la conducta de los consumidores de comprar alimentos fuera del hogar; los productos artesanales de venta callejera constituyen un fenómeno relevante a nivel sociocultural, económico y de salud, y nuestra provincia no escapa a esa realidad. Esta categoría de alimentos son productos no regulados, que dependen de las prácticas y costumbres de los elaboradores, lo que contribuye al desconocimiento de los niveles de sodio que su consumo aporta a la dieta. Las prácticas alimentarias son consecuencias de múltiples dimensiones individuales, socioculturales y económicas, y del aprendizaje acumulado por diferentes generaciones (Vázquez y col., 2012). Conocer la percepción que tienen las personas sobre su consumo diario de sal puede ser útil para el desarrollo de intervenciones orientadas a reducir la ingesta.

Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el conocimiento de los elaboradores de alimentos, incluidos los de venta callejera, sobre consumo de sal, cantidad máxima recomendada como ingesta diaria y la importancia que implica para la salud del consumidor el contenido de sal de los alimentos que ellos elaboran y expenden.

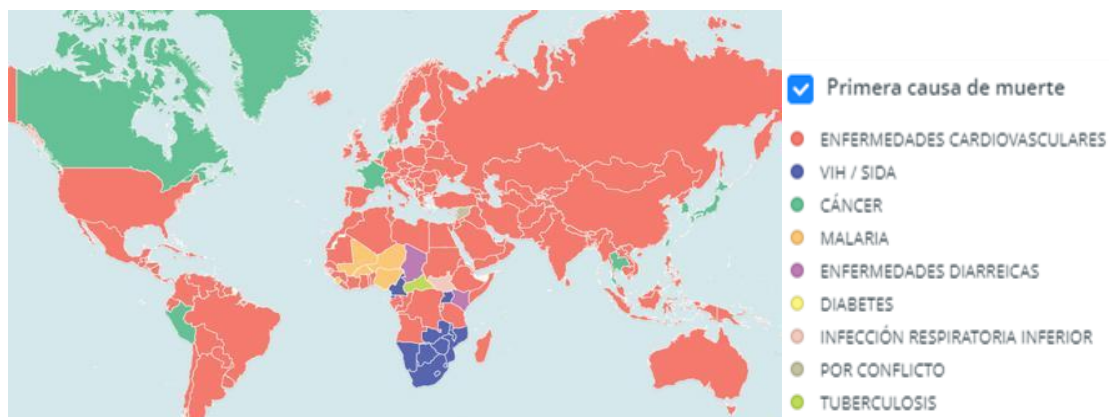


Figura 1. Principales casusas de muerte en distintas regiones del mundo. Fuente: https://www.abc.es/sociedad/abci-morimos-mapa-principales-causas-defuncion-cada-pais-201807160159_noticia.html

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Materiales*

El tipo de muestreo fue por conveniencia, se visitaron los barrios donde existe mayor afluencia de ventas de alimentos. La selección de la muestra fue establecida por aquellos locales que accedieron a la entrevista. Se realizó un estudio descriptivo a través de una encuesta anónima a propietarios/responsables de pequeños establecimientos elaboradores de alimentos (productos artesanales, pequeñas panaderías, rotiserías, elaboradores de sándwiches para ventas ambulantes); todos fueron adultos, mayores de 18 años de la ciudad de Palpalá y alrededores de Jujuy Capital. La encuesta fue diseñada con 5 preguntas de actitud y 9 preguntas de respuestas simples, con el fin de cumplir con los objetivos del estudio. Las variables se encuentran descriptas en tabla 1.

2.2 *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico de las respuestas se utilizó el análisis de correspondencias múltiples (ACM). Las respuestas fueron descriptas a través de frecuencias absolutas porcentuales. Se utilizó el software estadístico InfoStat, 2016.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra el análisis de la estadística descriptiva de la muestra, se describen las variables, categorías y las frecuencias relativas porcentuales. El análisis corresponde a 58 encuestas realizadas; se observó un mayor porcentaje de mujeres entre ellos, la distribución etaria representó el 45 % de jóvenes entre 18 a 30 años. El nivel de educación correspondió principalmente a personas con estudios primarios.

Tabla 1. Estadística Descriptiva

VARIABLE	Categorías	Significado	Código ACM	Frecuencias (%)
Edad	Jóvenes	18-30 años	Jóvenes	45
	Mediana	31-50 años	Mediana	26
	Mayores	51-70 años	Mayores	29
Sexo	Femenino		Femenino	60
	Masculino		Masculino	40
Nivel de educación	Superior		Educ.Sup	17
	Secundario		EducSec	38
	Primario		EducPrim	45
Trata de comer una dieta sana	1	Acuerdo	A-Dietasana	78
	2	Desacuerdo	DietsanaDes	10
	3	Sin respuesta	SietsanaSR	12
Una dieta con alto nivel de sal puede causar problemas graves de salud	1	Acuerdo	Acuerdo	90
	2	Desacuerdo	Desacuerdo	2
	3	Sin respuesta	Sin respuesta	8
Trata de minimizar la cantidad de sal que consume	1	Acuerdo	A-minsal	74
	2	Desacuerdo	desA-minsal	17
	3	Sin respuesta	SR-minsal	9
Hay demasiada presión para comer una dieta saludable actualmente	1	Acuerdo	A-Presion	45
	2	Desacuerdo	desA-Presion	38
	3	Sin respuesta	SRPresion	17
Los alimentos contienen mucha sal	1	Acuerdo	A-alimentoMS	66
	2	Desacuerdo	desA-alimentoMS	26
	3	Sin respuesta	SR-alimentoMS	8
¿Cuántas veces agrega sal Ud. a la	1	Nunca	CVAS-N	22

comida en la mesa?	2	A veces	CVAS-AV	64
	3	A menudo	CVAS-AM	10
	4	Siempre	CVAS-S	4
¿Agrega sal en la preparación de las comidas?	1	Nunca	ASPC-N	14
	2	A veces	ASPC-AV	31
	3	A menudo	ASPC-AM	15
	4	Siempre	ASPC-S	40
¿Cuánta sal piensa Ud. que consume?	1	Demasiado	Consumo-D	26
	2	Justo	Consumo-J	47
	3	Poco	Consumo-P	22
	4	Sin respuesta	Consumo-SR	5
¿Limitar la cantidad de sal o sodio en su dieta, es importante para usted?	1	No	LS-No	9
	2	Algo	LS-A	22
	3	Muy	LS-M	64
	4	Sin respuesta	LS-SR	5
Sabe si existe una cantidad recomendada para el consumo de sal/sodio?	1	Si	RCS-Si	76
	2	No	RCS-No	24
¿Conoce cuál es esa cantidad?	1	Si	Si	35
	2	No	No	65
¿Conoce la diferencia entre sal y sodio?	1	Si	DSS-Si	66
	2	No	DSS-No	29
	3	Sin respuesta	DSS-SR	5
¿Pone atención a los textos en los envases de alimentos como “sin sal agregada”, “bajo en sal” o al rotulado nutricional	1	Siempre	Textos-S	16
	2	A menudo	Textos-AM	10
	3	A veces	Textos-AV	52
	4	No	Textos-No	22

Con respecto a las preguntas de actitud, los encuestados manifestaron mayoritariamente que tratan de comer una dieta sana, estuvieron de acuerdo en que minimizar el contenido de sal en la dieta puede disminuir los riesgos de tener problemas de salud y creen que los alimentos contienen mucha sal. Mientras se observa que solo el 22 % respondió que nunca agrega sal a las comidas en la mesa y 41% si lo hace durante su preparación; aproximadamente la mitad de los encuestados piensa que consume una cantidad justa de sal, y 64% opina que es muy importante limitar el consumo de sal; aun cuando un alto porcentaje conoce que hay una cantidad recomendada de ingesta de sodio por organismos

nacionales e internacionales y conocen la diferencia que existe entre sal/sodio, no saben cuál es esa cantidad. Solo un 16% de ellos pone atención a las etiquetas y rotulado nutricional que se encuentra en los envases de los alimentos. Esto muestra lo variado que son los conocimientos sobre consumo/agregado de sal en alimentos, lo cual sería probablemente producto de falta de difusión y capacitación sobre el tema.

En la Figura 2 se muestran los resultados correspondientes al análisis de correspondencias múltiples para las preguntas de declaración de actitud de acuerdo a la edad, sexo y nivel de estudio.

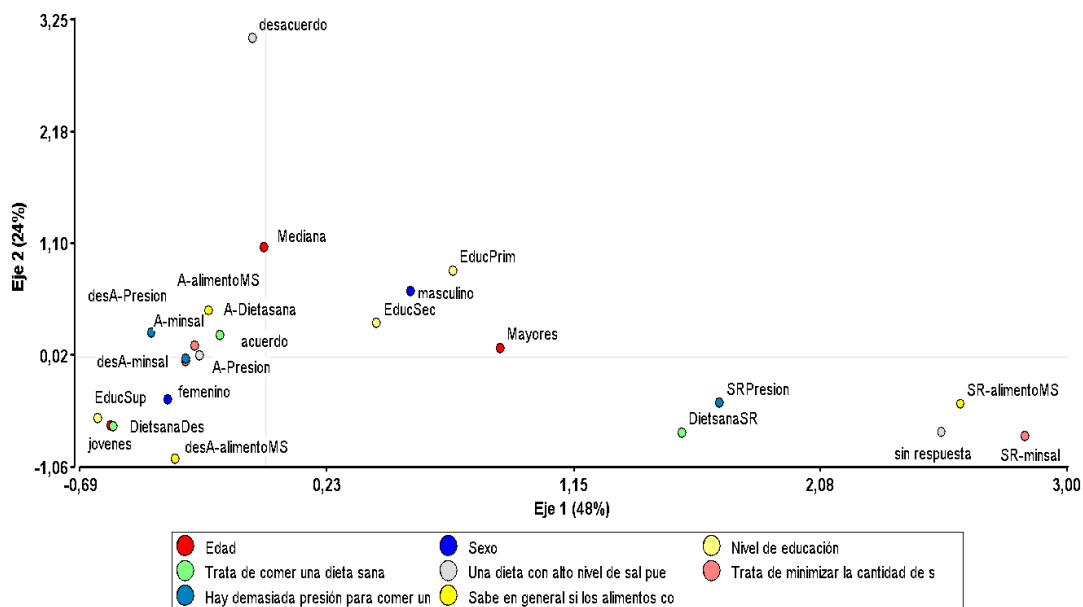


Figura 2. Análisis de correspondencia múltiple para las respuestas de declaración de aptitud.

Se puede observar que las mujeres jóvenes con el nivel de educación más alto declaran estar en desacuerdo con minimizar el consumo de sal, responden que los alimentos no contienen mucha sal, sienten que hay mucha presión por comer una dieta sana y no están de acuerdo con mantenerla. En contraste las mujeres de mediana edad manifiestan estar de acuerdo con mantener una dieta sana, minimizando el consumo de sal, no sienten que haya presión por mantener una dieta saludable y están de acuerdo en que los alimentos contienen mucha sal y que una dieta con alto nivel de sal puede causar graves problemas de salud. Respecto a las mismas preguntas, los hombres mayores optaron por no responder, lo que puede implicar desconocimiento sobre los temas requeridos.

En la Figura 3 se muestran las respuestas de las preguntas 1 a 8, en ella se observa que los hombres de mediana edad manifiestan consumir poca sal, leen los textos de los etiquetados, a veces agregan sal en la preparación de las comidas, pero no saben si existe una cantidad recomendada de sal, desconocen la diferencia entre sal y sodio y no responden la pregunta si es importante limitar la cantidad de sal. Por otro lado, los hombres mayores manifestaron que no es importante limitar la cantidad de sal en la dieta, aunque mencionaron que nunca agregan sal durante la preparación de las comidas ni en la comida terminada. En este caso los hombres

demuestran tener ciertos cuidados, pero una vez más, reflejan desconocimiento del tema ingesta de sal y salud.

Mientras que las mujeres de mediana edad, señalan mayor atención, ya que a menudo leen los textos de las etiquetas, les parece muy importante limitar la cantidad de sal en la dieta, aunque contrariamente, siempre agregan sal en la preparación de las comidas y a veces en la comida terminada. En cambio, las mujeres más jóvenes, admiten consumir demasiada sal, a menudo agregan sal a la comida terminada, reconocen la diferencia entre sal y sodio y saben que existe una cantidad recomendada.

Este análisis es importante ya que refleja que los elaboradores de alimentos mediana edad, prestan más atención a cuestiones de salud, los mayores probablemente lo hacen por recomendaciones médicas, y los más jóvenes directamente no tienen cuidados, lo cual pondría de manifiesto que no puedan aplicarlo con la seriedad que requiere el elaborar alimentos, lo que lleva a reflexionar que es necesario afianzar estos conocimientos.

En las respuestas encontradas llama la atención que aun conociendo que la sal no es buena para la salud, el 40% de los encuestados aceptaron que agregan siempre sal en la preparación de las comidas, sabiendo que muchos ingredientes tienen altos contenidos de sal y que solo el 16% pone atención a los textos de los envases, por lo tanto, se puede concluir que no es claro que

utilicen la información para elegir alimentos más saludables. Si bien, las personas encuestadas manifestaron una preocupación generalizada por una alimentación sana, el porcentaje de quienes se interesan por conocer el contenido de sodio de los

alimentos procesados leyendo las etiquetas de los envases, es bajo.

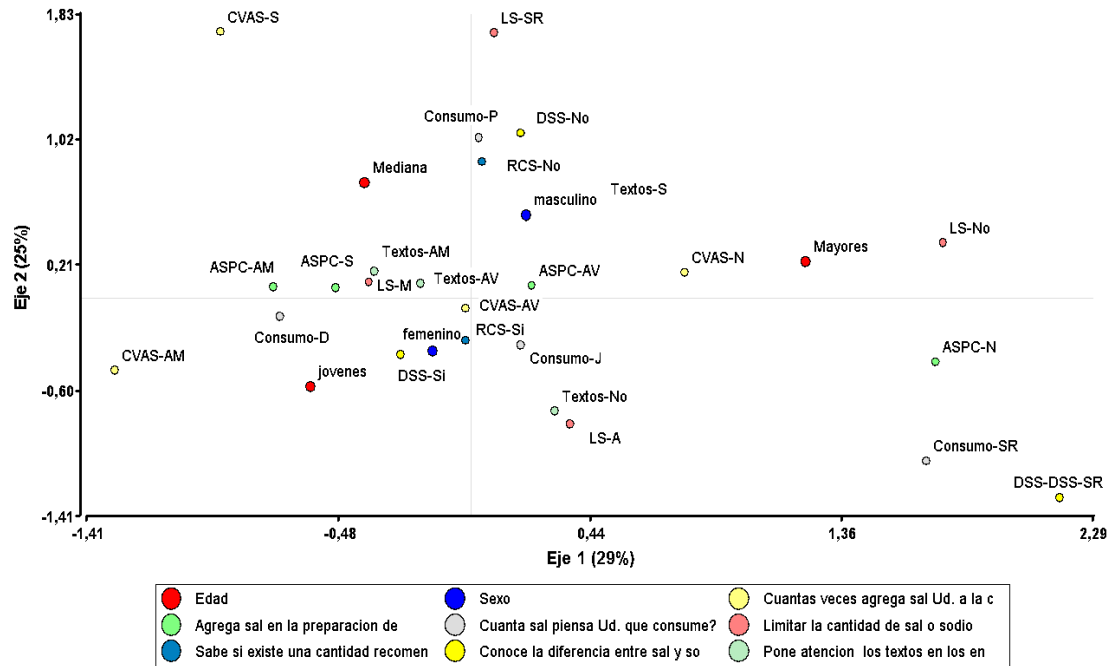


Figura 3. Análisis de correspondencia múltiple para preguntas 1 a 8

Este es un punto relevante, porque los elaboradores de alimentos deben ser los principales conocedores de las legislaciones alimentarias vigentes y las propuestas a nivel salud generados por la OMS y la adhesión a ellas de la Argentina. Este estudio muestra la necesidad de impulsar campañas de información para la lectura y comprensión del etiquetado. Difundir más sobre las normas vigentes y asegurar un mínimo nivel de instrucción en materia de educación alimentaria. En la Figura 4 se muestra las respuestas sobre la frecuencia de venta/distribución de los productos que elaboran y expenden. Como se observa el porcentaje de

respuestas demuestra que este tipo de productos se vende todos los días, lo cual indicaría que estos alimentos pueden llegar a ser grandes aportadores de sal a la ingesta diaria. De las respuestas anteriores se concluye que, en general, los elaboradores/expendedores de estos tipos de establecimientos, no toman conciencia sobre este tema. No consideran que el agregado de sal en los productos que distribuyen y/o venden pueden ser perjudiciales para la salud. Por tanto, es de especial interés que estos alimentos sean tomados en cuenta para desarrollar políticas públicas relacionadas con la reducción de sodio.

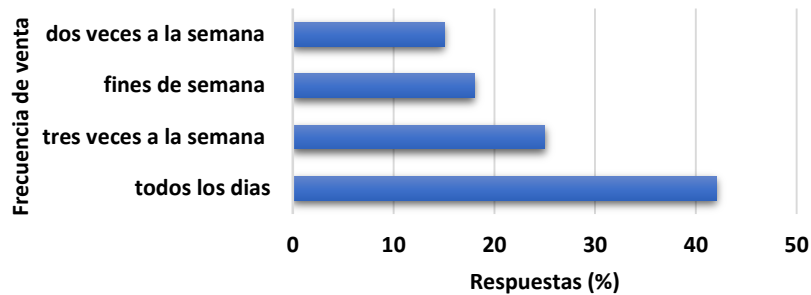


Figura 4. Frecuencia de venta de los alimentos que expenden (pregunta 9)

La adquisición de alimentos fuera de casa en América Latina, ya es una actividad culturalmente establecida, por lo que es prioritario constituir acciones que también controlen este tipo de alimentos. La reducción de sodio es un objetivo de salud pública, Argentina debe promover la implementación de políticas de reducción de sodio en otras categorías de alimentos, como los de restaurantes, ventas callejeras, artesanales y otras, ampliando la lista de alimentos promulgados por ley y no limitándose solo a los alimentos industriales.

4. CONCLUSIONES

El estudio mostró que la mayoría de los encuestados tiene interés por una alimentación sana. Sin embargo, poco conocen sobre la ingesta máxima de sodio recomendada y los riesgos para la salud que implica su consumo excesivo.

Reconocen la diferencia entre sal y sodio, pero no restringen ni controlan la cantidad agregada en los productos que elaboran. Pocos usan los letreros de los envases y el rotulado nutricional al elegir los insumos.

El aporte de estos alimentos a la ingesta diaria puede ser muy elevada, por la alta frecuencia de venta informada en las encuestas.

Esto demuestra que es necesario concientizar a los elaboradores de este tipo de alimentos sobre la importancia para la salud de reducir la cantidad de sodio que agregan y a contribuir a la disminución su consumo.

Considerando que la Organización Mundial de la Salud declara que es fundamental priorizar la formación del personal manipulador de alimentos con un enfoque basado en prevención de enfermedades transmitidas por los alimentos y considerando la Resolución Conjunta 12/2019 del

Ministerio de Regulación y Gestión de Salud y la Secretaría de Alimentación y Bioeconomía de la Nación, la cual establece que toda persona esté en contacto con alimentos debe completar y aprobar un curso de formación sobre manipulación segura de alimentos, se propone la necesidad de ampliar el concepto y establecer que los manipuladores de alimentos deban también recibir formación en aspectos básicos de alimentación, nutrición y salud.

5. AGRADECIMIENTOS

Al CITED -UNJu- CONICET, a las Facultades de Ingeniería por prestar sus instalaciones y de Ciencias Agrarias por los recursos humanos para la realización de las encuestas.

6. REFERENCIAS

- Calliope, S., Samman, N. Contenido de sodio en alimentos consumidos por argentinos: Monitoreo del cumplimiento de acuerdos, en etiquetas y muestras. *Journal Food Composition and Analysis*. 83, 103289, 2019.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., Robledo, C. Grupo InfoStat Córdoba, Argentina, [http://www.infostat.com.ar] 2016.
- Ferrante, D., Apro, N., Ferreira, V., Virgolini, M., Aguilar, V., Sosa, M., Perel, P., Casas, J. Viabilidad de la reducción de sal en alimentos procesados en Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 29, 69–75, 2011.
- Jereb, S. Consumo de sodio en la dieta argentino promedio y su relación con la Hipertensión Arterial. Incidencia de los alimentos, aguas y bebidas. *Diaeta*, 34, 29–31, 2016.

LEY 26.905. Promoción de la reducción del consumo de sodio en la población, Buenos Aires. 2013. Disponible en línea: <http://test.e-legis->

ar.msal.gov.ar/leisref/public/showAct.php?id=2097 (consultado el 12 de julio de 2019).

Ministerio de Salud de la Nación. Tercera Encuesta Nacional de Factores de Riesgo Para Enfermedades no Transmisibles (ENFR) 2013. Disponible en línea: http://www.msal.gov.ar/images/stories/bes/graficos/0000000544cnt-2014-09_3er-encuesta-nacional-factores-riesgo.pdf

(consultado el 10 de mayo de 2019).

Resolución Conjunta 12/2019. Secretaría de Regulación y Gestión Sanitaria y Secretaría de Alimentos y Bioeconomía. Disponible en: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/206649/20190430> (acceso 25 de agosto de 2020).

Vázquez, S.; Lema, R.; Silvia, N.; Contarini, C.; Kenten, C. Sal y salud, el punto de vista del consumidor argentino obtenido por la técnica de grupos focales. *Revista Chilena de Nutrición*, 39, 182–190, 2012.

Modelado por homología de la enzima beta-galactosidasa de bacterias lácticas de interés biotecnológico

Gómez, Jorge N.^{1,3}; Carol, Juan J.^{1,3}; Sesín, Abraham A.^{1,3}; Ledesma, Ana E.^{1,2} y Bustos, Ana Y.^{1,3}

(1) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-UNSE-CONICET), RN 9- Km 1125, (4206) Santiago del Estero, Argentina.

nicolasgoib@gmail.com; carolpazjuanjose@gmail.com; abrahamsesin97@gmail.com

(2) Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano Sur 1912, (4200) Santiago del Estero, Argentina.

anael@unse.edu.ar

(3) Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA), Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano Sur 1912, (4200) Santiago del Estero, Argentina

abustos@uspt.edu.ar

RESUMEN

Las β -galactosidasas son enzimas ampliamente distribuidas, que presentan importantes aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y clínica. Sin embargo, a pesar de su potencial, la falta de datos estructurales ha obstaculizado el diseño de variantes mejoradas para ampliar su campo de aplicación. Por ello, el objetivo de este trabajo fue construir modelos tridimensionales de las enzimas β -galactosidasas de tres cepas de lactobacilos probióticos empleando modelado por homología. Asimismo, se realizaron alineamientos múltiples y construcción de árboles filogenéticos para profundizar en el estudio de las enzimas. Los modelos teóricos se crearon con el servidor SWISS MODEL utilizando la enzima β -galactosidasa de *Thermotoga maritima* como plantilla. Las enzimas obtenidas fueron validadas empleando los servidores Verify3D y PROCHECK, obteniéndose alta compatibilidad entre el modelo atómico y su secuencia de aminoácidos. Las estructuras secundarias de las tres enzimas, calculadas mediante el programa PyMOL, presentaron predominio de estructura desordenada. Además, mediante alineamiento de secuencias se observó que los residuos catalíticamente activos se conservan en las tres enzimas.

Los modelos 3D obtenidos y optimizados, serán de utilidad para profundizar en el conocimiento de la enzima mediante estudios de acomplamiento molecular y para futuras investigaciones en el campo de la ingeniería enzimática.

ABSTRACT

β -Galactosidases are widely distributed enzymes with important applications in the food, pharmaceutical and clinical industries. However, despite its potential, the lack of structural data has hampered the design of improved variants to broaden their field of application. Therefore, the objective of this work was to construct three-dimensional models of the β -galactosidase enzymes of three strains of probiotic lactobacilli using homology modeling. Likewise, multiple alignments and construction of phylogenetic trees were carried out to deepen the study of enzymes. The theoretical models were created with the Swiss model server using the enzyme β -galactosidase from *Thermotoga maritima* as a template. The enzymes obtained were validated using the Verify3D and PROCHECK servers, obtaining high compatibility between the atomic model and its amino acid sequence. The secondary structures of the three enzymes, calculated using the Pymol program, presented a predominance of disordered structure. Furthermore, sequence alignment showed that the catalytically active residues are conserved in the three enzymes. The 3D models obtained and optimized will be useful to deepen the knowledge of the enzyme through molecular docking studies and for future research in the field of enzymatic engineering.

Palabras claves: beta-galactosidasa- bacterias lácticas- modelado molecular

Keywords: beta-galactosidase- lactic acid bacteria- molecular modelling

1. INTRODUCCIÓN

Las β -galactosidasas (EC 3.2.1.23) son enzimas que catalizan la hidrólisis de los enlaces β (1-3) y β (1-4) de β -galactósidos en sus monosacáridos correspondientes. El β -galactósido más común es la lactosa, un disacárido formado por galactosa y glucosa unidas por enlace β 1,4 (Vukić 2015). Por ello, esta actividad es muy valiosa para la producción de alimentos lácteos fermentados, teniendo en cuenta que se estima que el 70% de la población mundial es intolerante a la lactosa (Chen 2008). Además, las actividades de transgalactosilación de las β -galactosidasas tienen aplicaciones en la producción de sustancias tales como galacto-oligosacáridos (GOS). Estos compuestos pueden estimular el crecimiento de cepas beneficiosas en el tracto digestivo del hospedador, condición conocida como prebiótica. Las enzimas β -galactosidasa también son importantes en la síntesis comercial de lactulosa, un aditivo alimentario con aplicaciones farmacéuticas (Tang 2011).

Si bien estas enzimas fueron identificadas y purificadas a partir de diversas fuentes como plantas, animales y microorganismos, las aisladas a partir de bacterias lácticas resultan de especial interés debido a que la mayoría puede considerarse de grado alimentario (status GRAS). Para potenciar sus aplicaciones en diversos campos, el conocimiento de la estructura tridimensional de esta enzima resulta muy valioso. Sin embargo, la determinación experimental de las estructuras de proteínas es una tarea compleja y presenta numerosos problemas técnicos. En efecto, en la actualidad se disponen de muy pocas estructuras 3-D de enzimas β -galactosidasa, algunas de *Escherichia coli* y sólo una del género *Lactobacillus* (*L.*), perteneciente a la cepa *L. plantarum* CECT 748 (Acebrón 2017; Juers 2001).

Por lo tanto, a pesar de su potencial, la falta de datos estructurales ha obstaculizado el diseño de variantes mejoradas de β -galactosidasa para ampliar su campo de aplicación. Por ello, en la actualidad se han desarrollado valiosas estrategias computacionales tales como el modelado por homología de proteínas para lograr dilucidar la estructura de las macromoléculas biológicas.

Para comenzar a abordar este problema, el objetivo del presente trabajo fue construir modelos moleculares de β -galactosidasas pertenecientes a tres cepas lácticas de interés biotecnológico empleando modelado por homología. Además, se aplicaron técnicas bioinformáticas como alineamientos múltiples y construcción de un árbol filogenético de diversas enzimas disponibles en bases de datos.

Los modelos 3D obtenidos serán de utilidad para profundizar en el conocimiento de estas valiosas enzimas mediante estudios de acoplamiento molecular y pueden servir como guía para futuras investigaciones en el campo de la mutagénesis dirigida, entre otras aplicaciones relacionadas con la ingeniería enzimática.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Construcción del árbol filogenético de enzimas beta-galactosidasas

Las secuencias de aminoácidos de enzimas beta-galactosidasas de bacterias lácticas se recuperaron del Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Se utilizó la herramienta *NCBI Blast* para identificar y analizar las secuencias de interés. Se seleccionaron un total de 19 secuencias; 13 de *Lactobacillus* y 6 de géneros relacionados. Se realizó un alineamiento múltiple con el programa *ClustalW* del software *MEGA X*. El árbol filogenético se construyó con el método probabilístico de máxima verosimilitud y su validación con el método bootstrap.

2.2 Construcción de los modelos tridimensionales

Se generaron modelos de enzimas beta-galactosidasas pertenecientes a las cepas lácticas *L. reuteri* L103, *L. sakei* Lb790, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* DSM 20081, seleccionadas por sus potenciales propiedades probióticas. Las enzimas se encuentran caracterizadas bioquímicamente y esta información ayudó a generar estructuras más representativas (Nguyen 2006; Iqbal 2011; Nguyen 2012). Los modelos

teóricos se crearon con el servidor Swiss model (<https://swissmodel.expasy.org/>) utilizando como plantilla (“target”) la enzima β-galactosidasas de *Thermotoga maritima* que presentó un porcentaje de identidad >30% y el mejor QMEAN. Las salidas de los modelos generados se descargaron como archivos pdb para su posterior análisis, optimización y visualización utilizando el programa PyMOL. Posteriormente, los modelos fueron validados utilizando los servidores Verify3D (Lüthy 1992) y PROCHECK (Laskowski,1993).

3 RESULTADOS

3.1 Análisis filogenético

Un árbol filogenético es un diagrama que representa relaciones evolutivas. Son hipótesis, que reflejan cómo las especies u otros grupos evolucionaron a partir de una serie de ancestros comunes. Con el objeto de establecer estas relaciones evolutivas, se realizó un análisis de agrupamiento en enzimas β-galactosidasa de diecinueve cepas microbianas que incluyó trece del género *Lactobacillus* (Fig. 1).

Las salidas del alineamiento local mostraron un patrón repetitivo de especies para la mayoría de los *Lactobacillus*. Las seis secuencias más frecuentes corresponden a los siguientes organismos de referencia: *B. circulans supsp. alcalophilus* (3TTS), *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* (5XBT), *Geobacillus stearothermophilus* (4JOY), *E. coli k-12* (6CVM), *Rahnella sp R3* (5E9A) y *Thermotoga maritima* (6S6Z), con porcentajes de identidad entre el 30 y 60 %.

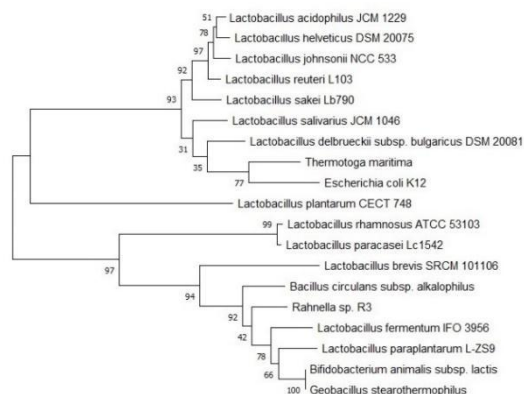


Figura 1: Árbol filogenético de secuencias para la enzima β-galactosidasa de 19 cepas microbianas.

Según su topología, el árbol construido se caracteriza por ser escalonado, no enraizado y con nodos bifurcados. Es importante destacar que ninguna de las 13 secuencias alineadas es homóloga con la única β-galactosidasa del género *Lactobacillus* cristalizada y que corresponde a la cepa *L. plantarum* CECT 748 (5NAQ). Según se observa, la cepa CECT 748 diverge temprano del resto de *Lactobacillus*. En general, se observa que especies estrechamente relacionadas no siempre comparten secuencias similares y esta filogenia distante sugiere que pudo haber ocurrido una transferencia horizontal de genes entre especies. Sin embargo, se requieren más análisis para corroborar estas hipótesis y obtener relaciones filogenéticas detalladas.

3.2 Predicción y validación de las estructuras tridimensionales de beta-galactosidasas de Lactobacillus

Las enzimas β-galactosidasas se han identificado y caracterizado a partir de organismos muy diversos. Sin embargo, aún en la actualidad, la información estructural de enzimas de cepas lácticas, es escasa. Dado que las estructuras cristalinas de β-galactosidasas de *L. reuteri* L103, *L. sakei* Lb790 y *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* DSM 20081 no están disponibles, se construyeron modelos de homología empleando el servidor SWISS-MODEL. Los resultados obtenidos para todas las secuencias indican que tienen un elevado porcentaje de identidad con su enzima homóloga de *Thermotoga maritima* (ID de PDB: 6S6Z). Para *L. reuteri* L103 se obtuvo un 37,71% de identidad (Fig. 2), para *L. sakei* Lb790 un porcentaje de 36,92% (Fig. 3), mientras que *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* DSM 20081 mostró un 33,33 % de identidad (Fig. 4). La enzima β-galactosidasa de *L. plantarum* CECT 748 fue evaluada como plantilla potencial, sin embargo, no resultó apropiada. En efecto, la enzima es un heterodímero del tipo *lacLM*, que consta de una subunidad pequeña (M) de 35 kDa y una subunidad grande (L) de 72 kDa de 477 aminoácidos que difiere significativamente de las de los microorganismos en estudio (Iqbal 2010).



Figura 2: Estructura 3D de β -galactosidasa para *L. reuteri* L103 (verde) comparada con *Thermotoga maritima* (blanco).

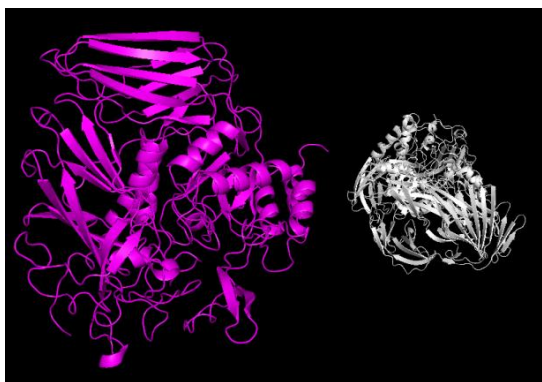


Figura 3: Estructura 3D de β -galactosidasa para *L. sakei* Lb790 (rosa) comparada con *Thermotoga maritima* (blanco).

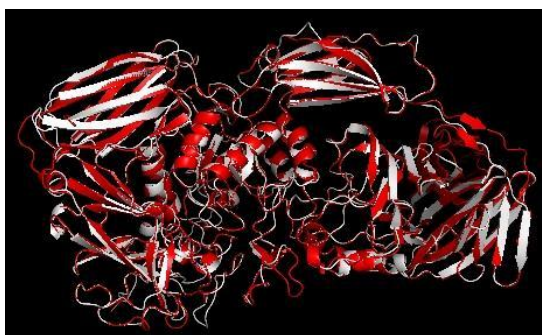


Figura 4: Estructura 3D de β -galactosidasa para *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* DSM 20081 (rojo) comparada con *Thermotoga maritima* (blanco).

El factor de calidad de los residuos del modelo de β -galactosidasa para los *Lactobacillus* fue evaluado por el servidor Verify3D. Este servidor determina la compatibilidad de un modelo atómico (3D) con su propia secuencia de

aminoácidos (1D) asignando una clase estructural en función de su ubicación y entorno (alfa, beta, bucle, polar, no polar, etc.) y comparando los resultados con buenas estructuras. Los resultados presentados en la Tabla 1, indican una buena puntuación, lo que sugiere una alta compatibilidad del modelo atómico (3D) con su secuencia de aminoácidos (1D) (Lüthy 1992).

La validación del modelo utilizando el diagrama de Ramachandran disponible con el servidor PROCHECK reveló que el porcentaje de los residuos de β -galactosidasa se encontraban en las regiones más favorecidas (Laskowski 1993).

El factor G proporciona una medida de la normalidad de la propiedad estereoquímica de un modelo de proteína. Los valores por debajo de -0.5 muestran una propiedad estereoquímica inusual mientras que los valores por debajo de -1.0 muestran una propiedad muy inusual. Dado que el valor de G obtenido para el modelo predicho en el presente estudio no es inferior a -0.5, sugiere una calidad satisfactoria. (Ramesh 2020)

Tabla 1. Validación estructural de los modelos tridimensionales.

Organismo	Calidad (%)	Ramachandran plot (%)	Factor G
<i>L. reuteri</i> L103	87,74	84,2	-0,26
<i>L. sakei</i> Lb790	82,72	86,0	-0,19
<i>L. delbrueckii</i> DSM 20081	86,51	88,2	-0,22

* Evaluado con Verify3D, score ≥ 0.2 .

3.3 Modelado molecular comparativo y análisis de enzimas β -galactosidasa

Las enzimas beta-galactosidasas de *L. reuteri* L103 y *L. sakei* Lb790 son heterodímeros codificados por dos genes cromosomales parcialmente superpuestos *lacL* (subunidad larga) y *lacM* (subunidad pequeña) (Tabla 2); donde el sitio activo se encuentra en la subunidad mayor. Las tres enzimas modeladas pertenecen a la gran familia de las GH2 que al igual que las de la familia GH1 presentan como sustrato natural la

la mutagénesis dirigida, entre otras aplicaciones relacionadas con la ingeniería enzimática.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue soportado con fondos de un proyecto N° 23/C147 (Consejo de Investigaciones, Universidad Nacional de Santiago del Estero).

6 REFERENCIAS

- Acebrón, I., Plaza-Vinuesa, L., de las Rivas, B., Muñoz, R., Cumella, J., Sánchez-Sancho, F., & Mancheño, J. M., Structural basis of the substrate specificity and instability in solution of a glycosidase from *Lactobacillus plantarum*, *Biochimica et Biophysica Acta - Proteins and Proteomics*, 1865(10), 1227–1236, 2017.
- Chen, W., Chen, H., Xia, Y., Zhao, J., Tian, F., Zhang, H., Production, purification, and characterization of a potential thermostable galactosidase for milk lactose hydrolysis from *Bacillus stearothermophilus*, *Dairy Sci.* 91, 1751–1758, 2008.
- Iqbal, S., Nguyen, T. H., Nguyen, T. T., Maischberger, T., & Haltrich, D., β -galactosidase from *Lactobacillus plantarum* WCFS1: Biochemical characterization and formation of prebiotic galacto-oligosaccharides. *Carbohydrate Research*, 345(10), 1408–1416, 2010.
- Juers, D. H., Matthews, B. W., Huber, R. E. LacZ β -galactosidase: Structure and function of an enzyme of historical and molecular biological importance. *Protein Science*, 21(12), 1792–1807, 2012.
- Juers, D.H., Heightman, T.D., Vasella, A., Mccarter, J.D., Mackenzie, L., Withers, S.G., Matthews, B.W., A structural view of the action of *Escherichia coli* (lacZ) β -Galactosidase. *Biochemistry*, 40, 14781–14794, 2001.
- Laskowski, R., MacArthur, M. PROCHECK: a program to check the stereochemical quality of protein structures. <https://doi.org/10.1107/S0021889892009944>. 1993.
- Lüthy, R., Bowie, James, U., Eisenberg, D. Assessment of protein models with three-dimensional profiles. *Nature*, 356, 1992.
- Mothay, D., Ramesh, K. V. Binding site analysis of potential protease inhibitors of COVID-19 using AutoDock. *VirusDisease*, 31(2), 194–199, 2020.
- Nguyen, T. T., Nguyen, H. A., Arreola, S. L., Mlynek, G., Djinović-Carugo, K., Mathiesen, G., Nguyen, T. H., & Haltrich, D., Homodimeric β -galactosidase from *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* DSM 20081: Expression in *Lactobacillus plantarum* and biochemical characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(7), 1713–1721, 2012.
- Talens-Perales, D., Polaina, J., Marín-Navarro, J. Structural dissection of the active site of *Thermotoga maritima* β -galactosidase identifies key residues for transglycosylating activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 14, 2917–2924.
- Tang, L., Li, Z.A., Dong, Yang, R.J., Zhang, J.H., Mao, Z, Lactulose biosynthesis by beta-galactosidase from a newly isolated *Arthrobacter* sp, *Biotechnology*, 38:471–476, 2011.
- Vukić V, Hrnjez D., Milanović S., Iličić M., Kanurić K., Petri E., Modeling and Docking Analysis of β -galactosidase Enzymes from Commercially Important Starter Cultures Used in the Dairy Industry, *Food Biotechnology*, 29:248–262, 2015

Estimación de la vida útil de rúcula tratada con UV-C y ozono a través del ajuste a modelos matemáticos de parámetros críticos

Gutiérrez, Diego R.^{1,2}; Lemos Laura^{1,2}; Farías Mariana^{1,2} y Rodríguez, Silvia del C.^{1,2}

(1) Grupo Conservación de Alimentos Vegetales-CIBAAL-CONICET-UNSE. RN 9 Km 1125. El Zanjón. (CP 4206) - Santiago del Estero. Argentina.

(2) ICyTA. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero-Argentina.

diegorgutierrez@hotmail.com

RESUMEN

Se aplicaron tratamientos de UV-C (10, 20 y 50 kJ/m²) y ozono gaseoso (1, 2 y 5 ppm) a hojas de rúcula mínimamente procesada y se estimó la vida útil a través del ajuste a modelos matemáticos de la evolución de parámetros críticos para la calidad, tales como recuentos microbianos, contenido de ácido ascórbico y cambios sensoriales. Muestras sin tratar se consideraron como control. La estimación de la vida útil sensorial coincidió con los datos experimentales y los tratamientos con UV-C (10 y 20 kJ/m²) y O₃ (1, 2 y 5 ppm) permitieron mantener su calidad hasta 12 días a 5 °C, mientras que el tratamiento de 50 kJ/m² sólo hasta 8 días. El control y los tratamientos con UV-C y O₃ presentaron velocidades de deterioro de ácido ascórbico similares y las estimaciones de la vida útil fueron entre 8 y 9 días. Los tratamientos con UV-C y O₃ tuvieron un efecto significativo en la reducción de los microorganismos presentes en la rúcula. La aplicación de 20 kJ UV-C/m² o 2 ppm O₃ podrían ser una alternativa como agente sanitizante para implementarlo en el proceso de elaboración de rúcula cortada mínimamente procesada, conservando la calidad global poscosecha.

ABSTRACT

UV-C (10, 20 and 50 kJ / m²) and gaseous ozone (1, 2 and 5 ppm) treatments were applied to minimally processed rocket leaves and the shelf life was estimated through adjustment to mathematical models of evolution of critical quality parameters such as microbial counts, ascorbic acid content and sensory changes. Untreated samples were considered as controls. The estimation of the sensory shelf life coincided with the experimental data and the treatments with UV-C (10 and 20 kJ / m²) and O₃ (1, 2 and 5 ppm) allowed to maintain its quality up to 12 days, while the treatment of 50 kJ / m² only up to 8 days. The control and treatments with UV-C and O₃ showed similar rates of deterioration of ascorbic acid and the estimates of the shelf life were between 8 and 9 days. UV-C and O₃ treatments had a better effect on reducing the microorganisms present in rocket. Therefore, the application of 20 kJ UV-C / m² or 2 ppm O₃ could be an alternative as a sanitizing agent to implement it in the production process of minimally processed cut rocket, preserving the overall postharvest quality.

Palabras clave: rúcula - procesamiento mínimo – modelado - conservación.

Keywords: rocket - minimally processing – modeling - conservation.

1 INTRODUCCIÓN

En la última década, el consumo de frutas y hortalizas mínimamente procesadas aumentó debido a un mayor interés por las dietas saludables y nutritivas y los cambios en el estilo de vida de los consumidores (Fagundes et al., 2015). La rúcula (*Eruca sativa*) es ampliamente

comercializada como ensalada fresca o como parte de ensaladas mixtas en los países mediterráneos y también en Argentina y se distingue por su sabor único y ligeramente picante (Char et al., 2012). Su principal problema en la poscosecha, es que presenta una senescencia

rápida, manifestándose por el amarillamiento de sus hojas debido a la degradación de la clorofila, restringiendo su comercialización (Gutiérrez et al., 2018). Por tanto, es necesario encontrar tecnologías poscosecha para mejorar y prolongar la conservación de estos productos. Entre las nuevas tecnologías, tratamientos con bajas dosis de UV-C pueden ser efectivos debido a que retrasan la maduración, no producen contaminación y extienden la vida útil de diferentes frutas y hortalizas frescas (Gutiérrez et al., 2018). Manzocco et al. (2011) informaron que el efecto antimicrobiano de la luz UV-C se debe a su capacidad para dañar el ADN microbiano, provocando el entrecruzamiento entre tiamina y citosina de la misma cadena de ADN. Estudios han informado que la luz UV-C inhibió el crecimiento microbiano, retardó el desarrollo y la senescencia de frutillas (Erkan et al., 2008), ananá (Pan y Zu 2012), brocoli (Martínez-Hernández et al., 2011), melón cortado (Manzocco et al., 2011) y rúcula (Gutiérrez et al., 2015), entre otros. Además, para que la aplicación de UV-C como agente sanitizante, sea factible, es necesario que además de inhibir o retardar el crecimiento microbiano no cause cambios de calidad indeseables en el producto final (Manzocco et al., 2011).

El ozono (O_3) es otra tecnología que tiene un alto interés para ser utilizada como agente desinfectante en productos vegetales (Ong et al., 2014). El ozono se descompone rápidamente en oxígeno y no deja residuos tóxicos, lo que lo hace atractivo y útil para la industria alimentaria (Karaca y Velioglu, 2014). Se han realizado varios estudios sobre la capacidad antimicrobiana del ozono y sus efectos sobre la calidad de diferentes productos como la papaya (Ong et al. 2014), lechuga y espinaca (Karaca y Velioglu, 2014), melón recién cortado (Botondi et al., 2016) y manzana recién cortada (Liu et al., 2016).

El objetivo de este trabajo fue estimar la vida útil de rúcula mínimamente procesada tratada con UV-C y Ozono a través de ajustes a modelos matemáticos de la evolución de parámetros considerados como críticos para su conservación.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de las muestras

Las hojas de rúcula fueron provistas por un productor local de Santiago del Estero, Argentina.

Inmediatamente después de la cosecha, las hojas se transportaron al laboratorio donde fueron procesadas a 16 °C. Las hojas que presentaban defectos como daños físicos, amarillamiento o deshidratadas fueron desechadas. Posteriormente, las hojas seleccionadas fueron lavadas con agua potable durante 1 min y escurridas sobre una malla de acero inoxidable. Las hojas se cortaron en tiras de 20 mm y luego se lavaron nuevamente con agua durante 2 min a 5 °C. El exceso de agua se eliminó usando una centrifuga manual y posteriormente se aplicaron los tratamientos con luz UV-C (10, 20 y 50 kJ/m²) y O_3 (1, 2 y 5 ppm), de acuerdo a lo descrito por Gutiérrez et al. (2018). El tiempo transcurrido desde la cosecha hasta el procesamiento con O_3 o UV-C fue menor a 2 h. Para cada tratamiento, 60 g de hojas cortadas se envasaron en bolsas selladas de polipropileno (PP) de 35 μ m de espesor. Como control, se almacenaron muestras sin tratar y envasadas con el mismo film. Todas las muestras se conservaron por 12 días a 5 °C. Se prepararon al menos tres muestras por cada tratamiento y tiempo de muestreo y los diferentes parámetros analizados se realizaron en los días 1, 4, 8 y 12 de almacenamiento.

2.2 Análisis Sensorial

Un panel entrenado de diez jueces realizó la evaluación sensorial de las muestras en los días 1, 4, 8 y 12 de almacenamiento. Se usaron escalas lineales continuas de 9 cm, ancladas en los extremos para asignar puntajes del 1 al 9 para apariencia general y desarrollo de podredumbres (decay) de la siguiente manera: 9 = excelente, 7 = bueno, 5 = aceptable (límite de aceptabilidad), 3 = pobre y 1 = extremadamente pobre. El color y el olor se evaluaron mediante una escala de 5 puntos, correspondiendo para el primero, 5 (verde) a 1 (amarillo), mientras que para el segundo, 5 (fresco o característico) a 1 (olores extraños intensos), siendo el límite establecido para la comercialización el valor de 3, como lo indica Gutiérrez et al. (2016).

2.3 Ajuste de modelos matemáticos a datos experimentales (AMMDE) de la evolución de cambios en atributos de calidad sensorial durante el almacenamiento.

La siguiente ecuación general (1) se utilizó para

describir la velocidad de cambios en atributos de calidad de alimentos:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kq[Q]^n \quad (1)$$

Donde Q representa al atributo de calidad evaluado, t al tiempo de almacenamiento, n el orden de reacción y kq es la constante de reacción para el atributo Q. El signo positivo corresponde a atributos cuyos valores se incrementan en el tiempo y el signo negativo a atributos con valores decrecientes (como es el caso de los atributos apariencia general, color y olor) (Piagentini et al., 2005). La mayoría de las reacciones que han sido estudiadas sobre deterioro de alimentos, se caracterizan por tener una cinética de orden cero o primer orden. Así, al aplicar el método integral a la ecuación anterior, se obtienen las ecuaciones correspondientes a estas cinéticas de reacción (Labuza, 2000).

La expresión correspondiente a la cinética de orden cero (n = 0) se representa en la ecuación 2:

$$Q = Q_0 - kq.t \quad (2)$$

Cuando la cinética es de primer orden (n = 1) la expresión que se obtiene es la representada por la ecuación 3:

$$\ln \ln \left(\frac{Q}{Q_0} \right) = -kq.t \quad (3)$$

Para determinar la cinética de reacción de cada parámetro, se llevó a cabo un análisis de regresión a partir de los datos experimentales obtenidos para cada tratamiento. Se seleccionó el modelo más adecuado, analizando el coeficiente de determinación R^2 en cada caso. Finalmente, los modelos obtenidos para cada parámetro evaluado se utilizaron para estimar la vida útil (VU) de la rúcula sometida a los diferentes tratamientos (UV-C y O_3), considerando la VU como el tiempo a partir del cual el atributo en particular excede el valor límite establecido, según el punto 2.2.

2.4 Contenido de ácido ascórbico

El ácido ascórbico (AA) se determinó titulando con 2,6-diclorofenolindofenol de acuerdo con la metodología de Carvalho et al. (1990). Las muestras se prepararon con 10 g de hojas de rúcula en cada envase, se homogeneizaron en 20 mL de solución de ácido metafosfórico (HPO_3) al 3,0% y se transfirió el filtrado a un matraz

aforado de 100 mL. El volumen se completó hasta 100 mL usando HPO_3 al 3,0%. Se tomó una alícuota de la muestra (10 mL) y se tituló con 2,6 dicloroindofenol hasta que persistió un color rosa durante 15 s. El contenido de ácido ascórbico se expresó como mg/ 100 g de tejido fresco. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

2.5 AMMDE de la pérdida de ácido ascórbico

La cinética de la pérdida de ácido ascórbico se determinó en forma similar a lo que se realizó para los atributos sensoriales. Para ello, se llevó a cabo un análisis de regresión a partir de los datos experimentales obtenidos para cada tratamiento, seleccionando el modelo más adecuado según el coeficiente de determinación R^2 , obtenido en cada caso. Para estimar el final de la VU del producto, se consideró una pérdida del 50 % del contenido de AA con respecto al contenido inicial.

2.6 Análisis microbiológicos

Para determinar el recuento de cada grupo microbiano (mesófilos, psicófilos, enterobacterias, hongos y levaduras), 10 g de muestra se colocaron en una bolsa estéril, y se adicionó 90 mL de agua peptona tamponada estéril y se homogenizó por 5 min en equipo Stomacher. Luego se diluyó 1 mL de esta disolución en 9 mL de agua estéril y así sucesivamente, según las diluciones que fueran necesarias. Para determinar el recuento de mesófilos aeróbios, se diseminaron 100 μ l de la muestra diluida en agar de conteo en placa (APC) y se incubaron a 37 °C durante 2 días, y a 5 °C durante 7 días para el recuento de psicófilos aeróbios. Para el recuento de enterobacterias, se diseminaron 100 μ l de la muestra diluida sobre eosina de agar azul de metileno (EMB) y se incubaron a 37 °C durante 2 días; para determinar el recuento de hongos y levaduras, se diseminaron 100 μ l de cada dilución sobre dextrosa de patata (PD) y se incubaron a 27 °C durante 7 días. Los recuentos microbiológicos se expresaron como el logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo de tejido fresco (log UFC/g).

2.7 AMMDE del crecimiento microbiano

Los datos de los recuentos microbianos en la rúcula tratada con UV-C y ozono, se utilizaron para realizar el ajuste al modelo matemático de

predicción microbiológico de Gompertz (Zwietering et al., 1990).

$$\log N = \log \log N_m + (\log N_0 - \log N_m) \exp \exp (-k \cdot t)$$

Dónde:

N = Población de microorganismos (m.o) al tiempo

t, [UFC/g],

N_m = Población máxima de m.o., [UFC/g]

N_0 = Población inicial de m.o., [UFC/g]

k = Constante de velocidad de crecimiento, [día⁻¹]

t = tiempo, [día]

Se determinó el R^2 a fin de comprobar el grado de ajuste del modelo. La VU se estimó como el tiempo t para el cual N alcanzó el valor límite de 7 log UFC/g establecido por la legislación española (BOE, 2000).

2.8 Diseño experimental y tratamiento estadístico de los datos.

Los ensayos de conservación fueron realizados según un diseño factorial, siendo los factores tratamientos aplicados y tiempo de almacenamiento. Los resultados fueron analizados por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA), y las medias se compararon por la prueba de diferencias mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 0,05. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis estadístico fue el Infostat Versión 2011.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis sensorial y AMMDE

De acuerdo con los atributos de calidad sensorial evaluados, el olor se encontró muy cerca del valor límite prestablecido por lo que se lo consideró como el atributo que limitó la VU del producto para todos los tratamientos.

Inicialmente, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras tratadas con UV-C y el control. Durante la conservación, se observó una disminución de los puntajes y el tratamiento de 50 kJ UV-C/m² promovió valores inferiores al límite de aceptabilidad al final del almacenamiento, mientras que las muestras tratadas con las dosis de 10 y 20 kJ UV-C/m² y el control presentaron valores mayores de 3 aún a los 12 días (Fig. 1).

Estos resultados están de acuerdo con lo informado por otros autores como Allende y Artés (2003), quienes observaron que la calidad sensorial de lechugas tratadas con 8,14 kJ UV-C/m² no presentó diferencias significativas con las muestras sin tratar hasta los 8 días de almacenamiento a 5 °C.

Para determinar la VU sensorial a través del AMMDE, se utilizaron cinéticas de orden cero y primer orden (Salinas et al., 2007). Las cinéticas de orden cero resultaron más adecuadas que las de primer orden para el modelado de la evolución del olor de la rúcula cortada mínimamente procesada, ya que presentaron valores de R^2 más cercanos a 1. En la Tabla 1 se presentan los resultados del modelado. μ l

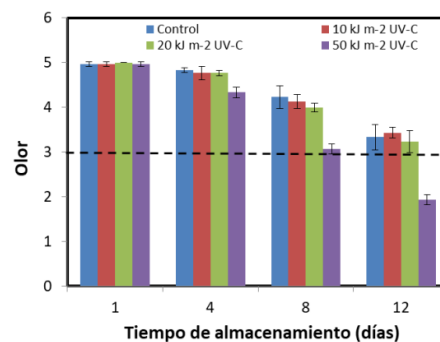


Figura 1. Cambios en el atributo de olor en hojas de rúcula cortadas sin tratar y tratadas con diferentes dosis de UV-C almacenadas a 5 °C durante 12 días. La línea horizontal indica el límite de aceptación.

Tabla 1. Cinética del deterioro del atributo de olor en muestras sin tratar y tratadas con diferentes dosis de UV-C de rúcula cortada almacenadas a 5 °C, mediante una cinética de orden cero. Estimación de la vida útil.

Cinética de deterioro del atributo de olor					
Modelo de orden cero $Q = Q_0 - k \times t$					
Tratamiento	Velocidad de deterioro K			Vida útil sensorial	
	k (1/día)	R^2	IC (k)	Estimada (días)	Experimental (días)
Control	0,15	0,89	(-0,19;-0,11)	15,20 ± 0,55	> 12
10 kJ m ⁻² UV-C	0,14	0,95	(-0,17;-0,12)	15,86 ± 0,31	> 12
20 kJ m ⁻² UV-C	0,17	0,95	(-0,19;-0,14)	13,41 ± 0,39	> 12
50 kJ m ⁻² UV-C	0,28	0,99	(-0,30;-0,26)	8,32 ± 0,31	8

Se determinó que el control y los tratamientos con dosis de hasta 20 kJ UV-C/m², presentaron una VU sensorial estimada mayor a los 12 días de almacenamiento a 5 °C. A diferencia de la dosis de 50 kJ UV-C/m² que presentó una VU máxima de 8 días, por lo que estos resultados están de acuerdo con los encontrados experimentalmente en el análisis sensorial.

Con respecto a los tratamientos con O₃, no se registraron diferencias significativas entre las muestras ozonizadas y el control al inicio de la conservación (Fig. 2). Durante el almacenamiento se observó en general una disminución del atributo olor para todos los tratamientos, sin embargo no se observaron diferencias significativas entre el control y las muestras tratadas con 1, 2 y 5 ppm O₃ presentando valores superiores al límite previamente establecido al cabo de los 12 días. Los resultados obtenidos en este trabajo con tratamientos de O₃ coinciden con los de Ali et al. (2014), quienes encontraron que las frutas de papaya tratadas con diferentes concentraciones de O₃ (2.5 y 3.5 mg/L) mostraron puntajes altos en los atributos sensoriales después de 12 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

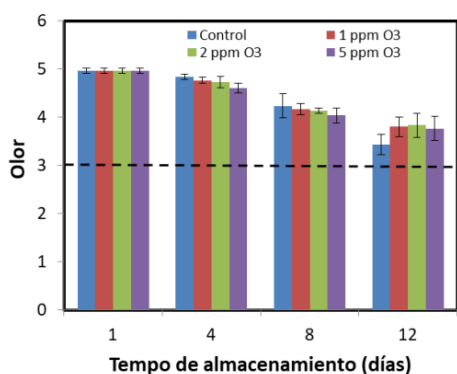


Figura 2. Cambios en el atributo de olor en hojas de rúcula cortadas sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O₃ almacenadas a 5 °C durante 12 días. La línea horizontal indica el límite de aceptación.

En forma similar a lo observado con la aplicación de tratamientos con UV-C, el deterioro del atributo olor, fue ajustado según una cinética de orden cero con el objetivo de estimar la VU sensorial. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Cinética del deterioro del atributo de olor en muestras sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O₃ de rúcula cortada almacenadas a 5 °C, mediante una cinética de orden cero. Estimación de la vida útil.

Cinética de deterioro del atributo de olor					
Modelo de orden cero Q=Q ₀ -k x t					
	Velocidad de deterioro K			Vida útil sensorial	
Tratamiento	k (1/día)	R ²	IC (k)	Estimada (días)	Experimental (días)
Control	0,14	0,91	(-0,17;-0,11)	16,14 ± 0,45	>12
1 ppm O ₃	0,11	0,94	(-0,13;-0,09)	19,27 ± 0,31	>12
2 ppm O ₃	0,11	0,92	(-0,13;-0,09)	19,0 ± 0,31	>12
5 ppm O ₃	0,11	0,91	(-0,14;-0,09)	18,54 ± 0,39	>12

De la Tabla 2 se desprende que el control y los tratamientos con concentraciones de hasta 5 ppm O₃, presentaron una VU sensorial estimada mayor a los 12 días a 5 °C, por lo que estos resultados están de acuerdo con los encontrados experimentalmente en el análisis sensorial.

3.2 Contenido de ácido ascórbico y AMMDE

En la Fig. 3 se presenta la evolución del AA durante el almacenamiento refrigerado a 5 °C. Se observó que la luz UV-C no afectó el contenido inicial de ácido ascórbico de las muestras, presentando valores similares al control. Luego, durante el almacenamiento el contenido de AA disminuyó significativamente, tanto en las muestras tratadas como en las no tratadas, presentando reducciones de aproximadamente 65% con respecto a los valores iniciales, no encontrándose diferencias significativas entre ellas. Nuestros resultados están de acuerdo con lo reportado por Lemoine et al. (2007) quienes observaron una disminución del AA en brócoli sin tratar y tratado con 8 kJ UV-C/m².

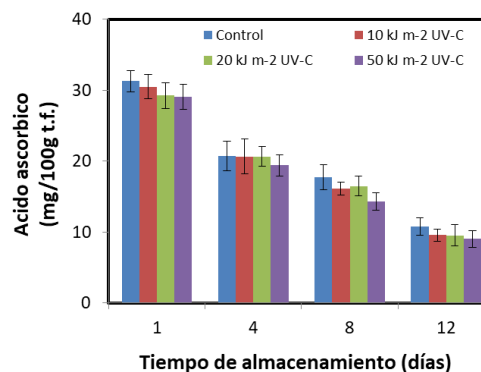


Figura 3. Evolución del contenido de ácido ascórbico en muestras sin tratar y tratadas con diferentes dosis de UV-C de rúcula cortada almacenada durante 12 días a 5 °C.

La disminución del contenido de AA durante el almacenamiento refrigerado podría ser usada como un indicador de pérdida de calidad nutricional, por lo que se podría considerar para estimar la VU del producto. Las cinéticas de orden cero resultaron más adecuadas para modelar la pérdida de AA de la rúcula, ya que presentaron valores de R^2 más cercanos a 1. Así, el modelo utilizado fue el descrito por la ecuación 1 (orden cero o modelo lineal) en MyM, donde:

Q_0 representa el contenido inicial del AA; Q al contenido de AA en el tiempo t ; k representa la constante aparente de reacción y t al tiempo de almacenamiento.

En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos al aplicar el modelo mencionado, donde puede observarse que la VU estimada fue menor a medida que las dosis aplicadas fueron más altas. Sin embargo todas las muestras tratadas y no tratadas con UV-C presentaron una vida útil entre los 8 y 9 días en concordancia con lo determinado experimentalmente.

Tabla 3. Cinética de pérdida de ácido ascórbico en hojas de rúcula cortada sin tratar y tratadas con diferentes dosis de UV-C almacenadas a 5 °C, mediante una cinética de orden cero. Estimación de la vida útil.

Tratamiento	Cinética de deterioro de ácido ascórbico			
	Modelo de orden cero $Q = Q_0 + k \times t$			
	Velocidad de deterioro k	R^2	Vida útil (C = 0,5 Q_0) Estimada (días)	Experimental (días)
Control	-1,71	0,89	9,01	8
10 kJ m^{-2} UV-C	-1,79	0,92	8,49	8
20 kJ m^{-2} UV-C	-1,69	0,93	8,75	8
50 kJ m^{-2} UV-C	-1,73	0,92	8,31	8

En la Fig. 4 se presenta la evolución del contenido de AA de muestras sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O_3 (1, 2 y 5 ppm) de rúcula cortada mínimamente procesadas, almacenadas a 5 °C durante 12 días.

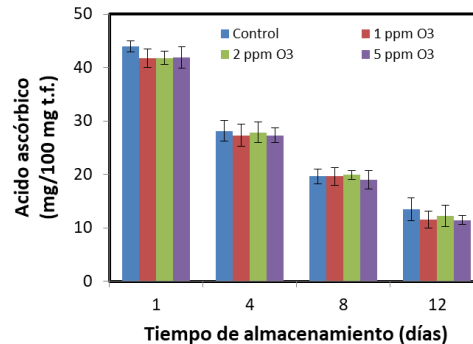


Figura 4. Evolución del contenido de ácido ascórbico en muestras sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O_3 de rúcula cortada almacenada durante 12 días a 5 °C.

Se observó que inicialmente los diferentes tratamientos con ozono no afectaron el contenido de AA, presentando valores similares al control (43,9 mg ácido ascórbico/100 g tejido fresco). Luego el contenido de AA disminuyó significativamente tanto en el control como en las muestras tratadas durante la conservación. Sin embargo, al final del almacenamiento, todos los tratamientos presentaron reducciones de aproximadamente 70 % con respecto a los valores iniciales, sin encontrarse diferencias significativas entre ellos. Estos resultados difieren con lo reportado por Karaca y Velioglu (2014) quienes informaron de una reducción del 40% de AA en perejil después del tratamiento con ozono gaseoso (0,95 ppb - 20 min).

Respecto del AMMDE de la pérdida de AA, a una cinética de orden cero con el objetivo de estimar la VU desde el punto de vista nutricional, de las hojas cortadas de rúcula mínimamente procesada, tratadas con distintas concentraciones de ozono y luego almacenada a 5 °C, en la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 4. Cinética de la pérdida de ácido ascórbico en hojas de rúcula cortada sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O_3 de almacenadas a 5 °C, mediante una cinética de orden cero. Estimación de la vida útil.

Cinética de degradación de ácido ascórbico				
Modelo de orden cero $Q = Q_0 - k \times t$				
	Velocidad de deterioro k		Vida útil ($C = 0,5 C_0$)	
Tratamiento	k (1/día)	R ²	Estimada (días)	Experimental (días)
Control	2,65	0,91	8,09	8
1 ppm O ₃	2,61	0,93	7,93	8
2 ppm O ₃	2,57	0,94	8,08	8
5 ppm O ₃	2,65	0,93	7,82	8

Se puede observar que el control y las muestras tratadas con O₃ presentaron velocidades de deterioro similares, por lo que las estimaciones de la vida útil son cercanas a los 8 días para todos ellos. Lo cual concuerda con los valores encontrados en los datos experimentales.

3.3 Análisis microbiológico y AMMDE

Se seleccionaron los tratamientos de 20 kJ UV-C/m² y 2 ppm de O₃ como los más adecuados por presentar los menores recuentos microbianos (datos no mostrados) durante el almacenamiento. Además, para evaluar la eficacia de los tratamientos se prepararon muestras tratadas con NaClO (100 mg/L durante 2 min) que es comúnmente utilizado por la industria que procesa vegetales mínimamente procesados. Se determinó, que de acuerdo a los análisis microbiológicos, el desarrollo de microorganismos psicrófilos limitó la VU de la rúcula cortada, siendo los recuentos iniciales en las hojas sin tratar de 6,12 log UFC/g (Fig. 5). El tratamiento con NaClO redujo en 0,92 log el recuento inicial, mientras que las hojas tratadas con O₃ y UV-C, mostraron reducciones de 1,20 y 1,37 log UFC/g, respectivamente, en comparación con las hojas no tratadas. Durante el almacenamiento, los tratamientos de 20 kJ UV-C/m² y 2 ppm O₃ presentaron menores recuentos que el control hasta los 8 días, con valores por debajo de 7 log UFC/g.

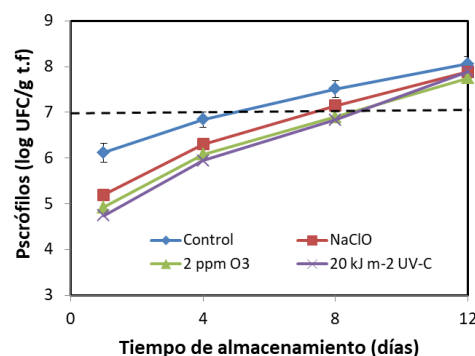


Figura 5. Recuentos de microorganismos psicrófilos en hojas de rúcula cortadas sin tratar (control) y tratadas con NaClO, 2 ppm O₃ y 20 kJ UV-C/m² almacenadas a 5 °C durante 12 días. La línea horizontal indica el límite de aceptación.

Estos resultados con UV-C, coinciden con los de Martínez-Hernández et al. (2013) quienes observaron en brócoli híbrido kailan una reducción inicial de 0,9 log UFC/g en los recuentos de microorganismos psicrófilos después del tratamiento con UV-C (6 kJ/m²), en comparación con el control. Con respecto a los resultados con ozono, estos coinciden con Olmez y Akbas (2009) quienes encontraron que los tratamientos con O₃ (2 ppm-2 min) en lechuga causaron una disminución en los recuentos de mesófilos, psicrotróficos y enterobacterias en aproximadamente 1,5, 1,1 y 1,5 log UFC/g, respectivamente.

Posteriormente, se realizó el AMMDE de la evolución del recuento de psicrófilos aerobios durante el almacenamiento, de acuerdo a lo descrito en MyM y se estimó la VU, presentándose en la Tabla 5 los resultados obtenidos.

Se determinó que las hojas de rúcula sin tratar presentaron una vida útil estimada entre 5 y 6 días a 5 °C, mientras que las hojas sanitizadas con hipoclorito, entre 7 y 8 días. Por otra parte, los tratamientos con 2 ppm O₃ y 20 kJ UV-C/m² mostraron una VU superior a los 8 días, por lo que estaría de acuerdo a lo encontrado en los ensayos experimentales.

Tabla 5. Cinética del crecimiento de microorganismos psicrófilos aerobios totales de rúcula cortada sin tratar y tratadas con NaClO, 2 ppm O₃ y 20 kJ UV-C/m² y almacenada a 5 °C. Estimación de la vida útil.

Bacterias psicrófilas				
Modelo propuesto				
$t = -\ln[(\log N - \log Nm)/(\log No - \log Nm)]/k$				
	Velocidad de crecimiento (k)		Vida útil	
Tratamiento	k (1/día)	R ²	Estimada (días)	Experimental (días)
Control	0,17	0,98	5,65	<6
NaClO	0,24	0,97	7,75	<8
2 ppm O ₃	0,25	0,98	8,56	>8
20 kJ m ⁻² UV-C	0,28	0,98	8,50	>8

4. CONCLUSIONES

En base a estos resultados, se puede concluir que los tratamientos con UV-C y con O₃ gaseoso son tecnologías viables para la descontaminación de la superficie de las hojas de rúcula mínimamente procesada. Los tratamientos estudiados pueden utilizarse como posibles alternativas al NaClO usado convencionalmente, ya que se logró un potencial similar de retención de la calidad. Los ajustes realizados con los modelos matemáticos prestablecidos fueron coherentes con los obtenidos de manera experimental y permitieron estimar la VU de la rúcula mínimamente procesada sometida a los diferentes tratamientos. Por lo tanto, teniendo en cuenta los costos y tiempos de procesamiento a nivel industrial, sería conveniente aplicar un tratamiento con 20 kJ UV-C/m² y 2 ppm O₃ para alcanzar un VU de 8 días a 5 °C.

5. REFERENCIAS

- Ali A., Ong M.K., Forney C.F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. *Food Chem.* 142, 19-26, 2014.
- Allende, A., Artés, F. Combined ultraviolet-C and modified atmosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce. *Lebensm. Wiss. Technol.* 36, 779-786, 2003.
- BOE. Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. Real Decreto, 3484/2000, 1435-1441, 2000.
- Botondi R., Moscetti R., Massantini R. A comparative study on the effectiveness of ozonated water and peracetic acid in the storability of packaged fresh-cut melon. *Journal Food Processing and Preservation*, 53, 2352-2360, 2016
- Carvalho, C.R.L.; Mantovani, D.M.B.; Carvalho, P.R.N.; Moraes, R.M. Análisis químicos de alimentos. Campinas: ITAL, 1990.
- Char C., Silveira A.C., Inestroza-Lizardo C., Hinojosa A., Machuca A., and Escalona V. H. Effect of noble gas-enriched atmospheres on the overall quality of ready-to-eat arugula salads. *Postharvest Biol. Technol.* 73, 50-55, 2012.
- Erkan M., Wang S.Y. and Wang C.Y, Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 163-171, 2008.
- Fagundes, C., Moraes, K., Pérez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M., & Monteiro, A. R. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biol. Technol.* 109, 73-81, 2015.
- Gutiérrez D.R., Char C., Escalona V.H., Chaves A.R. and Rodríguez S.D.C, Application of UV-C radiation in the conservation of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.). *J Food Proc Preservat.* 39: 3117-3127, 2015.
- Gutiérrez, D.R., Chaves, A.R., Rodriguez, S.D.C., Use of UV-C and gaseous ozone as sanitizing agents for keeping the quality of fresh-cut rocket (*Eruca sativa* Mill.). *J. Food Process. Preserv.* 00, 1-13, 2016.
- Gutiérrez, D. R., Chaves, A. R., and Rodríguez, S. D. C. UV-C and ozone treatment influences on the antioxidant capacity and antioxidant system of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.). *Postharvest Biol. Technol.* 40, 138, 107-113, 2018.
- Karaca H., and Velioglu Y.S. (2014). Effects of ozone treatments on microbial quality and some chemical properties of lettuce, spinach, and parsley. *Postharvest Biol. Technol.*, 88: 46-53.
- Labuza, T.P. 2000. Determination of shelf-life of foods. Department of Food Science and Nutrition, University of Minnesota. St. Paul. 32 pp.
- Lemoine, M.L., Civello, P.M., Martínez, G.A., Chaves, A.R. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var *Italica*). *J. Sci. Food Agric.* 87, 1132-1139, 2007
- Liu C., Ma T., Hu W., Tian M., and Sun L. Effects of aqueous ozone treatments on microbial load reduction and shelf life extension

- of fresh-cut apple. *Internat. J. Food Sci. Technol.*, 51, 1099-1109, 2016.
- Manzocco L, Pieve SD, Maifreni M. Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innov. Food Sci Emerg Technol.* 12: 13-17, 2011.
- Martínez-Hernández G.B., Gómez P.A., Pradas I., Artés F., Artés-Hernández F. Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi® broccoli. *Postharvest Biol. Technol.* 62: 327-337, 2011.
- Martínez-Hernández, G.B., Artés-Hernández, F., Gómez, P.A., y Artés, F. Quality changes after vacuum-based and conventional industrial cooking of kalia hybrid broccoli throughout retail cold storage. *LWT - Food Sci. Technol.* 50, 707-714, 2013.
- Olmez H., and Akbas M.Y. Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. *J. Food Engineering*, 90, 487-494, 2009.
- Ong M.K., Ali A., Alderson P.G., Forney C.F. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defense-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. *Sci. Horticulturae*, 179: 163-169, 2014.
- Pan, Y.G., y Zu, H, Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering*, 37, 113-119, 2012.
- Piagentini, A. M, Mendez, J. C, Guemes, D. R, y Pirovani, M. E. Modeling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 38, 202-212, 2005.
- Zwietering, MH; Jongenburger, 1; Rombouts, FM; Van't Rict, K Modelling of the bacterial growth curve. *Appl. Environ Microbiol.* 56, 1875, 1990.

Efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de *Mentha spicata* L., de diferentes edades cultivada en Santiago del Estero

Lescano, Julia A.¹; Garay, Fernando¹; Meloni, Diego A.¹ y Beltrán, Rosa E.¹

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. andlescano@yahoo.com.ar; fegaray1860@gmail.com; dmeloniunse@gmail.com; rosybmora1@gmail.com

RESUMEN

Mentha spicata L., conocida como “hierbabuena”, es una especie aromática de la cual se extrae su aceite esencial utilizado en perfumería, cosmética y en preparaciones farmacéuticas. Dado las perspectivas de expansión del cultivo de menta en la región, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de *M. spicata* L. El ensayo se realizó durante la campaña 2018 en la localidad de Villa Zanjón bajo condiciones de riego. Se evaluaron tres dosis de fertilizante nitrogenado: 150, 200 y 250 kg N ha⁻¹ en cultivos de diferentes edades de implantación. La cosecha se efectuó cuando la floración alcanzó el 70 %. Se determinó la producción de biomasa fresca y seca. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, y los datos se analizaron con ANOVA y test de Tukey. En ambos cultivos, la fertilización nitrogenada no afectó significativamente la producción de biomasa seca, aunque se obtuvo mayor rendimiento a una dosis menor para el cultivo de tres años de implantación. Corresponderá evaluar los momentos óptimos de aplicación y su efecto sobre el rendimiento en aceites esenciales, y la calidad de los mismos. También deberán ensayarse otros fertilizantes.

Palabras claves: Hierbabuena- rendimiento-fertilización nitrogenada

ABSTRACT

Mentha spicata L., known as "peppermint", is an aromatic species from which its essential oil is extracted, used in perfumery, pharmaceutical preparations and cosmetics. Due to the expansion perspectives of mint crops in the region, the aim of this work was to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the yield of *M. spicata* L. A field study was carried out during the 2018 season in the locality of Villa Zanjón under irrigation conditions. Three levels of nitrogen fertilizer were evaluated: 150, 200 and 250 kg N ha⁻¹ in crops of different implantation ages. The harvest was carried out when the flowering reached 70%. The production of fresh and dry biomass was determined. A randomized block experimental design was used, and the data were analyzed with ANOVA and Tukey's test. In both crops, nitrogen fertilization did not significantly affect dry biomass production, although a higher yield was obtained at a lower dose for the three-year-old crop. It will be necessary to evaluate the optimal times of application and their effect on the performance of essential oils, and their quality. Other fertilizers should also be tested.

Keywords: Spearmint – yield- nitrogen fertilization

1. INTRODUCCIÓN

El género *Mentha* comprende alrededor de cincuenta especies aromáticas, que pertenecen a la familia de las Lamiaceae. Sin embargo, son pocas las especies de interés económico que se cultivan comercialmente (Kizil, 2006; Taneja, 2012). Entre ellas, *Mentha spicata* L., “hierbabuena”, es una especie aromática de la

cual los principales componente de su aceite esencial son la carvona y el limoneno, compuestos utilizados en perfumería, cosmética y en preparaciones farmacéuticas (Bayan, 2018; Telci, 2010).

La demanda de especies aromáticas aumenta en el orden del 1 al 2% anual en el mercado europeo,

siendo la menta una de las especies que tienen mejores perspectivas. Estas mismas estimaciones aseguran que la demanda en la industria de la menta. En ese mismo contexto, el incremento de la demanda del producto fresco como así también de su aceite esencial, abren las perspectivas de expansión del cultivo de menta en una amplia región de Argentina (Arizio, 2006).

El cultivo de menta posee un importante potencial en la zona de riego del Río Dulce, en la provincia de Santiago del Estero, dado que reúne condiciones ambientales óptimas para su desarrollo (Spegazzini, 2006). Particularmente, *M. spicata* se adapta a condiciones climáticas de las zonas tropicales y subtropicales. Un clima con lluvias adecuadas y altas intensidades luminosas durante su período de crecimiento, aseguran un buen rendimiento (Shormin, 2009). Bajo tales circunstancias la producción de menta requeriría la adecuación de prácticas agrícolas que posibiliten mayores rendimientos y calidad de sus aceites esenciales, que le permitan competir en el mercado nacional y mundial.

La producción de menta con fines de comercialización demanda la adopción de buenas prácticas agrícolas, que implican el manejo sustentable de los recursos para la producción del cultivo, incluidos los aspectos de agua, suelo y fertilización (Pedraza, 2008)

La aplicación de fertilizantes puede proveer los nutrientes necesarios para las plantas, con el fin de obtener altos rendimientos. Su uso puede aumentar la productividad, teniendo en cuenta que la fuente, la dosis y la época de aplicación deben ser adecuadas para evitar sobrecostos, daños a la planta y problemas ambientales (FAO, 2002).

El nitrógeno es un elemento muy importante para el rendimiento y el crecimiento de las plantas.

Se encontró que el crecimiento de la menta Shormin (2009) observó que el crecimiento de menta japonesa (altura, número de ramas, número de hojas, y área foliar) aumentó linealmente hasta un límite de aplicación de fertilizantes nitrogenados. Hamidreza Ardalani et al. (2017) reportaron que el nitrógeno aumentó el rendimiento en biomasa seca y aceites esenciales en *Mentha piperita* y *M. spicata*, aunque no afectó la composición química de los mismos.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de *Mentha spicata* L.

alimentación y de servicios de comidas será mayor que en el comercio minorista (INTA, 2001).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Manejo del cultivo

El ensayo fue conducido durante la campaña 2018 en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias, situado en la localidad de Villa Zanjón (27°45'S, 64°18'W), Santiago del Estero, Argentina, bajo condiciones de riego. Los riegos se efectuaron en tres oportunidades durante el ciclo del cultivo, mediante la técnica de inundación, dado que es la práctica de mayor frecuencia de uso entre los agricultores.

El cultivo se condujo en parcelas de 9 m², con un distanciamiento de 0,7 m entre surcos, practicando las labores culturales habituales (resiembra, aporques, desmalezado).

El desarrollo del cultivo fue monitoreado registrando la altura y comienzo de la etapa reproductiva.

La cosecha se efectuó de forma manual cuando la floración alcanzó el 70 %, en el mes de diciembre. A partir de ese material se determinó la producción de biomasa fresca y seca.

2.2 Fertilización

La fertilización se practicó sobre cultivos de dos edades diferentes: uno implantado en el año de estudio, y otro de tres años de implantación. Ambos se fertilizaron al inicio de la etapa vegetativa con urea 46 % N, evaluándose tres dosis: 150 kg ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹ y 250 kg ha⁻¹ y un testigo sin fertilizar.

2.3 Caracterización del suelo

Se extrajeron muestras de suelo a diferentes profundidades (0-10, 10-20 cm) en las que se hicieron mediciones de conductividad eléctrica (CE, dS/m) y pH, en el extracto líquido. También se hizo una caracterización química del suelo, determinándose las siguientes variables: carbono orgánico total (COT), como estimador de materia orgánica del suelo, Nitrógeno total (Nt) y fracción del fósforo total del suelo que podría ser extraída por los cultivos (P ex).

2.4 Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, con cuatro repeticiones. Para el análisis de los datos obtenidos se efectuó ANOVA y Test de Tukey.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambos cultivos, los valores de biomasa seca en respuesta a las diferentes dosis evaluadas no mostraron diferencias significativas entre las mismas (fig. 1 y 2). La biomasa fresca tuvo el mismo comportamiento.

Este resultado coincide con lo reportado por Abbas (2009) que observó que no observó diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización nitrogenada y fosfatada en cultivos de *M. spicata*. Pese a ello, observó un incremento en el crecimiento, la materia seca y el contenido total de clorofila en comparación con las plantas control. La dosis utilizada en este estudio fue 100 kg N ha⁻¹. Sin embargo, Singh (1989) reportó para *Mentha arvensis*, *M. piperita* y *M. spicata* respuestas positivas significativas en términos de

rendimiento de biomasa y aceites esenciales con dosis de hasta 100 kg N ha⁻¹. Para dosis mayores no observó aumentos significativos.

Por otra parte, Brown (2003) reportó un óptimo desarrollo de biomasa en menta con una dosis de 225-280 kg N ha⁻¹. Kothari (1995) trabajó sobre varias especies de menta y encontró que la tasa óptima de nitrógeno para *M. spicata* fue de 145 kg N ha⁻¹.

Los valores de las medias de biomasa seca en hojas correspondientes a los tratamientos fueron similares para ambos cultivos. Para el cultivo de un año de implantación los valores oscilaron entre 1,58 Tn ha⁻¹ y 2,70 Tn ha⁻¹, mientras que para el cultivo de tres años de implantación el rango se estableció entre 1,83 Tn ha⁻¹ y 2,92 Tn ha⁻¹ (Figuras 1 y 2). Estos valores coinciden con los valores mínimos reportados por Telci (2004) de rendimiento de biomasa seca en hojas (2,3 Tn ha⁻¹ - 5,35 Tn ha⁻¹). Para el cultivo de un año de edad, la mayor respuesta se obtuvo a una dosis de 250 kg N ha⁻¹, mientras que en el cultivo de mayor edad se obtuvo una mayor respuesta en la dosis de 200 kg N ha⁻¹ (Fig. 1 y 2).

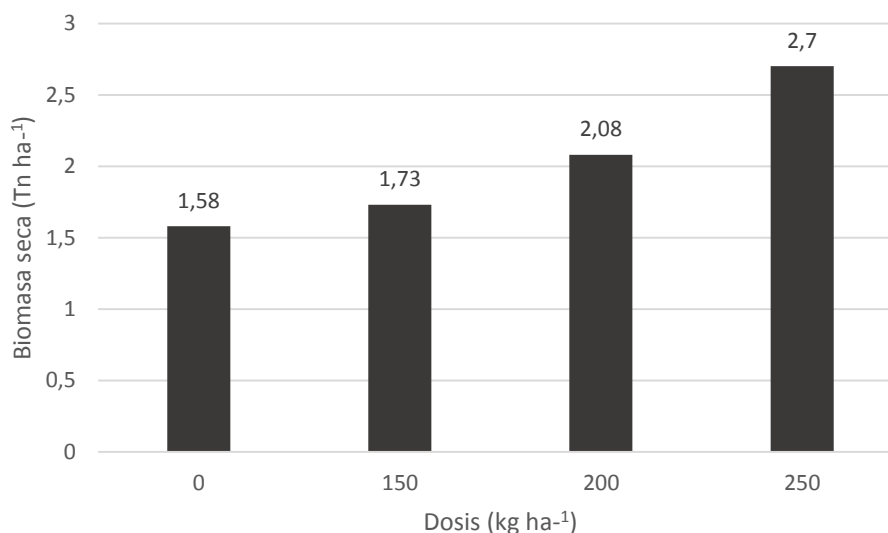


Figura 1: Biomasa seca de hojas en cultivo de *M. spicata* de un año de implantación (campaña 2018).

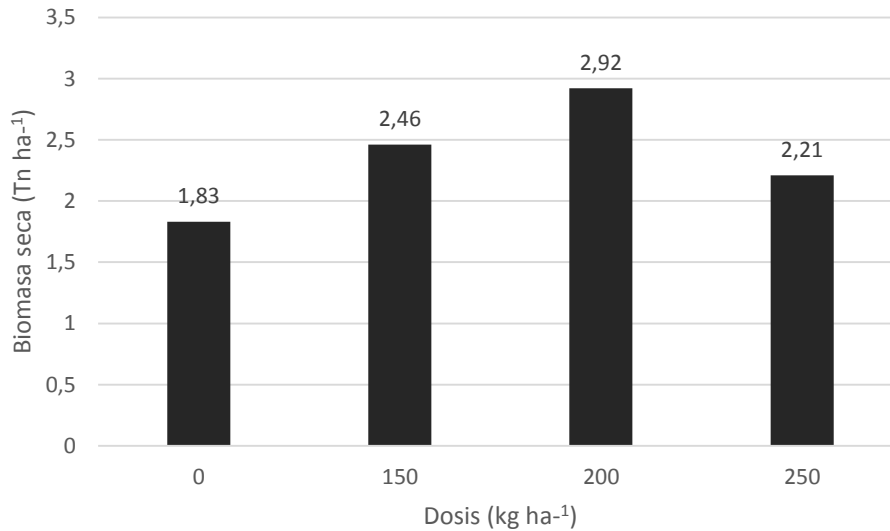


Figura 2: Biomasa seca de hojas en cultivo de *M. spicata* de tres de implantación (campana 2018).

Con relación a las características del suelo del sitio del ensayo, se determinó que los valores de COT corresponden a valores de materia orgánica en el rango de 2,6 a 1 %, siendo estos valores medios a bajos respectivamente. En el caso del Nt los valores resultaron normales relativos a los valores de los suelos agrícolas de la zona. Presentaron valores inferiores a 2 dS/m, por lo que se consideran suelos no salinos (Tabla 1). Se

evidencia un proceso de alcalinización en el tiempo que puede ser originado por las prácticas culturales relacionadas con el riego. Estos valores son similares a los reportados por (Telci, 2004) donde el área del cultivo presentaba suelos con pH 7,8, nitrógeno 0,170%, carbono orgánico 1,70%, fósforo disponible (P₂O₅) 11,6 kg / ha y potasio disponible (K₂O) 279,0 kg/ha.

Tabla 1. Valores de conductividad eléctrica (CE), pH, contenido de fósforo (P), carbono oxidable total (COT) y nitrógeno total (Nt) en una profundidad de 0-20 cm.

Año	Profundidad (cm)	CEex (dS/m)	pHex	P (ppm)	COT (%)	Nt (%)
2016	0-10	1,39	7,45	13,80	1,20	0,1175
	10-20	1,51	7,40	12,75	1,10	0,1150
2018	0-10	0,57	8,1	8,475	1,35	0,130
	10-20	1,15	8,05	2,50	0,95	0,10

En el aprovechamiento de la fertilización nitrogenada por cultivos de menta de diferentes edades se sugiere que los cultivos de mayor edad responden de modo más eficiente a una dosis menor, dado que alcanzan el mayor rendimiento a menor dosis comparado con los de un año de implantación. Por lo que debiera tenerse en cuenta en el manejo del cultivo, el factor edad, al momento de definir la dosis. En ese sentido queda aún por determinar los momentos óptimos de aplicación para lograr la mayor eficiencia en su aprovechamiento, así como también otras fuentes de nitrógeno que sean posibles de ser utilizadas en un marco de sustentabilidad del cultivo.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

6. REFERENCIAS

- Abbass, J. A. The Effect of Nitrogenous and Phosphate Fertilizers of the Properties on the Vegetative Growth and Aromatical Oil Yield of Local Mint (*Mentha Spicata* L.) American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 3(2): 262-265, 2009. <https://www.researchgate.net/publication/341251207>
- Arizio, O., Curioni, A., Matta G. Evolución de las importaciones y exportaciones argentinas de mentol y aceites esenciales de menta. Actas del III Simposio latinoamericano en la producción de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias, p.175. Catamarca, 20 al 23 de Septiembre de 2006
- Bayan, Y., Küsek, M. Chemical Composition and Antifungal and Antibacterial Activity of *Mentha spicata* L. Volatile Oil. Cien. Inv. Agr. 45(1):64-69. 2018. doi: 10.7764/rcia.v45i1.1897
- Brown, B., Hart, J. M, Wescott, M. P., Christensen, N. W. The critical role of nutrient management in mint production. Better Crops with Plant food, 87(4), 9-11. 2003. <https://www.haifa-group.com/sites/default/files/article/The%20Critical%20Role%20of.pdf>
- FAO. Fundamento de la necesidad de fertilizantes (aumento de la producción y aumento del ingreso de los agricultores. *Los fertilizantes y su uso*, FAO-IFA, Roma, 2002. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- Hamidreza Ardalani, A. H, Pazoki, A., Zolfaghar, M. Phytochemical, Morphological and Yield Responses of *Mentha canadensis* to Organic and Nitrogen Fertilizers. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 20(3), 752-757, 2017. doi:10.1080/0972060X.2017.1322005
- INTA. Plantas Aromáticas. 2001. <http://sipan.inta.gov.ar/productos/ssd/vc/neuquen/ap/aromaticas.htm>
- Kizil, S., Ozlem, T. Influence of different harvest times on the yield and oil composition of spearmint (*Mentha spicata* L. var. *spicata*). Journal of Food Agriculture and Environment, 4, 135-137. 2006. https://www.researchgate.net/publication/264698620_Influence_of_different_harvest_times_on_the_yield_and_oil_composition_of_spearmint_Mentha_spicata_L_var_spicata
- Kothari, S. K., Singh, U. B. The Effect of Row Spacing and Nitrogen Fertilization on Scotch Spearmint (*Mentha gracilis* Sole), Journal of Essential Oil Research, 7:3, 287-297, 1995. DOI: 10.1080/10412905.1995.9698521
- Pedraza, R., M. C. Henao. Composición del tejido vegetal y su relación con variables de crecimiento y niveles de nutrientes en el suelo en cultivos comerciales de menta (*Mentha spicata* L.). Agronomía Colombiana, Bogotá, v. 26, n. 2, p. 186-196, 2008. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000200003&lng=en&nrm=iso.
- Shormin, T., Akhter Hossain Khanb, M., Alamgir M. Response of Different Levels of Nitrogen Fertilizer and Water Stress on the Growth and Yield of Japanese Mint (*Mentha Arvensis* L.). Bangladesh J. Sci. Ind. Res. 44(1), 137-145, 2009. www.banglajol.info

- Singh, V. P., Chatterjee, B. N., Singh D. V. Response of mint species to nitrogen fertilization. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 113, 267-271, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1017/S002185960008686X>
- Spigazzini, E. Situación actual y control de la calidad de hierbas aromáticas y medicinales. *Actas del III Simposio Latinoamericano en producción de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias*, p. 91-92. Catamarca, 20 al 23 de Septiembre de 2006.
- Taneja, S. C. Mint. *Handbook of Herbs and Spices*, K. V. Peter, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2012. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857095671.366>
- Telci, I., Sahbaz, N. G. Yilmaz; M. Tugay. Agronomical and chemical characterization of spearmint (*Mentha spicata* L.) originating in Turkey. *Economic Botany*, 58, 721-728, 2004
- Telci, I., Demirtas, I., Bayram, E., Arabaci, O., Kaçar, O. Environmental variation on aroma components of pulegone/piperitone rich spearmint (*Mentha spicata* L.). *Industrial Crops and Products*, (32), 588-592, 2010. Doi: 10.1016/j.indcrop.2010.07.009.

Desarrollo de barras energéticas con materias primas con propiedades funcionales

Rios, Francisco¹; Amaya, Argentina¹; Lobo, Manuel¹ y Sammán, Norma^{1*}

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.

*normasamman@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto de diferentes materias primas con ingredientes funcionales sobre la *aceptabilidad* por parte de consumidores, de las barras energéticas formuladas. Tres materias primas: orujo de uva, yacón y miel (Con alto contenido de compuestos funcionales), fueron empleadas como variables en un diseño factorial de 2 niveles (0 y 10%). Un análisis conjunto con 120 consumidores se llevó a cabo para determinar la *preferencia* sobre las muestras. También se realizó un análisis sensorial de *aceptabilidad* y test marque todo lo que corresponda, con 110 consumidores. El orujo de uva presentó elevado contenido de fibra dietaria insoluble (60.97% base seca). Su inclusión en la formulación de las barras energéticas incrementó significativamente ($p < 0.05$) su contenido de fibra dietaria. La *preferencia* de los consumidores por las muestras se incrementó con la información de los ingredientes funcionales. De los tres ingredientes empleados, la miel, seguido de yacón aumentaron la *preferencia* y *aceptabilidad* de las muestras debido a los atributos *sabor caramelo* y *delicioso*. Es necesario determinar la combinación de materias primas que incrementen la *aceptabilidad* de los consumidores por sus propiedades sensoriales con otras de alto contenido de compuestos funcionales y baja aceptabilidad.

Palabras claves: barras energéticas, orujo de uva, miel, yacón, aceptabilidad

ABSTRACT

The objective of the work was to study the effect of different raw materials with functional ingredients on the acceptability by consumers of the formulated energy bars. Three raw materials: grape pomace, yacon, and honey (with a high content of functional compounds), were used as variables in a factorial design of 2 levels (0 and 10%). Joint analysis with 120 consumers was carried out to determine preference over the samples. Sensory analysis of acceptability and test mark all that corresponds was also carried out, with 110 consumers. The grape pomace presented high content of insoluble dietary fiber (60.97% dry basis). Its inclusion in the formulation of energy bars significantly increased ($p < 0.05$) its dietary fiber content. Consumer preference for samples increased with information on functional ingredients. Of the three ingredients used, honey, followed by yacon increased the preference and acceptability of the samples due to the caramel and delicious flavor attributes. It is necessary to determine the combination of raw materials that increase the acceptability of consumers due to their sensory properties with others with a high content of functional compounds and low acceptability.

Keywords: energy bars, grape pomace, honey, yacon, acceptability

1 INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos nutritivos, sanos y con propiedades benéficas para la salud está creciendo a nivel mundial. Los ingredientes de un alimento deben combinarse de manera adecuada para asegurar que se complementen en beneficio de sus propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales.

La ingesta de fibra dietaria está asociada con una variedad de efectos fisiológicos benéficos para la salud, los cuales dependen de las propiedades fisicoquímicas de los diferentes tipos de fibras (Canett Romero y col., 2004; Segundo y col., 2017; Abreu y col., 2019). Existen diferentes fuentes naturales de alto contenido de fibra dietarias (Gutkoski y col., 2007).

El orujo de uva es un subproducto obtenido de la molienda y prensado de la fruta en el proceso de vinificación. Está constituido en orden mayoritario en peso por cascarillas, semillas y palillos (Canett Romero y col., 2004); es considerado fuente natural de componentes beneficiosos como fibra dietaria, compuestos antioxidantes y proteínas (Valiente y col., 1995; Pitre y col., 2011; Chidambara Murthy y col., 2002).

La incorporación de orujo de uva en alimentos formulados representa una alternativa para el aprovechamiento de ese residuo industrial, agregando valor a la materia prima y disminuyendo el impacto ambiental negativo que implica su acumulación (Pitre y col., 2011; Bertagnolli y col., 2014).

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un tubérculo cultivado en la región Andina (Muñoz y col., 2006; Parra y col., 2012; Valdez Clinis y col., 2013). Es requerido debido al contenido de polímeros de fructuosa (FOS) e inulina, de sabor dulce, apto para personas diabéticas. También se ha reportado al yacón como un producto rico en compuestos fenólicos con actividad antioxidante (Sousa y col., 2015; Costa Rodrigues Ferraz y col., 2020).

Existen diferentes investigaciones que aprovechan el yacón, el orujo de uva de forma integral o separando sus componentes y otras materias primas fuentes de fibra dietaria en la elaboración de productos alimenticios (Pitre y col., 2011; Canett Romero y col., 2004; Valdez Clinis y col., 2013; Parra y col., 2012).

La miel es una mezcla compleja de carbohidratos, principalmente azúcares y componentes minoritarios como antioxidantes (Ciappini y col.,

2013). Por sus propiedades endulzantes, energéticas y sensoriales se ha empleado en diferentes alimentos formulados, entre ellos en barras energéticas (Cereales, 2009; Rios y col., 2018).

Las barras energéticas son alimentos que pueden incluir diversos ingredientes, comúnmente emplean azúcares, cereales, semillas, frutas secas, entre otros. Por lo tanto, las barras energéticas son alimentos multi-ingredientes que pueden ser empleadas como vehículos para la incorporación de materias prima con compuestos funcionales (Gutkoski y col., 2007). La asociación entre barras energéticas y alimentos saludables es una tendencia actual en el sector de la alimentación, que beneficia al mercado de estos productos. Sin embargo, su aceptación por los consumidores es una variable importante en la formulación y diseño de productos alimenticios, ya que la incorporación de ingredientes funcionales, ricos en fibra dietaria, puede alterar algunas propiedades del producto final y disminuir la aceptabilidad de los consumidores.

Por lo tanto, en la formulación de alimentos, uno de los criterios limitantes en la selección del tipo y nivel de incorporación de cualquier ingrediente, es la contribución que éste tendrá en la aceptación del producto final.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto de la incorporación de diferentes materias primas con compuestos funcionales en barras energéticas y evaluar su aceptabilidad por parte de los consumidores.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materias primas

Tres materias primas: orujo de uva, yacón y miel, fueron empleadas como variables en el diseño experimental, como sustitutos parciales de los azúcares. El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) fue adquirido de productores de la zona de Barcena-Jujuy. El orujo de uva fue obtenido de la actividad vitivinícola realizada en Maimará-Jujuy. La miel (*Apis mellifera*) se obtuvo de productores apícolas de la zona de las Yungas-Jujuy.

El orujo de uva fue secado hasta peso constante a 60 °C en estufa de aire forzado. Luego, fue molido y tamizado en mallas < 150 µm. El producto obtenido del tamizado fue adicionado al aglutinante. Tanto el yacón como la miel fueron agregados en función de su contenido de sólidos

al aglutinante del producto. Se emplearon arroz explotado, azúcar y glucosa comercial como ingredientes básicos en la elaboración del producto.

2.2 Análisis de fibra dietaria

El contenido de fibra dietaria soluble (FDS) e insoluble (FDI) fue determinado por el método enzimático-gravimétrico N 985.29 AOAC (1995). Los resultados fueron expresados en base seca (bs). Los ensayos se realizaron por triplicado.

2.3 Diseño para la elaboración de las barras

Para el desarrollo de las barras se empleó un diseño experimental factorial de dos niveles con 3 variables (2^3) resultando 8 muestras para análisis. Las variables a considerar fueron: miel (X1), yacón (X2) y orujo de uva (X3). El contenido de la relación sacarosa/glucosa fue modificado en reemplazo de las cantidades de las variables experimentales en dos niveles: ausencia (0%) y presencia (10%), Tabla 1. El proceso de elaboración del producto se llevó a cabo según la metodología empleada en Rios y col., (2018).

2.4 Análisis conjunto

El análisis conjunto se empleó para determinar la *preferencia* de los consumidores por las muestras del diseño experimental. Se utilizaron las variables o los ingredientes como conceptos-muestras para presentar a los consumidores. El cuestionario utilizó una escala hedónica de 9 puntos, para cada concepto, con la consigna: cuanto piensa que le gustaría cada una de las muestras?, donde 1 es me disgusta mucho y 9 me gusta mucho. En cada encuesta se informaron las propiedades funcionales de cada ingrediente. En el análisis conjunto participaron 120 consumidores, entre 18-50 años; la condición fue que sean consumidores de barras de energéticas.

2.5 Análisis sensorial

Un análisis sensorial de *aceptabilidad* y test *marque todo lo que corresponda* (Check All That Apply=CATA) se llevó a cabo con 110 consumidores, reclutados entre alumnos, docentes, y personal administrativo de ambos sexos de la Facultad de Ingeniería-UNJu. La evaluación sensorial se realizó en el horario de la tarde (15-18 h) en el laboratorio de análisis sensorial de la Facultad de Ingeniería-UNJu, que cuenta con las condiciones adecuadas de espacio

físico, luz y aire acondicionado para evitar la variabilidad entre pruebas por el efecto de ambiente. A cada consumidor se le entregó 8 porciones diferentes de 20 g cada muestra ($n=8$), codificadas por tres dígitos al azar. Junto a las bandejas se le suministró una planilla describiendo el objetivo del estudio y las instrucciones para llevar a cabo el análisis, además de agua potable para el enjuague bucal entre muestras.

La evaluación de aceptabilidad con consumidores se realizó utilizando una escala hedónica de 9 puntos con los extremos: me disgusta mucho=1 y me gusta mucho=9. Sumado a la prueba hedónica se realizó una encuesta con preguntas CATA para conocer los atributos descriptores de las muestras. El test CATA incluyó 25 atributos agrupados en apariencia (*mala apariencia, buena apariencia, mal color, buen color*), sabor (*dulce, muy dulce, no amargo, amargo, no astringente, astringente, desagradable, ácido, sabor extraño, sabor miel, sabor frutal, sabor caramelo, delicioso*), aroma (*aroma agradable, aroma desagradable, aroma extraño*) y textura (*firme, pegajoso, gomoso, crocante, frágil*), de los cuales 15 tuvieron una mención de frecuencia mayor a 20% (Figura 1).

2.6 Análisis estadístico

La *aceptabilidad* y *preferencia* de las muestras fueron evaluadas mediante el ANOVA considerando los ingredientes como factores de variación. El test de Tukey fue empleado a un nivel de significancia $p<0.05$ para determinar diferencias significativas entre las muestras.

Un análisis de componentes principales (ACP) fue aplicado a los datos de *aceptabilidad* de las muestras para explorar su relación con los atributos sensoriales determinados en las muestras por los consumidores.

El análisis de correspondencia (AC) fue aplicado a los datos de conteo de los atributos sensoriales para determinar su asociación con las muestras.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Materias primas

El orujo de uva presentó mayor contenido de FDI (60.97 % bs) comparada a la FDS (2.65 % bs), estos valores son similares a los reportados por otros autores (Pitre y col., 2011). El yacón

también tiene mayor contenido de FDI (4.85 % bs) que FDS (2.50 % bs).

De acuerdo a estos resultados, el yacón y el orujo de uva mejorarían nutricionalmente y funcionalmente el producto elaborado cuando son empleados en reemplazo de parte del contenido de los azúcares en las muestras. Por esta razón, el orujo de uva fue empleado como ingrediente en los alimentos elaborados principalmente por su alto contenido de fibra dietaria (Canett Romero y col., 2004; Pitre y col., 2010). El yacón fue utilizado por sus propiedades endulzantes y los beneficios para la salud de los frutooligosacáridos (FOS) que contiene (Valdez Clinis y col., 2013; Costa Rodríguez Ferraz y col., 2020).

Tabla 1. Variables codificadas (valores reales) y respuesta del diseño factorial

Muestras	X1	X2	X3	A	P
M1	-1 (0)	-1 (0)	-1 (0)	6.12 ^{bc}	4.75 ^d
M2	+1 (10)	-1 (0)	-1 (0)	6.78 ^a	6.77 ^a
M3	-1 (0)	+1 (10)	-1 (10)	6.23 ^b	6.07 ^{bc}
M4	+1 (10)	+1 (10)	-1 (10)	6.37 ^{ab}	6.61 ^{ab}
M5	-1 (0)	-1 (10)	+1 (0)	5.40 ^d	5.99 ^c
M6	+1 (10)	-1 (10)	+1 (0)	5.67 ^{cd}	6.55 ^{abc}
M7	-1 (0)	+1 (10)	+1 (10)	5.31 ^d	6.04 ^{bc}
M8	+1 (10)	+1 (10)	+1 (10)	5.47 ^d	6.87 ^a

Superíndice con letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras. A: *aceptabilidad*; P: *preferencia*

3.2 Diseño experimental

La Tabla 1 muestra el diseño factorial empleando 3 variables y como respuesta la *aceptabilidad* y *preferencia* de los consumidores por las muestras. Considerando el contenido de los ingredientes como factor de variación, el ANOVA mostró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en la *aceptabilidad* entre las muestras. La muestra M5, M7 y M8, que contienen orujo de uva fueron rechazadas significativamente ($p < 0.05$) por los consumidores. De forma opuesta, M2 y M4 fueron las de mayor aceptación, debido a la presencia de miel y yacón en su formulación.

El reemplazo de los azúcares por orujo de uva tuvo un efecto negativo en la *aceptabilidad* de las muestras. Los resultados coinciden a lo informado por Abreu y col., (2019) que determinaron que el contenido de azúcar

incrementa la *aceptabilidad* en productos de panadería empleando cascarillas de orujo de uva.

En el caso de la *preferencia*, las muestras M8 y M2 fueron de mayor valor significativamente ($p < 0.05$), las cuales corresponden a las que contienen los tres ingredientes y miel en sus formulaciones, respectivamente. De forma opuesta, M1, fue la de menor *preferencia* por los consumidores debido a la ausencia de ingredientes con compuestos funcionales. En cuanto a la muestra M2, tanto la *aceptabilidad* y *preferencia* tuvieron mayor valor debido a que la miel es un producto ampliamente aceptado por sus propiedades sensoriales. Mientras M8, aún conteniendo mayor cantidad de ingredientes con compuestos funcionales, mostró baja *aceptabilidad* debido a las propiedades sensoriales que proveen los mismos.

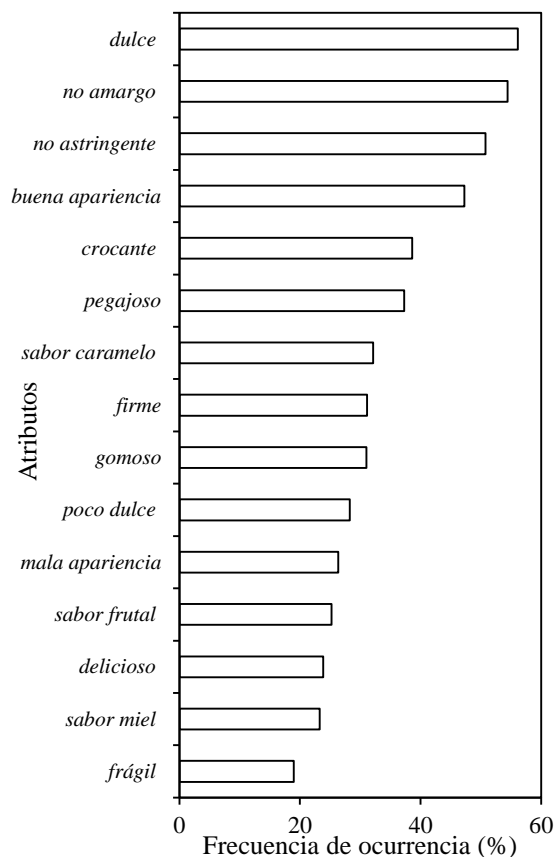


Figura 1. Frecuencia de ocurrencia de los atributos sensoriales

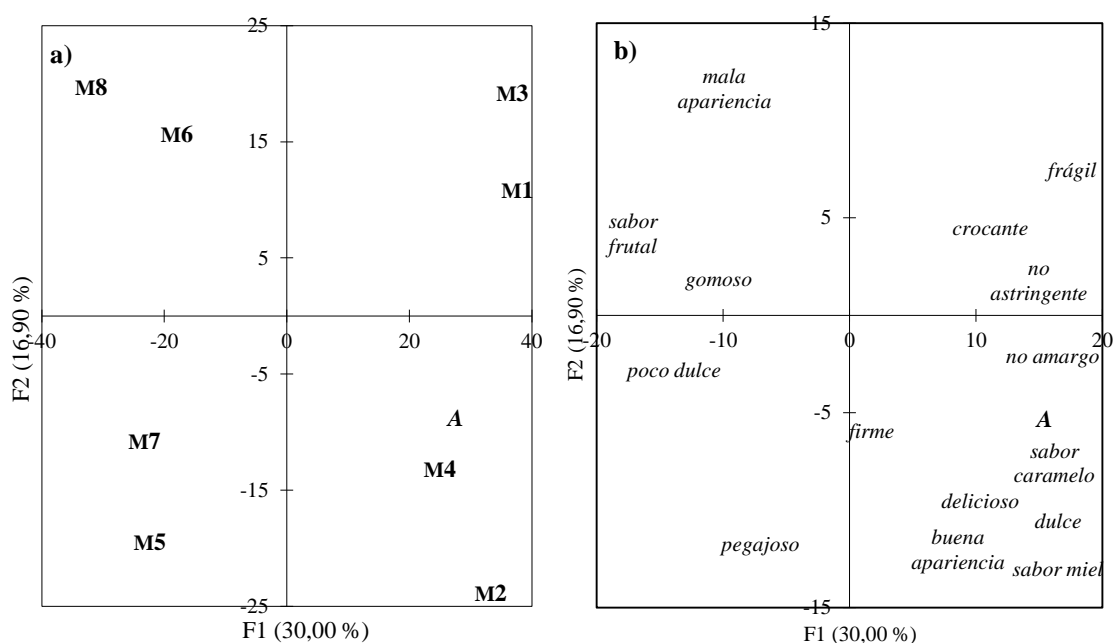


Figura 2. Plano de los factores F1-F2 del ACP aplicado a los datos de *aceptabilidad* (A) de los consumidores por las muestras. Relación de *aceptabilidad*: a) con las muestras, y b) con los atributos sensoriales.

3.3 Análisis CATA

La Figura 1 muestra el porcentaje de atributos sensoriales mencionados con mayor frecuencia de ocurrencia por los consumidores. Los resultados mostraron que los ingredientes empleados como variables producen diferentes atributos en las muestras. Entre los atributos de mayor frecuencia de ocurrencia (>50%) se encuentran los relacionados con sabor: *dulce*, *no astringente*, *no amargo*. De forma opuesta, los atributos menos mencionados fueron *frágil*, *sabor miel* y *delicioso*. La presencia de miel y yacón podría haber influido de forma positiva en el atributo *dulce* de las muestras. También, el orujo de uva produce atributos perceptibles de color y aroma (Abreu y col., 2019). Sin embargo no se observaron atributos característicos de su presencia entre los de mayor frecuencia de ocurrencia.

3.4 Análisis de componentes principales

La Figura 2 muestra el ACP aplicado a los datos de *aceptabilidad* y su relación con los atributos sensoriales determinados por los consumidores en las muestras. Los atributos fueron empleados como datos suplementarios en el ACP.

Los primeros 2 factores explican 47% de la variabilidad total de los datos. De acuerdo al

factor 1 (F1) las muestras se dividen en dos grupos, uno donde los consumidores mostraron mayor aceptación por las muestras (M2 y M4) del cuadrante F1 positivo- F2 negativo (Figura 2a). Otro, en el cuadrante opuesto (F1 negativo- F2 positivo), donde se encuentran las muestras de menor *aceptabilidad* (M6 y M8). Por lo tanto, la aceptación y rechazo están asociados a X1 y X3, o sea a la presencia de miel y orujo de uva en las muestras, respectivamente.

Por otro lado, el factor F2 separa las muestras en dos grupos, la *aceptabilidad* aumenta con el eje negativo de F2, debido a la presencia de miel en las muestras. Por lo tanto la miel, seguida de yacón produce mayor *aceptabilidad* en los consumidores por las muestras que los contienen. Lo anterior indica que el incremento de la *aceptabilidad* de los consumidores por las muestras está relacionado de forma inversa a la presencia de altos contenidos de fibras dietaria proveniente del orujo de uva.

En la Figura 2b) se puede observar la correlación que existe entre la *aceptabilidad* y los atributos sensoriales de las muestras. La *aceptabilidad* asociada positivamente a F1, se correlacionó de forma positiva ($r > 0.80$) con los atributos: *no amargo*, *no astringente*, *sabor caramelo* y *delicioso*, y negativamente ($r > 0.80$) con los atributos: *mala apariencia* y *sabor frutal*. Por lo tanto el ACP permite identificar los atributos

sensoriales correlacionados con la aceptación y rechazo de las muestras.

La presencia de orujo de uva (10%) disminuyó significativamente ($p < 0.05$) la *aceptabilidad* en las muestras, lo cual está en concordancia con Pitre y col., (2011) que informaron que la preferencia de los consumidores tiende a disminuir a medida que se incrementa el contenido de fibra en galletas con cascarillas de uva. Mientras Romero y col., (2004), no observaron diferencias en la *aceptabilidad* de muestras en concentraciones entre 0 y 10 % de cascarilla de uva en galletas. Por otra parte, coincidiendo con los resultados obtenidos, Valdez Clinis y col., (2013) informaron que la presencia de harina de yacón en barras dietéticas mostró alta *aceptabilidad*.

3.5 Análisis de correspondencia

La Figura 2 muestra las dimensiones (D) D1-D2 del AC aplicado al conteo de atributos para determinar su asociación con las muestras. Las primeras dos dimensiones explican 87,6 % de la inercia total de los datos. Se observó que los consumidores agrupan correctamente las muestras que contienen orujo de uva, caracterizada por los atributos *poco dulce* y *firme*. Mientras que las muestras M3 y M4 que contienen yacón y miel se caracterizan por los atributos *dulce* y *delicioso*.

Por otro lado se observó que el eje D2 dividió de forma opuesta las muestras M2 y M1, caracterizadas por los consumidores por los atributos *sabor miel* y *frágil*, debido a la presencia y ausencia de miel, respectivamente.

Estos resultados indican que los consumidores perciben correctamente los atributos que caracterizan la presencia de miel y orujo de uva en las barras.

La miel es un producto que no aporta fibra dietaria aunque contribuye al incremento de la *aceptabilidad* y *preferencia* de las muestras y de diversos alimentos debido sus propiedades endulzantes (Rios y col., 2018).

4 CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos se puede concluir que los consumidores perciben correctamente los atributos que caracterizan la presencia de miel y orujo de uva en las barras.

El agregado de orujo de uva afectó de forma negativa la *aceptabilidad* de las muestras, mientras que el contenido de miel y yacón tienen un efecto positivo tanto en la *aceptabilidad* como

en la *preferencia* de las muestras. Esto indica que incorporando cantidades menores de orujo de uva combinadas con miel por sus propiedades sensoriales, se podría incrementar la *aceptabilidad* por los consumidores y lograr un incremento en el contenido de fibra alimentaria en las barras formuladas.

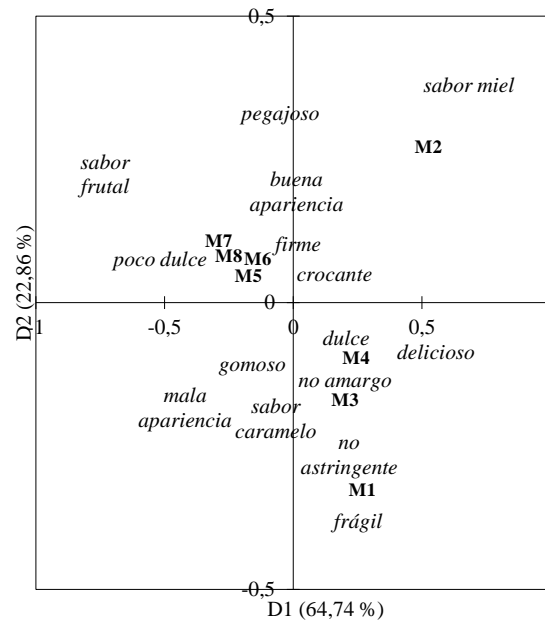


Figura 3. Dimensiones D1-D2 del análisis de correspondencia aplicado a los atributos sensoriales de las muestras.

5 AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería - Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA (CIITED) -UNJu- CONICET

6 REFERENCIAS

- Abreu, J., Quintino, I., Pascoal, G., Postinger, B., Cadena, R., Teodoro, A. Antioxidant capacity, phenolic compound content and sensory properties of cookies produced from organic grape peel (*Vitis labrusca*) flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 1215-1224, 2019.
- AOAC, Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, Arlington, USA, 16th edn, 1995.

- Bertagnolli, S. M. M., Silveira, M. L. R., Fogaça, A. D. O., Umann, L., Penna, N. G. Bioactive compounds and acceptance of cookies made with Guava peel flour. *Food Science and Technology*, 34(2), 303-308, 2014.
- Canett Romero, R., Ledesma Osuna, A. I., Robles, S., Maribel, R., Morales Castro, R., León Martínez, L., León-Gálvez, R. Caracterización de galletas elaboradas con cascarilla de orujo de uva. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 93-99, 2004.
- Cereales, Q. I. Estudio de la aceptabilidad en escolares de barras de cereales formuladas con ovoalbúmina, aceite de soja y miel. *Diaeta* (B. Aires), 27(126), 18-25, 2009.
- Chidambara Murthy, K. N., Singh, R. P., Jayaprakasha, G. K. Antioxidant activities of grape (*Vitis vinifera*) pomace extracts. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(21), 5909-5914, 2002.
- Ciappini, M., Gatti, M., Di Vito, M. V. El Color como indicador del contenido de flavonoides en miel. *Ciencia y Tecnología*, 15(19), 50-63, 2013.
- Costa Rodrigues Ferraz, A. P., Leite Garcia, J., Costa, M. R., Vágula de Almeida, C. C., Schmitt Gregolin, C., Rizzi Alves, P. H., Kurokawa Hasimoto, F., Berchieri-Ronchi, C., Carolodos Santos, K., Corrêa, C. R. Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) use as an antioxidant in diabetes. *In Pathology* (pp. 379-386), Academic Press, 2020.
- Gutkoski, L. C., de Texeira Bonamigo, J. M., de Freitas Teixeira, D. M., Pedó, I. Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveia com alto teor de fibra alimentar. *Food Science and Technology*, 27(2), 355-363, 2007.
- Muñoz, A. M., Blanco, T., Serván, K., & Alvarado-Ortiz, C. Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional. *Horizonte Médico*, 6(2), 69-73, 2006.
- Parra, R. A., Medina, M. F., Moreno, D. C. Propiedades sensoriales, físicas y bromatológicas de yogurt suplementado con yacón. *Vitae*, 19(1), S195-S197, 2012.
- Pitre, A. M., Andrade, A. N., Garcã, L., Londoã, P. Desarrollo de una galleta a partir del orujo de uva variedad criolla negra. *In Revista Anales*, 11(2), 191-205, 2011.
- Rios, F., Lobo, M., & Samman, N. Acceptability of beehive products as ingredients in quinoa bars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 174-182, 2018.
- Segundo, C., Román, L., Gómez, M., Martínez, M. M. Mechanically fractionated flour isolated from green bananas (*M. cavendishii* var. *nanica*) as a tool to increase the dietary fiber and phytochemical bioactivity of layer and sponge cakes. *Food Chemistry*, 219, 240-248, 2017.
- Sousa, S., Pinto, J., Rodrigues, C., Gião, M., Pereira, C., Tavaría, F., Xavier Malcata, F., Gomes, A., Bertoldo Pacheco, M. T., Pintado, M. Antioxidant properties of sterilized yacón (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour. *Food chemistry*, 188, 504-509, 2005.
- Valdez Clinis, G. A., Margalef, M. I., Gómez, M. H. Formulación de barra dietética funcional prebiótica a partir de harina de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Diaeta*, 31(142), 27-33, 2013.
- Valiente, C., Arrigoni, E., Esteban, R. M., Amado, R. Grape pomace as a potential food fiber. *Journal of Food Science*, 60(4), 818-820, 1995.

Evaluación de la aceptabilidad de un alimento horneado elaborado con materia prima regional

Rodríguez¹, Rodrigo; Díaz¹, Macarena; Ramos Morey¹, Matías; Toro^{1,2}, María A. y Goldner^{1,3,4}, María C.

(1) *Cátedra de Tecnología de los Alimentos, Fac. de Cs. Exactas.*

rodrigomax7891@gmail.com, macarena.diazj@gmail.com, matyestudia36@gmail.com

(2) *Cátedra de Fisicoquímica, Fac. de Ingeniería, Sede Sur Metán.*

marie.anton@gmail.com

(3) *Instituto de Investigación para la Industria Química (INIQUI-CONICET)*

(4) *Instituto de Investigaciones Sensoriales de Alimentos (IISA-Fac. Cs. De la Salud)*

crstigol@gmail.com

Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150 CP (4400) Salta, Pcia. de Salta

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un producto horneado (budín) con ingredientes regionales (papa oca y albahaca), con características sensoriales aceptables por el consumidor, para dar valor agregado a la materia prima local. Estos ingredientes tradicionalmente son utilizados en productos salados, por lo que es novedoso su uso en productos dulces. Se prepararon 3 formulaciones con papa oca (n°1: con albahaca en la masa, n°2: con baño de albahaca y n°3: con baño de albahaca y otros ingredientes). Se evaluó sensorialmente la aceptabilidad en escala hedónica verbal de 9 puntos, con 108 consumidores habituales de budín (50 hombres, 58 mujeres, 17 a 59 años). En general, los consumidores mayores de 30 años evaluaron con mayor puntaje a las 3 muestras, atrayéndoles más el aspecto visual, el sabor y la textura. Los productos n°2 (“aroma a carnaval”) y n°3 (“bocado de carnaval andino”) gustaron más por el aroma y la aceptabilidad general ($p < 0,05$), pero el n°3 además gustó por su aspecto visual. Los resultados mostraron que las papas andinas y la albahaca pueden ser incorporadas a preparaciones dulces tradicionales y ser aceptadas por los consumidores.

ABSTRACT

The aim of this research was to develop a baked product with two regional ingredients (oca potato and basil), with acceptable sensory characteristics, in order to confer added value to the local raw material. These ingredients are traditionally used in salty products, and the use in sweet products would be novel. Three formulations were prepared (n°1: with basil, n°2: with basil topping and n°3: with basil topping and others ingredients. All formulations had oca potato). Sensory acceptability was assessed with a 9-point scale with 108 consumers (50 male, 58 female, 17-59 years old). In general, consumers over 30 years old best assessed the samples, due to its visual appearance, flavor and texture. The formulations n°2 and n°3 were most accepted because of the aroma and general acceptability ($p < 0.05$). Besides, the formulation n°3 was most accepted because of the visual aspect. In conclusion, the Andean potatoes and basil could be added to traditional sweet products, with good acceptance by consumers.

Palabras clave: papas andinas-alimentos horneados-análisis sensorial

Keywords: Andean potatoes-baked foods-sensory analysis

1. INTRODUCCIÓN

El budín es un tipo de alimento de la cocina inglesa y estadounidense que, en su sentido más general, suele ser dulce. En nuestro país, el budín

es un producto tradicional elaborado con sabores clásicos a vainilla, limón o cacao, de textura esponjosa y sabor dulce, consumido

preferentemente por la tarde acompañado con té, mate o café.

En la Puna, altiplanicie ubicada a unos 3.500 msnm, las características del suelo permiten el cultivo de tubérculos como el ulluco, la oca y papas, maíz, quinoa, kiwicha y kañiwa. Los pobladores de esta región soportan una situación socioeconómica precaria caracterizada por la falta de trabajo y la pérdida de patrones alimentarios, con economías de subsistencia (Santoni y Torres 2002). Esta situación ha mejorado en los últimos años debido a la demanda de alimentos andinos en diferentes mercados nacionales e internacionales. Sin embargo la falta de generación productos procesados con alto valor agregado es una barrera para que el productor pueda sacar provecho de esta oportunidad de desarrollo. Se sabe además, que existe una creciente demanda por alimentos con propiedades saludables, de calidad y con identidad. Las tradiciones culinarias de la región del noroeste son consideradas un patrimonio a ser valorizado y una herramienta para el desarrollo local (Santoni y Torres 2002).

Actualmente, las “papas andinas” son consideradas un alimento gourmet por las grandes cocinas del país y poseen excelentes características nutricionales, por sus proteínas y minerales. Se dividen en tres grandes grupos, uno de ellos lo forman las ocas, de sabor dulce muy parecido a la batata. La oca es un tubérculo que se cultiva en la zona andina pero se comercializa como tal, sin valor agregado. Se consume principalmente en sopas, guisos, al horno y en preparaciones dulces y bebidas (Sangketkit, 2000) con demostrada capacidad antioxidante (Campos, 2006; Chirinos, 2009). Estos últimos autores estudiaron la calidad sensorial, percibida por el consumidor, de ocas provenientes de Bolivia, Argentina y cultivadas en Nueva Zelanda. Concluyeron que los colores brillantes y las ocas de 8 cm de largo y 3 cm de diámetro son las preferidas al momento de comprarlas; y, tanto hervidas como horneadas, se prefieren poco amargas, más dulces y de textura harinosa. Lotufo Haddad (2017) desarrolló mermeladas a base de mezclas de papa oca o collareja y frutilla y manzana, concluyendo que la aceptabilidad se asocia al contenido de frutilla y se relaciona positivamente con la untabilidad, el color rojo del producto y el balance acidez-dulzor percibido, y que los sentimientos tales como “típico, autóctono” favorecieron la respuesta hedónica.

La albahaca, hierba aromática y refrescante, es comúnmente utilizada en platos salados, no así en preparaciones dulces, y es símbolo del carnaval andino: nuestro carnaval “tiene aroma a albahaca”. La idea de este trabajo es su incorporación como materia prima de un alimento dulce.

El desarrollo de nuevos productos que satisfagan las necesidades del consumidor se ha convertido en una prioridad para la industria y esto ha promovido la búsqueda de nuevos ingredientes, en nuestro caso materia prima de la región.

El análisis con consumidores tiene como objetivo investigar si al consumidor le gusta un producto, lo prefiere con respecto a otro o lo encuentra aceptable según sus propiedades sensoriales, según Lawless (1998). Bruschi (2015) estudió la aceptabilidad e intención de compra de productos horneados (pan y galletas) de color morado en consumidores de 18 a 30 años, y concluyó que es importante desarrollar estrategias de marketing y comunicación de información hacia esos productos. Vanhonacker (2013) analizó a través de encuestas la actitud de los consumidores hacia la innovación en la formulación de alimentos tradicionales, encontrando que la mayor aceptación se da en productos en el que se refuerza el carácter tradicional del alimento como por ejemplo, una etiqueta que destaque el origen de la materia prima. Además, la elección de un alimento está afectada por el aroma, por ejemplo, la exposición al aroma cítrico disminuye la elección de quesos (De Wijk, 2012), el aroma a pan aumenta la elección de productos horneados (De Wijk, 2018).

La evaluación de las características sensoriales percibidas por el consumidor es esencial al momento de diseñar un producto alimenticio nuevo, modificado, optimizado o mejorado, según Stone (1993). Existen numerosas interacciones entre las características sensoriales y el alimento que se ingiere que dan lugar a percepciones que determinan su aceptabilidad. Estas características las utiliza la industria alimentaria para el desarrollo de alimentos de gran aceptación por el consumidor.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un budín con dos ingredientes regionales (papa oca y albahaca), con características sensoriales aceptables por el consumidor, a fin de dar valor agregado a la materia prima local. Lo novedoso de este alimento radica en agregar valor a un producto horneado dulce con ingredientes

tradicionalmente utilizados en la elaboración de productos salados.

Finalmente, la realización de este estudio impacta: en la producción primaria local (estimulando su cultivo y consumo), en la industria alimentaria (proponiendo productos innovadores) y en el turismo gastronómico local.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de las muestras

Las ocas (*Oxalis tuberosa*) se compraron en mercados locales y provinieron de productores de la zona de la Quebrada del Toro; el resto de los ingredientes se adquirieron en supermercados locales. Se formularon tres muestras, a las que se les asignó un nombre de fantasía (Tabla 1): n°1 (con albahaca dentro de la preparación), n°2 (con baño de albahaca) y n°3 (con baño de albahaca y otros ingredientes), todas con papa oca. Para la preparación, se comenzó con el lavado de las ocas con abundante agua, luego se cocinaron al vapor y se pisaron (con cáscara). Las tres muestras se elaboraron según una receta básica de budín: se mezclaron el azúcar, los huevos y el jugo de limón (según el caso), se agregó la crema y la papa oca pisada; luego, se fue agregando la harina integrándola a la preparación hasta obtener una masa blanda. Se llevaron a horno a 180 °C durante 40 minutos. El baño de azúcar se realizó con azúcar impalpable, jugo de limón y hojas de albahaca procesadas, y se agregó al sacar la preparación del horno.

Tabla 1. Ingredientes y cantidades utilizadas en la elaboración de los budines.

Ingredientes	Budín ^a		
	Azúcar de albahaca (n°1)	Aroma a carnaval (n°2)	Carnaval andino (n°3)
Harina leudante	300 g	300 g	450 g
Azúcar	200 g	200 g	200 g
Huevos	150 g	150 g	300 g
Crema de leche	100 ml	100 ml	50 ml
Papa oca	125 g	125 g	200 g

Miel		200 g
Café		50 ml
Azúcar impalpable	100 g	100 g
Hojas de albahaca	6	6
Jugo de limón	1 cda.	1 cda.

^a Cantidades para elaborar un budín.

2.2 Cálculo de la composición química proximal

Se estimó de forma teórica la composición en macronutrientes utilizando las tablas de LATINFOODS (2019). Para la papa oca se utilizaron datos experimentales previamente estudiados: grasa (Soxhlet), proteínas (Kjeldahl), hidratos de carbono (por diferencia).

2.3 Aporte total de calorías

Se estudió el poder calorífico de cada producto formulado, es decir, la máxima cantidad de energía que se obtiene de las sustancias que conforman el alimento cuando se las quema. Se empleó una bomba calorimétrica adiabática (Parr-1341 EE). En primer lugar, se determinó la capacidad calorífica de la bomba con un patrón de ácido benzoico; luego cada muestra (aprox. 1,7g) fue combustionada en la bomba registrándose la variación de la temperatura en función del tiempo. Los análisis se realizaron por duplicado.

2.4 Análisis sensorial con consumidores

Se realizó con 108 personas (50 hombres, 58 mujeres, 17 a 59 años), consumidores habituales de budín (condición excluyente para realizar la prueba). Treinta y cinco consumidores eran mayores de 30 años. Las muestras, porciones de aproximadamente 7 cm de largo, 3 cm de ancho y 0,5 cm de espesor, se codificaron con tres dígitos al azar y se presentaron de manera monádica. Se les solicitó que evalúen la aceptabilidad del aspecto visual, aroma, sabor, textura y en general, para cada producto en una escala hedónica verbal de 9 puntos (1= “me disgusta muchísimo”, 9= “me gusta muchísimo”) y se habilitó un espacio

para agregar comentarios. Se les proveyó agua para enjuagarse entre las muestras.

2.5 Análisis de datos

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para identificar diferencias entre las muestras y según sexo y rango de edad (menores y mayores de 30 años), y para estudiar diferencias en el aporte calórico. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey. Para todos los análisis se estableció una significancia del 5%. Todos los análisis se realizaron con el programa Infostat V.2016p.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 1 se observan las muestras preparadas y posteriormente evaluadas sensorialmente, junto con sus nombres de fantasía. En la formulación n°1 se puede observar una leve coloración verde en la miga; en las otras, se observa en el baño cobertor.

El ANOVA mostró que no hubo interacción muestra×sexo en la evaluación sensorial, esto significa que la aceptabilidad de los budines fue similar para hombres y mujeres; sin embargo se observaron efectos significativos ($p < 0,05$) con respecto a la edad. En general, independiente de la muestra, los consumidores mayores de 30 años mostraron mayor atracción hacia el aspecto visual, el sabor, la textura y la aceptabilidad general (datos no mostrados).



Figura 1. Budines evaluados (n°1) Azúcar de albahaca, (n°2) Aroma a carnaval y (n°3) Carnaval andino.

En la tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas sensoriales de aceptabilidad por atributos. Se observa que los productos “carnaval andino” y “aroma a carnaval” gustaron

significativamente más por el aroma y la aceptabilidad general, pero el “carnaval andino” además gustó por su aspecto visual.

Según lo expresado en los comentarios, los consumidores afirmaron que a primera vista, el color verde les provocaba rechazo. Pero, al probar el “glasé verde” les generó distintas sensaciones positivas. Caiza Asitimbay, (2010) elaboró galletas con papa oca para niños, halló también elevada aceptabilidad (alrededor del 80%) del color, aroma, forma y textura. El sabor a papa oca no fue rechazado, lo que permitió afirmar que es posible su incorporación en preparaciones de este tipo en las cantidades utilizadas (200 g). Villarroel y col. (1996) estudiaron la calidad sensorial (apariencia, sabor, color, textura y aroma) de budines elaborados con un ingrediente regional, harina de lupino dulce; los consumidores no aceptaron más de un 11% en la formulación. Por otro lado, Vera (1995) reporta el desarrollo de budines enriquecidos con vitaminas destinados a adultos mayores, logrando una aceptabilidad del 98%.

Otros autores, como Guemes Vera (2018), han expresado que es posible reemplazar la harina de trigo con harina precocida de papa oca para elaborar pan, hasta en una proporción del 6%, sin que el consumidor encuentre diferencias con el pan común. Concluyen también que es posible considerar a este tubérculo como una nueva alternativa para elaborar productos horneados.

Con respecto al aporte calórico, no se hallaron diferencias ($p < 0,05$) entre las formulaciones estudiadas: n°1 “azúcar de albahaca” ($245,5 \pm 2,1$ kcal/100g), n°2 “aroma a carnaval” ($256,0 \pm 10,6$ kcal/100g) y n°3 “carnaval andino” ($267,5 \pm 5,6$ kcal/100g). Estos valores están por debajo de los valores asignados a diferentes budines tradicionales, según la información que puede ser encontrada en la web.

La Tabla 3 muestra los aportes teóricos de macronutrientes. Los productos n°1 y n°2 fueron similares; se diferenció el n°3 lógicamente por el uso de otros ingredientes.

Tabla 2. Evaluación sensorial con consumidores de las tres formulaciones de budines estudiadas.

Budín		
Azúcar de albahaca	Aroma a carnaval (n°2)	Carnaval andino (n°3)

	(n°1)		
Aspecto visual	4,9±1,8 ^a	6,1±1,7 ^b	6,9±1,5 ^c
Aroma	5,6±1,9 ^a	6,2±1,8 ^b	6,4±1,6 ^b
Sabor	5,9±1,8 ^a	5,9±2,3 ^a	6,3±1,9 ^a
Textura	6,2±1,9 ^a	6,2±1,9 ^a	6,7±1,3 ^a
Aceptabilidad gral.	5,9±1,8 ^a	6,1±2,1 ^b	6,8±1,7 ^b

Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba de Tukey.

Tabla 3. Cantidad de macronutrientes cada 100 g de producto.

	Budín		
	Azúcar de albahaca (n°1)	Aroma a carnaval (n°2)	Carnaval andino (n°3)
Hidratos de c.	70,6 g	70,8 g	53,7 g
Proteínas	10,2 g	9,10 g	5,80 g
Grasas	0,57 g	0,52 g	3,30 g
Fibra	3,29 g	2,95 g	1,0 g
Valor energético	329 kcal	324 kcal	269 kcal

4. CONCLUSIONES

En la búsqueda de nuevos ingredientes para la preparación de productos alimenticios que satisfagan los gustos de los consumidores, ha quedado demostrado, en este trabajo, que las papas andinas y la albahaca pueden ser incorporadas a preparaciones dulces tradicionales.

La utilización habitual de papa oca y albahaca en postres dulces horneados, podría constituir una manera de aportar valor agregado a esos productos regionales. Contribuiría también a alentar su incorporación al mercado de las grandes ciudades, lo cual favorecería el desarrollo económico de los productores regionales.

5. AGREDECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento aportado por la Facultad de Ciencias Exactas, UNSa, y proyectos PIP CONICET n°224 y PICT 2016-604, que hizo posible que el producto desarrollado fuera presentado por alumnos de la cátedra de Tecnología de los Alimentos (Facultad de Ciencias Exactas) en el “X Concurso Estudiantil de Alimentos Innovadores de Rosario 2019” (CEIAR 2019).

6. REFERENCIAS

- Bruschi V., Teuber R., Dolgoplova I., Acceptance and willingness to pay for health enhancing bakery products. Empirical evidence for Young urban Russian consumers, *Food Quality And Preference*, 46, 79-91, 2015.
- Caiza Asitimbay. C.D., *Elaboración y valoración nutricional de tres productos alternativos a base de oca (Oxalis tuberosa) para Escolares del Proyecto Runa Kawsay*, Tesis de grado, Ecuador, 2010. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/729>
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., Cisneros-Zevallos, L., Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas), *Journal of the science of food and agriculture*, 86, 1481-1488, 2006.
- Chirinos, R., Betalleluz-Pallardel, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., Campos, D., HPLC-DAD characterization of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity, *Food Chemistry*, 113, 1243-1251, 2009.
- De Wijk R.A., Zijlstra S.M., Differential effects of exposure to ambient vanilla and citrus aromas on mood, arousal and food choice, *Flavour*, 1, 24, 2012.
- De Wijk, R.A., Smeets, P.A., Polet, I.A., Holthuysen, N.T., Zoon, J., Vingerhoeds, M.H., Aroma effects on food choice task behavior and brain responses to bakery food product cues, *Food Quality and Preference*, 68, 304-314, 2018.
- Gumes Vera, N., Espino Manzano, S., Hernández Hernández, H., *Alternative and*

- Replacement Foods, Handbook of Bioengineering*, Cap. VI: Use of Oxalis tuberosa in gluten-free baked goods, Academic Press, Londres, 2018.
- Latinfoods. Tabla de composición química de los alimentos, 2019.
- Lawless, H.T., Heymann, H., *Sensory evaluation of food. Principles and practices*, Chapman and Hall (ITP), 2° ed, New York, 1998.
- Lotufo Haddad, A., Margalef, M.I., Armada, M., Goldner, M.C., Physicochemical and sensory properties of dietetic marmalades made from mixtures of fruits and Andean tubers, *Journal of the Science of the Food and Agriculture*, 97, 4124–4134, 2017.
- Sangketkit, C., Savage, G.P., Martin, R.J., Searle, B.P., Mason, S.L., Sensory evaluation of new lines of oca (*Oxalis tuberosa*) grown in New Zealand, *Food Quality and Preference*, 11, 189-199, 1999.
- Santoni, M.E., Torres, G.F., *El sabor de los pucheros. Los patrones alimentarios del Noroeste*. Primeras Jornadas de Patrimonio gastronómico: La cocina como patrimonio (in)-tangible. Imprenta del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2002. https://www.folkloretradiciones.com.ar/literatura/temas_6.pdf
- Stone, H., Sidel, J.L., *Sensory Evaluation Practices*, Academic. Press, 2° ed., New York, 1993.
- Vanhonacker, F., Küne, B., Gellynck, X., Guerrero, L., Hersleth, M., Verbeke, W., Innovations in traditional foods: impact on perceived traditional character and consumer acceptance, *Food Research International*, 54, 1828-1835, 2013.
- Vera, M.S., Wittig de Penna, E., Bungler, A., Soto, D., Cariaga, L., Fuanzalida, R., Cornejo, E., López, I., Desarrollo de productos para el adulto mayor: budín enriquecido con vitaminas. *Archivos. Latinoamericanos de Nutrición*, 45, 63-66, 1995.
- Villarroel, M., Biolley, E., Miranda, H., Wittig, E., Catalán, M., Caracterización sensorial del budín de lupino utilizando la metodología de superficie de respuesta, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 46, 230-233, 1996.

Empleo de acoplamiento molecular para análisis comparativo de enzimas β -galactosidasa de bacterias lácticas

Sesín, Abraham A.^{1,2}; Gómez, Jorge N.^{1,2}; Carol, Juan J.^{1,2}; Bustos, Ana Y.^{1,2} y Ledesma, Ana E.^{1,3}

(1)Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-UNSE-CONICET), RN 9- Km 1125, (4206) Santiago del Estero, Argentina

nicolasgoib@gmail.com; carolpazjuanjose@gmail.com; abrahamsesin97@gmail.com

(2)Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA), Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano Sur 1912, (4200) Santiago del Estero, Argentina. abustos@uspt.edu.ar

(3)Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano Sur 1912, (4200) Santiago del Estero, Argentina.

anael@unse.edu.ar

RESUMEN

Las enzimas β -galactosidasas de *Lactobacillus (L.) reuteri* y *L. sakei* tienen dos usos biotecnológicos principales; la remoción de lactosa en los productos lácteos y la producción de galactooligosacáridos. Teniendo en cuenta su importancia, en este trabajo se realizaron estudios de acoplamiento molecular para determinar los mecanismos moleculares implicados en el reconocimiento de las enzimas con su sustrato. Los valores de energías de enlace y constantes de inhibición obtenidos fueron de -4,30 y -3,71 kcal/mol y 0,56mM y 1,92 mM para las cepas L103 y Lb790, respectivamente. Estos resultados sugieren que la enzima de *L. reuteri* tiene mayor afinidad hacia lactosa, lo que coincide con lo reportado previamente. Asimismo, se detectó un alto porcentaje de puentes hidrógeno con GLU464, SER416, ALA418 y GLU494 en la interacción de la enzima de *L. reuteri* mientras que ASN95, ASP210, HIS387, TYR511, TRP564 y GLU533 se encontraron en la homóloga de *L. sakei*. Además, algunos residuos hidrófobos están presentes en los sitios de unión de ambas enzimas.

Estos resultados proporcionan un marco para examinar la base molecular del reconocimiento de lactosa y para el diseño futuro de variantes comercialmente útiles.

ABSTRACT

β -Galactosidases enzymes from *Lactobacillus (L.) reuteri* and *L. sakei* have two main biotechnological uses in the food industry; the removal of lactose in dairy products and the production of galactooligosaccharides. Taking into account its importance, in this work molecular models will be used for comparative molecular docking studies against lactose.

The binding energies and inhibition constants obtained were -4.3 and -3.71 kcal/mol and 5.62×10^3 and 1.92×10^3 mM for *L. reuteri* L103 and *L. sakei* Lb790, respectively. These results suggest that the *L. reuteri* homologous enzyme has the highest affinity towards lactose, which is consistent with that previously reported. Also, a higher percentage of hydrogen bonding with GLU464, SER416, ALA418 and GLU494 were detected in the interaction of *L. reuteri*- β -galactosidase with lactose while ASN95, ASP210, HIS387, TYR511, TRP564 and GLU533 were found in the *L. sakei* homolog. Besides, some hydrophobic residues are present at the binding sites of both enzymes.

These results provide a framework for examining the molecular basis of lactose recognition and for future design of commercially useful variants.

Palabras claves: β -Galactosidasa-acoplamiento molecular-energía de enlace

Keywords: β -Galactosidase- molecular docking-binding energy

1. INTRODUCCIÓN

Las β -galactosidasas (β -gal; EC 3.2.1.23) catalizan la hidrólisis y transgalactosilación de β -D-galactopiranosidos, como la lactosa (Figura 1).

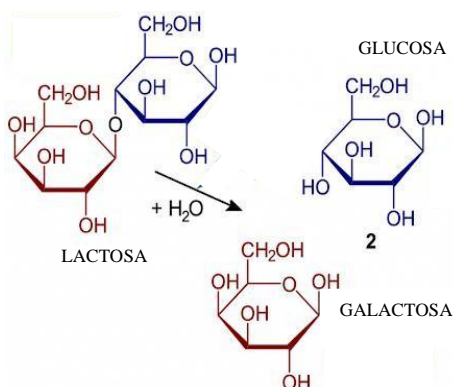


Figura 1. Reacción hidrolítica de la β -galactosidasa en presencia de lactosa como sustrato.

Estas enzimas presentan varias aplicaciones interesantes ya que son empleadas para el diseño de nuevos productos lácteos con bajo contenido de lactosa y también favorecen su metabolismo en el intestino con el consiguiente alivio de los síntomas de intolerancia. Además de esta propiedad probiótica, estas enzimas también catalizan reacciones de transgalactosilación que permiten la síntesis de galactooligosacáridos (GOS) (Fara 2020). Los GOS se definen como carbohidratos no digeribles, formados por dos a cinco monómeros de galactosa y a menudo una unidad de glucosa terminal unida por enlaces glicosídicos. Estos compuestos son considerados prebióticos ya que son utilizados selectivamente por microorganismos del hospedador, confiriendo un beneficio para su salud. Los GOS han demostrado capacidad para modular la microbiota colónica, lo que se refleja en un incremento de bifidobacterias y lactobacilos y disminución de microorganismos indeseables (Macfarlane 2008). Otros efectos atribuidos a los GOS son reducción del colesterol sérico y la presión arterial, prevención del cáncer de colon y efectos inmunoestimulantes (Tymczyszyn 2014). Las β -galactosidasas pertenecen a la superfamilia GH-A de glucósidos hidrolasas que comprende las familias GH-1, GH-2, GH-35, GH-42 y GH-59 (Cantarel 2009). Todos los miembros de la superfamilia GH-A contienen un dominio de barril catalítico TIM (α/β)₈, con dos residuos de

glutamato esenciales involucrados en la hidrólisis de lactosa: uno que actúa como donante de protones y el otro como nucleófilo (Vukić 2015). Teniendo en cuenta su importancia, la búsqueda y caracterización de nuevas β -galactosidasas en microorganismos generalmente reconocidos como seguros (GRAS) resulta un tema de creciente interés. Entre los microorganismos GRAS, las bacterias lácticas (BAL) son una fuente adecuada de enzimas β -galactosidasas. Las BAL se han utilizado ampliamente para la conservación y procesamiento de alimentos como la leche, la carne y las verduras. Adicionalmente, algunas cepas poseen propiedades probióticas; es decir que son capaces de ejercer un efecto benéfico en el hospedador cuando son administrados en concentraciones apropiadas. *L. sakei*, un miembro importante de BAL, participa de la fermentación de diversos productos cárnicos, además de otros productos alimenticios crudos fermentados de origen vegetal y animal (Chaillou 2005). *L. reuteri* es una cepa heterofermentativa dominante del tracto gastrointestinal de humanos y animales (Bustos 2018; Sung 2003). En efecto, se considera que es la única especie de *Lactobacillus* que habita el tracto gastrointestinal de todos los vertebrados y mamíferos (Casas 2000).

Las enzimas β -galactosidasas de *L. reuteri* L103 y *L. sakei* Lb790 han sido descritas en trabajos previos como heterodímeros codificados por dos genes cromosomales parcialmente superpuestos; *lacL* (subunidad larga) y *lacM* (subunidad pequeña) (Nguyen 2006; Iqbal 2011). Ambas enzimas pertenecen a la gran familia de las GH2 que al igual que las de la familia GH1 presentan como sustrato natural la lactosa. La caracterización bioquímica de ambas enzimas, realizada por Nguyen (2006) y Iqbal (2011) permitieron establecer que presentan estrecha especificidad de sustrato ya que hidrolizan el o-nitrofenil- β -D-galactopiranosido (oNPG) pero no otros sustratos estructuralmente relacionados. Para el caso de *L. sakei* se determinó que la temperatura óptima para la hidrólisis de lactosa y oNPG es de 55 °C mientras que el pH óptimo es de 6,5 cuando se usa oNPG como sustrato y 7,5 con lactosa (Iqbal 2011).

Por su parte, el pH óptimo reportado para la enzima β -galactosidasa de la cepa L103 fue de 8,0 para la hidrólisis de lactosa y oNPG. Sin embargo, la enzima presentó mayor estabilidad a pH 6,0, reteniendo más del 90% de su actividad cuando se

la incubó a ese pH durante 3 h a 37 °C. La temperatura óptima fue de 45 y 50 °C cuando se utilizaron lactosa y oNPG como sustratos, respectivamente, en condiciones de ensayo estándar (pH 6,5 durante 10 min) (Nguyen 2006). Actualmente, no hay datos publicados sobre las estructuras tridimensionales de estas importantes β -galactosidasas, que permitan interpretar el mecanismo molecular de esta actividad. Hasta la fecha, sólo la enzima perteneciente a *Lactobacillus plantarum* fue cristalizada con éxito (Acebrón 2017). Esta falta de datos estructurales y moleculares representa un obstáculo para el diseño de variantes mejoradas de β -galactosidasa con potencial aplicación industrial. En este sentido, los métodos computacionales se presentan como valiosas herramientas para la evaluación de la actividad de compuestos bioactivos, a fin de elucidar sus mecanismos de acción en sistemas biológicos. Dentro de ellos, los estudios de acoplamiento molecular tienen el potencial de proporcionar información valiosa sobre los mecanismos moleculares implicados en el reconocimiento de las diferentes enzimas con su sustrato y en particular, los residuos involucrados en las interacciones. El establecimiento de interacciones intermoleculares es esencial para que la molécula bioactiva tenga su efecto biológico y pueden ser el principal determinante de las reacciones en las que participan aminoácidos de la proteína. Estos datos pueden servir como base para estudios de mutagénesis dirigida, entre otras aplicaciones relacionadas con la ingeniería enzimática, lo cual permitiría potenciar las aplicaciones de estas valiosas enzimas.

Por lo expuesto, en el presente trabajo se realizaron estudios comparativos de acoplamiento molecular de enzimas β -galactosidasas de dos cepas de BAL de importancia biotecnológica, empleando modelos moleculares previamente obtenidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ensayos de acoplamiento molecular de enzimas beta galactosidasas de bacterias lácticas

Se realizaron ensayos de acoplamiento molecular de enzimas β -galactosidasas pertenecientes a las cepas lácticas *L. reuteri* L103 y *L. sakei* Lb790, seleccionadas por sus potenciales propiedades probióticas. Los modelos moleculares fueron

obtenidos por nuestro grupo de trabajo en un estudio previo (datos no publicados). Para ello, las secuencias fueron obtenidas de bases de datos públicas (NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) (GenBank: ABF72116 y GenBank: CAA57730.1, para las cepas L103 y Lb790, respectivamente). Los modelos teóricos se crearon con el servidor Swiss model (<https://swissmodel.expasy.org/>) utilizando como plantilla la enzima β -galactosidasa de *Thermotoga maritima* que presentó un porcentaje de identidad >30%. Las salidas de los modelos generados se descargaron como archivos pdb para su posterior análisis, optimización y visualización utilizando el programa PyMOL, que además permitió obtener la estructura secundaria de cada enzima. Los modelos obtenidos fueron validados mediante un Modelo Cualitativo de Análisis de Energía (QMEAN) y diagrama de Ramachandran. La estructura molecular del sustrato lactosa empleado en este estudio, se recuperó de PubChem (CID 6134).

El sitio de unión entre la enzima β -galactosidasa y el ligando se exploró mediante acoplamiento molecular con el programa AutoDock 4.2, empleando el algoritmo genético Lamarckian (LGA).

Las enzimas se consideraron rígidas y se permitió que todos los enlaces torsionales rotativos del ligando se relajaran durante los cálculos de acoplamiento. Se utilizaron los parámetros predeterminados de AutoDock y se consideró un volumen de rejilla (126 x 126 x 126 con un espaciado de rejilla de 0,375 Å) para evaluar las interacciones atómicas en los sitios de unión con mayor precisión. Para identificar los mejores complejos proteína-ligando, se utilizó la tolerancia de la desviación cuadrática media (RMSD) de 1,0 Å. Se seleccionó la conformación del ligando con la energía libre de unión más baja (ΔG), elegida entre los conformeros más favorecidos.

2 3. RESULTADOS

Las β -galactosidasas se han aislado y caracterizado a partir de diferentes organismos, sin embargo, la información estructural disponible de enzimas aisladas de cepas lácticas aún es escasa. En efecto, en la actualidad sólo la estructura cristalina de enzima perteneciente a *L. plantarum* se encuentra reportada (Acebrón 2017). Por ello, previo a este trabajo realizamos

un modelado por homología de las enzimas β -galactosidasas de *L. reuteri* L103 y *L. sakei* Lb790, empleando el servidor Swiss model (<https://swissmodel.expasy.org/>), y utilizando como plantilla la enzima β -galactosidasa de *Thermotoga maritima*. Para *L. reuteri* L103, la estructura secundaria estimada empleando el programa PyMOL, fue la siguiente: 15 % de α -hélice, 24 % de lámina β , 19 % giro y 42% desordenada, mientras que para *L. sakei* Lb790 se estimó un 15 % de α -hélice, 22 % de lámina β , 11 % giro y 52% desordenada, indicando que ambas estructuras son muy similares entre sí.

Estos modelos fueron empleados en el presente trabajo a fin de predecir los residuos que participan de la unión de lactosa a β -galactosidasas.

Es importante destacar que, para ambas enzimas, las simulaciones de acoplamiento molecular se realizaron utilizando un solo monómero (correspondiente a la subunidad mayor), ya que allí se encuentran los residuos que interactúan directamente con el sustrato (Juers 2001). La subunidad mayor (L) de las enzimas β -galactosidasas de *L. reuteri* L103 y *L. sakei* Lb790 fueron acopladas a lactosa con valores de energías negativos, sugiriendo que el método usado fue apropiado. Los valores de energías de enlace obtenidos fueron de -4,3 kcal/mol para *L. reuteri* L103 y de -3,71 kcal/mol para *L. sakei* Lb790, mientras que las constantes de inhibición fueron de 0,562 mM y 1,92 mM para *L. reuteri* y *L. sakei*, respectivamente. Esta última se corresponde con el recíproco de la constante de unión, por lo que cuanto menor sea su valor mayor será la constante de unión enzima-sustrato. Por lo tanto, estos resultados de energía libre más negativa y de menor constante de inhibición, sugieren que la enzima homóloga de *L. reuteri* tiene la mayor afinidad hacia lactosa (Tabla 1). Estos resultados coinciden con trabajos previos experimentales, que reportan un valor de Km de 13 mM para *L. reuteri* (Nguyen 2006) más bajo que 20 mM correspondiente a *L. sakei* Lb790 (Iqbal 2011) y que indican una mayor afinidad de unión con *L. reuteri*.

Tabla 1. Constante de inhibición, energía de enlace y principales residuos involucrados en la interacción enzima-sustrato.

Parámetros	<i>L. reuteri</i> L103	<i>L. sakei</i> Lb790
Energía de enlace (kcal/mol)	-4,30	- 3,71
Constante de inhibición (mM)	0,56	1,92
Km (mM)	13 ^a	20 ^b
Principales residuos involucrados en la interacción/ Tipo de interacción	Glu464, SER416, ALA418 y GLU494 (Puentes hidrógenos). TRP420, TYR470 y HIS498 (Interacciones hidrofóbicas)	ASN95, ASP210, HIS387, TYR511, TRP564 y GLU533 (Puentes hidrógenos). PHE598, HIS414, GLU412, GLU465 (Interacciones hidrofóbicas)

^a Nguyen 2006

^b Iqbal 2011

Es importante destacar que la Km proporciona una noción de la afinidad que tiene la enzima por su sustrato; es decir que cuanto mayor es Km menor es la afinidad.

Los cálculos de acoplamiento molecular indican que la lactosa se une a una cavidad semi abierta en el dominio catalítico de la enzima, en una estructura desordenada que fácilmente permite el ingreso de lactosa, tal como se muestra en la Fig. 2.

Para la β -galactosidasa de *L. reuteri* L103, el ligando lactosa interacciona de manera longitudinal con la enzima en un sitio con un alto contenido de estructura desordenada y un cierto grado de alfa hélice, mientras que por el contrario en el caso de *L. sakei* Lb790 se une en un sitio con estructura desordenada, con contribución de estructura de lámina beta. Ambas cavidades son altamente hidrofílicas debido a la proximidad al medio con el solvente, al igual que la lactosa debido a la cantidad de grupos OH presentes en su estructura.

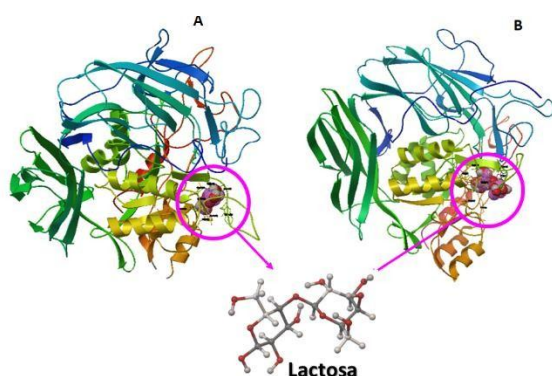


Figura 2. Sitios de unión del sustrato lactosa a las enzimas β -galactosidasa de cepas lácticas. A- *Lactobacillus reuteri* L103, B- *Lactobacillus sakei* Lb790

Como se muestra en la Figura 3, para el caso de β -galactosidasa de *L. reuteri* L103, el residuo GLU464 interactúa formando dos puentes hidrógeno con lactosa con distancias de enlace de 2,11 Å y 1,77 Å. Este residuo ácido es equivalente al GLU461 reportado como sitio activo en β -galactosidasa de *E. coli* (Vukić 2015). También los residuos SER416, ALA418 y GLU494 forman puente hidrógeno con longitudes de interacción de 2,13 Å; 1,97 Å y 1,77 Å, respectivamente. Mientras que los tres residuos TRP420, TYR470 y HIS498 forman interacciones hidrofóbicas hacia la lactosa. Estos resultados sugieren que β -galactosidasa de *L. reuteri* L103 tiene una fuerte capacidad de unión a la lactosa para facilitar la hidrólisis.

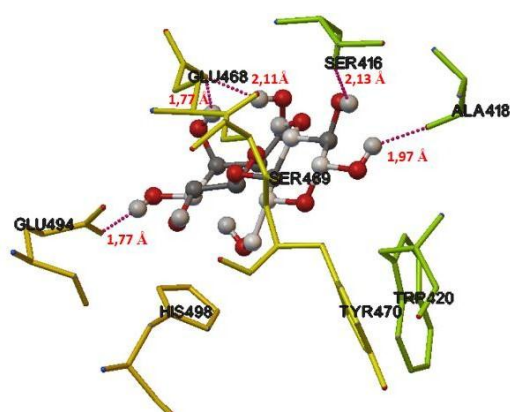


Figura 3. Docking molecular de β -galactosidasade *Lactobacillus reuteri* L103 modelada unida a lactosa. Las líneas de puntos indican las interacciones puente hidrógeno entre la enzima y la lactosa

Por su parte, en la enzima de *L. sakei* Lb790, mostrada en la Figura 4, los residuos ASN95, ASP210, HIS387, TYR511, TRP564 y GLU533

forman puente hidrógeno con lactosa con distancias de interacción de 2,09 Å; 1,91 Å; 2,21 Å; 1,73 Å; 1,70 Å y 2,07 Å, respectivamente. Además, los residuos PHE598, HIS414, GLU412, GLU465 participan de interacciones hidrofóbicas con el sustrato. Es importante resaltar que el residuo GLU533 es el equivalente a GLU537 reportado como nucleófilo de sitio activo en *E. coli* β -galactosidasa (Vukić 2015), mientras que sólo interacciona hidrofóticamente con GLU465. De manera interesante, de acuerdo a los resultados obtenidos, el residuo GLU465 de esta enzima no forma enlace puente hidrógeno con la lactosa.

Estos resultados indicarían que a pesar de la mayor cantidad de puente hidrogeno para esta última enzima, la formación de puente hidrogeno con GLU465 estabiliza más fuertemente el complejo para la β -galactosidasade *L. reuteri* L103 con lactosa, lo que se refleja en su menor energía en relación al complejo enzima-sustrato de *L. sakei* Lb790, que sólo presenta una interacción hidrofóbica con este residuo.

Estos resultados de acoplamiento molecular permiten identificar correctamente los residuos implicados en la hidrólisis de lactosa por parte de estas enzimas de creciente interés.

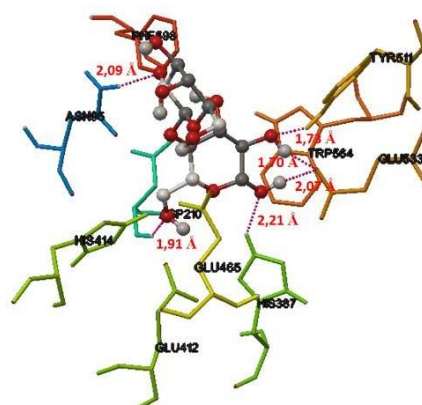


Figura 4. Docking molecular de β -galactosidasade *Lactobacillus sakei* Lb790 modelada unida a lactosa. Las líneas de puntos indican las interacciones puente hidrógeno entre la enzima y la lactosa.

4. CONCLUSIONES

Los estudios de acoplamiento molecular tienen el potencial de proporcionar información valiosa sobre los residuos involucrados en las interacciones enzima-sustrato, especialmente considerando que la alineación de secuencias no puede identificar claramente todos los residuos del sitio activo involucrados en el reconocimiento de lactosa. Los resultados de acoplamiento confirmaron las posiciones de los residuos del sitio activo en las estructuras modeladas de β -galactosidasa en *Lactobacillus reuteri* L103 y *Lactobacillus sakei* Lb790 en el complejo con lactosa. El residuo GLU465 de la β -galactosidasa de *L. reuteri* L103 formó puente hidrógeno, y su posición favoreció la unión con lactosa, lo cual es crucial para su actividad catalítica. Residuos hidrofóbicos como HIS, TYR y TRP están presentes en los sitios de unión de ambas enzimas analizadas.

A partir de los resultados de acoplamiento obtenidos, es evidente que los residuos de GLU activo están muy conservados entre las dos enzimas. Estos resultados proporcionan un marco para examinar la base molecular del reconocimiento de lactosa y el diseño futuro de variantes de β -galactosidasa comercialmente útiles.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto N° 23/C147 (Consejo de Investigaciones, Universidad Nacional de Santiago del Estero).

6. REFERENCIAS

- Acebrón, I., Plaza-Vinuesa, L., de Las Rivas, B., Muñoz, R., Cumella, J., Sánchez-Sancho, F., Mancheño, J. M. Structural basis of the substrate specificity and instability in solution of a glycosidase from *Lactobacillus plantarum*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Proteins and Proteomics*, 1865, 1227-1236, 2017.
- Bustos, A. Y., Font de Valdez, G., Fadda, S., Taranto, M. P. New insights into bacterial bile resistance mechanisms: the role of bile salt hydrolase and its impact on human health. *Food Research International*, 112, 250-262, 2018.
- Cantarel, B. L., Coutinho, P. M., Rancurel, C., Bernard, T., Lombard, V., Henrissat, B. The arbohydride-active enzymes databases (CAZy): an expert resource for glycomics. *Nucleic Acids Research*, 37, 223-238, 2009.
- Casas, I. A., Dobrogosz, W. J. Validation of the probiotic concept: *Lactobacillus reuteri* confers broad-spectrum protection against disease in humans and animals. *Microbiology Ecology. Health Dis*, 12, 247-285, 2000.
- Chaillou, S., Champomier-Verges, M. C., Cornet, M., Crutz-Le Coq, A. M., Dudez, A. M., Martin, V., Beaufils, S., Darbon-Rongere, E., Bossy, R., Loux, V., Zagorec M. The complete genome sequence of the meat-borne lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* 23K. *Nature Biotechnology*, 23, 1527-1533, 2005.
- Fara A, Sabater C, Palacios J, Requena T, montilla a, and Zárata G. Prebiotic galactooligosaccharides production from lactose and lactulose by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* CRL450. Food and function, Royal society of chemistry. DOI: 10.1039/D0FO00942C, 2020.
- Iqbal S., Nguyen T.H., Nguyen H.A., et al. Characterization of a heterodimeric GH2 β -galactosidase from *Lactobacillus sakei* Lb790 and formation of prebiotic galactooligosaccharides. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 59(8), 3803-3811, 2011.
- Juers, D.H., Heightman, T.D., Vasella, A., McCarter, J.D., Mackenzie, L., Withers, S.G., Matthews, B.W. A structural view of the action of *Escherichia coli* (*lacZ*) β -galactosidase. *Biochemistry*. 40:14781-14794, 2001.
- Nguyen T.H., Splechtna B., Steinböck M., Kneifel, W., Lettner, H. P., Kulbe, K. D., Haltrich, D. Purification and characterization of two novel β -galactosidases from *Lactobacillus reuteri*. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 54(14), 4989-4998, 2006.
- Macfarlane G. T, Steed H and Macfarlane S. Bacterial metabolism and health-related effects of galacto-oligosaccharides and other prebiotics, *J. Appl. Microbiol.*, 104, 305-344, 2008.
- Sung, H. W.; Chen, C. N.; Liang, H. F.; Hong, M.
- H. A natural compound (reuterin) produced by *Lactobacillus reuteri* for biological-tissue fixation. *Biomaterials* 24, 1335-1347, 2003.
- Tymczyszyn. E, Santos M. I, M. Costa D. Illanes

- C. A, and Gomez-Zavaglia A. History, synthesis, properties, applications and regulatory issues of prebiotic oligosaccharides, in Carbohydrates Applications in Medicine, ed. M. H. Gil, Research Signpost, Kerala, India, pp. 127–154, 2014.
- Vukić V, Hrnjez D., Milanović S., Iličić M., Kanurić K., Petri E., Modeling and Docking Analysis of β -galactosidase Enzymes from Commercially Important Starter Cultures Used in the Dairy Industry, *Food Biotechnology*, 29:248–262, 2015.

Alteraciones fisiológicas en *Prosopis nigra* por glifosato

Silva, Maria C.¹; Nieva, Maria J.¹; Meloni, Diego A.¹

(1)Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (S) 1912, Santiago del Estero
Mariacruz_silva@hotmail.com marijo-nieva@hotmail.com-dmeloniunse@gmail.com

RESUMEN

Plantaciones de *Prosopis nigra* reciben deriva de glifosato en el manejo de malezas. Se desconoce el impacto del herbicida sobre la fisiología de dicha especie. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del glifosato sobre la concentración de pigmentos fotosintéticos y de macronutrientes, en algarrobo negro. Los plantines se pulverizaron con dosis de 0, 45 y 90 g.e.a. glifosato ha⁻¹. Se cuantificaron concentraciones de clorofila a, b y carotenoides. Se determinaron concentraciones de magnesio, potasio, calcio y fósforo. La dosis más baja produjo disminución de 51 y 28 % en concentraciones de clorofilas a y b, en comparación con el testigo, respectivamente, sin afectar las concentraciones de carotenoides. La dosis más alta redujo en 75, 48 y 57 % las concentraciones de clorofilas a, b y carotenoides, respectivamente, en relación al testigo. Las concentraciones foliares de Mg²⁺, K⁺ y PO₄⁻³ disminuyeron con la dosis más baja de glifosato, con respecto al testigo. No se afectó la concentración de Ca²⁺. La dosis más alta también produjo disminución en las concentraciones de Mg²⁺, K⁺, PO₄⁻³, y Ca²⁺, con respecto al testigo. Se concluye que el glifosato disminuye la concentración de pigmentos fotosintéticos y de macronutrientes en *Prosopis nigra*.

ABSTRACT

Prosopis nigra plantations receive glyphosate drift in weed management. The impact of the herbicide on the physiology of this species is unknown. The objective of the work was to evaluate the effect of glyphosate on the concentration of photosynthetic pigments and macronutrients, in black carob. The seedlings were sprayed with doses of 0, 45 and 90 g e.a. glyphosate ha⁻¹. Chlorophyll a, b and carotenoid concentrations were quantified. Magnesium, potassium, calcium and phosphorus concentrations were determined. The lowest dose produced a 51 and 28% decrease in chlorophyll a and b concentrations, compared to the control, respectively, without affecting carotenoid concentrations. The highest dose reduced the concentrations of chlorophylls a, b and carotenoids by 75, 48 and 57%, respectively, in relation to the control. Foliar concentrations of Mg²⁺, K⁺ and PO₄⁻³ decreased with the lowest dose of glyphosate, with respect to the control. Ca²⁺ concentration was not affected. The highest dose also produced a decrease in the concentrations of Mg²⁺, K⁺, PO₄⁻³, and Ca²⁺, with respect to the control. It is concluded that glyphosate reduces the concentration of photosynthetic pigments and macronutrients in *Prosopis nigra*.

Palabras claves: herbicidas- pigmentos fotosintéticos-macronutrientes.

Keywords: herbicides- photosynthetic pigments-macronutrients.

INTRODUCCIÓN

Los algarrobos constituyen una fuente importante de recursos para las zonas áridas y semiáridas sudamericanas. La excelente madera, el uso de las vainas en la fabricación de alimentos, su aptitud medicinal y los colorantes, confirman su importancia. El algarrobo negro (*Prosopis nigra*) es una especie nativa de la

región fitogeográfica del Chaco Occidental y junto con el algarrobo blanco, son los árboles por excelencia de la región Giménez et al. (2003). Las plantaciones forestales como cualquier otro cultivo, son susceptibles a la competencia de las malezas por luz, agua y nutrientes, pudiendo comprometer su crecimiento y rendimiento Da Ponte et al. (2009). El manejo de malezas en

dichas plantaciones es una de las prácticas silvícolas más importante, donde predomina la utilización de herbicidas. Sin embargo, el uso recurrente de herbicida puede incrementar la posibilidad de deriva. La deriva accidental puede ocurrir por varios factores y constituye un serio problema para las plantaciones vecinas Lángaro et al. (2014).

El glifosato, N-fosfonometil glicina, (Duke y Powles, 2008) es el herbicida más utilizado por ser de acción sistémica, no selectivo y de baja residualidad en el suelo Alcántara de la Cruz et al. (2016).

El glifosato se absorbe a través del follaje y se traslada por tallos y raíces por vía floemática y se acumula en las zonas meristemáticas. Es el único herbicida capaz de inhibir específicamente la enzima 5-enolpiruvil-qui-quimato-3-fosfato sintasa (EPSP) que cataliza la condensación del ácido shiquímico y el fosfato de piruvato. evitando así la síntesis de tres aminoácidos esenciales: triptófano, fenilalanina y tirosina. El bloqueo de la ruta de dicho ácido, afecta la síntesis de clorofila, de hormonas vegetales y de proteínas. Los síntomas fitotóxicos del daño generalmente se desarrollan lentamente, y la muerte ocurre después de varios días e incluso semanas Tsuioshi et al. (2007).

Pese al amplio conocimiento existente sobre el mecanismo de acción del glifosato, se conoce poco sobre posibles cambios fisiológicos en especies forestales. El efecto del glifosato sobre la nutrición mineral no ha sido estudiado profundamente, y existen resultados contradictorios Zobiolo et al. (2011), Bailey et al. (2002), Rosolem et al. (2010).

El uso de variables fisiológicas y anatómicas constituye una herramienta para evaluar el daño de los herbicidas sobre especies leñosas, y caracterizar su nivel de impacto.

El objetivo del presente trabajo fue determinar los efectos del glifosato sobre los pigmentos fotosintéticos y las concentraciones de macronutrientes, que participan del proceso fotosintético, en hojas de *Prosopis nigra*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal. Se realizaron ensayos con plantines *P. nitens* de un año de edad, cultivados en macetas plásticas. Las macetas se dispusieron en invernáculo, recibiendo irrigación manual diaria, para asegurar adecuada disponibilidad de

agua. Las plantas se pulverizaron con dosis de 0, 45 y 90 g. e.a. de glifosato (48 %) ha⁻¹. El herbicida se aplicó según el método descrito por Tuffi Santos et al. (2008). Diariamente se observaron los síntomas de toxicidad en hojas y cuando éstos se manifestaron en el 50 % de las plantas, se tomaron muestras para realizar las determinaciones químicas.

Cuantificación de Pigmentos Fotosintéticos. Se recolectaron muestras de hojas y se colocaron en bolsas plásticas rotuladas. Las mismas se almacenaron en freezer, hasta la fecha de su procesamiento según la técnica de Arnon (1949). Posteriormente se midieron absorbancias a 664, 649, y 470 nm; calculándose las concentraciones de clorofila a, b y carotenoide, utilizando las ecuaciones de Arnon (1949).

Composición mineral. Las hojas se lavaron con agua destilada, se secaron en estufa de ventilación forzada, 60°C, hasta peso constante, y se molieron en molino tipo Wiley. Muestras de 50 mg de material así obtenido, se digirieron en 5 mL de HNO₃ y 3 mL de HClO₄ Malavolta (1989). para luego determinar las concentraciones de potasio, magnesio, fosforo calcio, hierro, molibdeno y manganeso mediante espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP – MS). Se utilizó Ar a 0,7 L/min, y un tiempo de integración de 0,3 s m z⁻¹. Las concentraciones de cada elemento se calcularon en base a la abundancia isotópica natural de cada uno de ellos, y una curva de calibración Burcea et al. (2019).

Diseño experimental y análisis estadístico. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 7 repeticiones, y los datos se analizaron con ANOVA y test de LSD.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ambas dosis de glifosato produjeron una importante disminución en la concentración de clorofilas a y b (Figura 1 A y B). En contraste, la concentración de carotenoides solo disminuyó en la dosis de herbicida de 90 g.e.a ha⁻¹(Figura 1 C). El menor contenido de clorofila en plantas tratadas con glifosato, indica una menor proporción de complejo colector de luz. Del mismo modo, unas menores concentraciones de carotenoides indican una mayor vulnerabilidad del aparato fotosintético, ya que estos pigmentos

accesorios poseen un rol fotoprotectivo Barros et al. (2012).

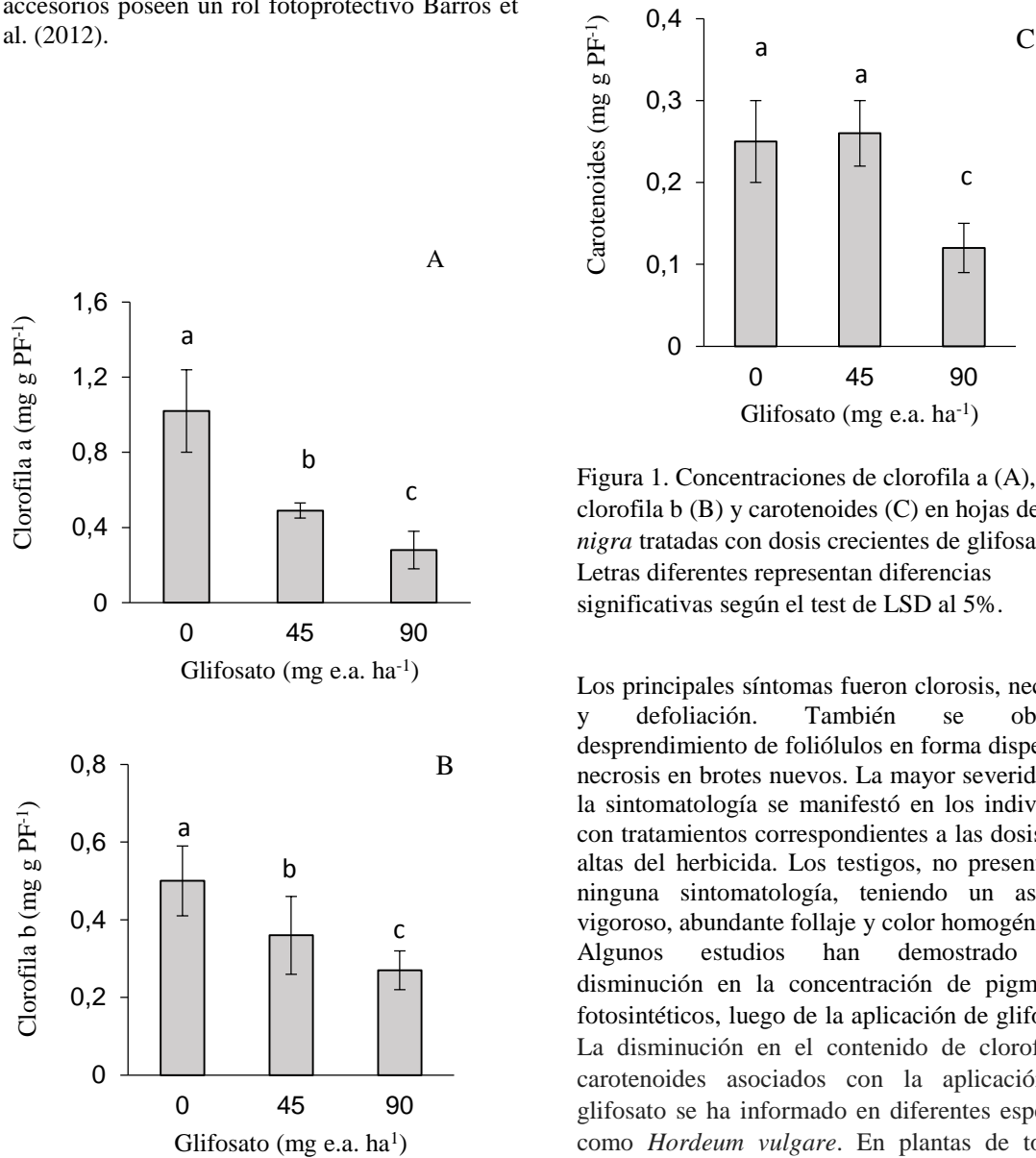


Figura 1. Concentraciones de clorofila a (A), clorofila b (B) y carotenoides (C) en hojas de *P. nigra* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Letras diferentes representan diferencias significativas según el test de LSD al 5%.

Los principales síntomas fueron clorosis, necrosis y defoliación. También se observó desprendimiento de foliólulos en forma dispersa y necrosis en brotes nuevos. La mayor severidad de la sintomatología se manifestó en los individuos con tratamientos correspondientes a las dosis más altas del herbicida. Los testigos, no presentando ninguna sintomatología, teniendo un aspecto vigoroso, abundante follaje y color homogéneo. Algunos estudios han demostrado una disminución en la concentración de pigmentos fotosintéticos, luego de la aplicación de glifosato. La disminución en el contenido de clorofila y carotenoides asociados con la aplicación de glifosato se ha informado en diferentes especies, como *Hordeum vulgare*. En plantas de tomate sometidas a deriva de glifosato se observó disminución de pigmentos cloroplastídicos Lángaro et al. (2014).

Este herbicida puede inhibir la síntesis de ácido δ -aminolevulínico, un compuesto que interviene en la síntesis de clorofilas y citocromos Gomes et al. (2014). Cuando las plantas son tratadas con dicho herbicida, la concentración de carotenoides puede disminuir, y se reduce la capacidad protectora de los mismos. En dichas condiciones puede producirse la peroxidación de lípidos de las membranas Lángaro et al. (2014).

Las dosis de 45 y 90 g. e.a. ha⁻¹ produjeron una disminución del 33 y 47% respectivamente, en las concentraciones foliares de magnesio (Figura 2)

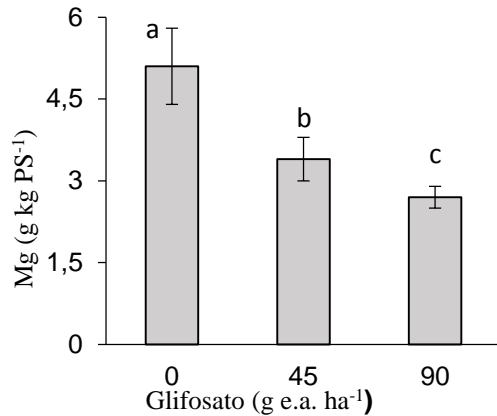


Figura 2. Concentración de magnesio en hojas de *P. nigra* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Letras diferentes representan diferencias significativas según el test de LSD al 5%.

Este nutriente actúa en la activación de enzimas involucradas en la respiración, fotosíntesis, y síntesis de ADN y ARN. También forma parte de la estructura de las clorofilas Taiz et al. (2018); por lo tanto, la disminución en las concentraciones de clorofilas a y b, observada en ambas dosis de glifosato, pudo deberse a una deficiencia de magnesio. También se ha mencionado una abscisión prematura de hojas, como síntoma de deficiencia de magnesio Marchner, (2012). Esto coincide con lo observado en hojas de plantas de *P. nigra* tratadas con ambas concentraciones de glifosato.

El glifosato redujo significativamente las concentraciones de potasio en hojas. La menor dosis de herbicida produjo una reducción del 33% en la concentración de dicho nutriente, y la mayor 61% (Figura 3).

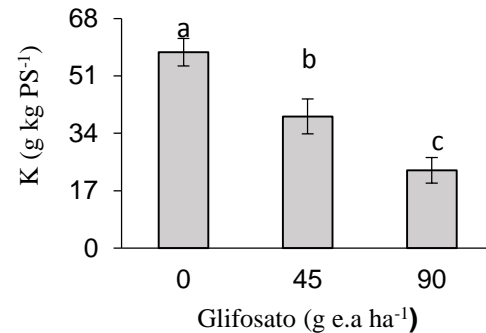


Figura 3. Concentración de potasio en hojas de *P. nigra* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Letras diferentes representan diferencias significativas según el test de LSD al 5%.

El potasio juega un rol importante en la regulación del potencial osmótico de las células vegetales. También activa muchas enzimas involucradas en la respiración y en la fotosíntesis, y participa en la apertura estomática Taiz et al. (2018).

Dosis de 45 y 90 g. e.a de glifosato ha⁻¹, produjeron una disminución significativa de 29 y 53% en las concentraciones de fósforo (Figura 4).

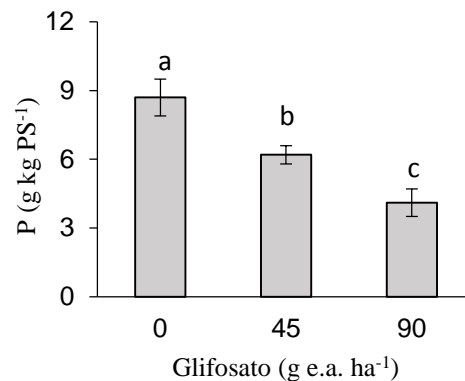


Figura 4. Concentración de fósforo en hojas de *P. nigra* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Letras diferentes representan diferencias significativas según el test de LSD al 5%.

El fósforo forma parte de moléculas orgánicas muy importantes en el metabolismo celular, como por ejemplo intermediarios azúcares-fosfato en respiración y fotosíntesis, fosfolípidos de membranas, y nucleótidos como ATP, ADN y ARN. Su deficiencia puede producir clorosis, y

síntesis de pigmentos antocianos, que se manifiestan como manchas rojizas Taiz et al., (2018). Este último síntoma no se observó en el presente estudio.

El calcio fue el macronutriente cuya concentración resultó menos afectada por el glifosato (Figura 5). La dosis de 45 g e.a de glifosato ha⁻¹ no alteró las concentraciones foliares de dicho nutriente, mientras que la dosis de 90 g e.a ha⁻¹ produjo una reducción significativa de solo 27%.

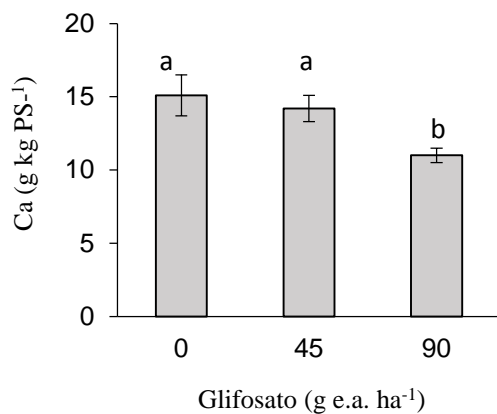


Figura 5. Concentración de calcio en hojas de *P. nigra* tratadas con dosis crecientes de glifosato.

Letras diferentes representan diferencias significativas según el test de LSD al 5%.

El calcio es utilizado en la síntesis de pared celular, particularmente la lámina media, que separa a las células recientemente divididas. También es usado en el huso mitótico, durante la división celular Marchner, (2012). Es requerido para el funcionamiento normal de las membranas, y actúa como segundo mensajero en varias respuestas de las plantas a señales ambientales y hormonales. En su función como segundo mensajero, el calcio se puede ligar a la calmodulina, una proteína que se encuentra en el citosol de las células Taiz et al., (2018). El complejo calcio-calmodulina, se une posteriormente a diferentes tipos de proteínas, incluyendo quinanasas, fosfatasa, proteínas de señalización, y proteínas del citoesqueleto, de esta manera regulando muchos procesos celulares, como por ejemplo el control de la transcripción Marchner, (2012).

Los síntomas característicos de deficiencias de calcio incluyen necrosis de regiones meristemáticas jóvenes, como los ápices de hojas,

donde la división celular, y la formación de pared son más rápidas Taiz et al. (2018). También puede producir deformación de hojas jóvenes. Estos síntomas se observaron en el presente ensayo.

El efecto del glifosato sobre la nutrición mineral no ha sido estudiado profundamente, y existen resultados contradictorios. El glifosato no produjo cambios en la composición mineral de cultivares de soja resistentes a este herbicida Zobiolo et al. (2011), Bailey et al. (2002), Rosolem et al. (2010). Sin embargo, el glifosato fue patentado como un quelante de metales, por lo que puede afectar la nutrición mineral de las plantas Gomes et al. (2014). Este trabajo constituye el primer reporte bibliográfico sobre el efecto del glifosato en la nutrición mineral de *P. nigra*.

CONCLUSIÓN

Se concluye que el glifosato disminuye la concentración de pigmentos fotosintéticos y de macronutrientes en plantines de *Prosopis nigra*.

REFERENCIAS

- Alcántara de la Cruz, R.; Barro, F.; Domínguez Valenzuela, J.A. 2016. Physiological, morphological and biochemical studies of glyphosate tolerance in Mexican Cologania (*Cologania broussonetii* (Balb.) DC.). Plant Physiol. Biochem., 98:72-80.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol., 24:1-15
- Bailey, W.A; Poston, D.H.; Wilson, H.P.; Hines, T.E. 2002. Glyphosate interactions with manganese I. Weed Technology 16: 792-799.
- Barros, F.V.; Goulart, M.F.; Telles, S.B.S.; Lovato, M.B.; Valladares, F.; Lemos-Filho, J.P. 2012. Phenotypic plasticity to light of two congeneric trees from contrasting habitats: brazilian Atlantic forest versus cerrado (savanna). Plant Biol 14:208-215.
- Burducea, M.; Zheljzkov, V.D.; Lobiuc, A.; Pintilie, C.A.; Virgolici, M.; Silion, M.; Asandulesa, M.I.; Burducea, I.; Zamfirache, M. 2019 Biosolids application improves mineral composition and phenolic profile of basil cultivated on eroded soil. Scientia Horticulturae, 249:407-418.
- Da Ponte, E.; Salas P. Control de malezas en plantaciones forestales usando glifosato y

- sulfato de amonio. Invesigacion agraria. Vol 11 n 1pp 54-59.
- DuKe, S.; Powles S. 2008. Glyphosate: once in a century herbicide. *Pest. Manang Sci.* 64: 319-325
- Gimenez A., Rios N., Moglia J. Crecimiento de *Prosopis nigra* (Griseb) Hieron (algarrobo negro) en Santiago del Estero Argentina. *Foresta Veracruzana.* 2003. Vol 5, num 2, pp17-22.
- Gomes, MP; Smedbol, E; Chalifour. A.; Hénault-Ethier. L.; Labrecque, M.; Lepage, LG; Lucotte, M; Juneau, P. 2014. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. *J Exp Bot* 65: 4691-4703.
- Lángaro A.C.; Nohatto M.A.; Perboni L.T.; 2014. Alteracoes Fisiologicas na cultura do tomateiro debido a deriva simulada de herbicidas. *Revista brasileira de herbicidas.* Vol.13.nº 1 pp 40-46.
- Malavolta, E.; Vitti, G.; Oliveira, S. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. São Paulo. 201 p.
- Marchner, P. 2012. *Marchner´s mineral nutrition of higher plants.* Academic Press, 672 p.
- Rosolem CA, José G, Andrade M De, Lisboa P, Zoca SM (2010) Manganese uptake and redistribution in soybean as affected by glyphosate. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 34: 1915–1922.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I.; Murphy, A. 2018. *Fundamentals of plant physiology.* Sinauer Associates, 561 p.
- Tuffi Santos, L.D.; Sant`anna-Santos, B.F.; Meira, R.M.S.A; Tiburcio, R.A.S; Ferreira, F.A.; Melono, C.A.D.; y Silva, E.F.S. 2008. Danos visuais e anatômicos causados pelo Glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis*. *Planta Daninha*, 26:9-16.
- Tuffi Santos, L.D.; Sant`anna-Santos, B.F.; Meira, R.M.S.A; Ferreira, F.A., Tiburcio, R.A.S. y Machado, A.F.L. 2009. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. *Braz. J. Biol.*, 69:129-136.
- Tsuiooshi Y.; Camargo P.R. 2007. Efeitos do glifosato nas plantas: implicacoes fisiológicas e agronômicas. *International Plant Nutrition Institute.* Nº 119.
- Zobiolo LHS, Kremer RJ, Oliveira Jr. RS, Constantin J, Oliveira RS. 2011. Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation of “second generation” glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 99: 53–60.

Evaluación de la nodulación con cepas nativas en cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Atamisqui, Santiago del Estero

Terrones Vargas, Nilser Y.¹; González, Celia C.² y Galizzi, Fernando A.²

(1) *Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Cajamarca, Perú.*
terronesnil@gmail.com

(2) *Facultad de Agronomía y Agroindustrias, UNSE, Argentina.*
celgon@unse.edu.ar; fgalizzi.2016@gmail.com

RESUMEN

Se estudió la asociación simbiótica entre bacterias fijadoras de N del género *Sinorhizobium* y alfalfa en una zona marginal de la provincia de Santiago del Estero. Los objetivos fueron describir la nodulación, evaluar la funcionalidad de los nódulos y aislar cepas locales. Se muestrearon 6 sitios. En los sitios 1, 3 y 6 se encontraron abundantes nódulos activos. Los sitios 4 y 5, que no se riegan, los altos niveles de CE provocaron la detención del crecimiento y muerte de la alfalfa. Se encontraron nódulos funcionales en las raíces del cultivo a pesar de no haberse inoculado las semillas de alfalfa. Las características morfológicas destacables de los nódulos fueron los que se ubicaron en las raíces principales y secundarias, de color rojo, formas arracimadas y tubulares. Entre las cepas naturalizadas aisladas se destacó el sitio 6 por un crecimiento más abundante, producción de mucus y la forma más elevada de las colonias. Todas las cepas aisladas fueron del grupo de crecimiento rápido, aunque para asegurar que las mismas correspondan al género *Sinorhizobium* específico de la alfalfa, es necesario continuar con otros análisis. Los nódulos provendrían de cepas naturalizadas originadas en siembras previas de alfalfa.

ABSTRACT

The symbiotic association between N-fixing bacteria of the genus *Sinorhizobium* and alfalfa was studied in a marginal area of the province of Santiago del Estero. The objectives were to describe the nodulation, evaluate the functionality of the nodules and isolate local strains. Six sites were sampled. Plenty active nodules were found at sites 1, 3 and 6. At sites 4 and 5 without irrigation, the high levels of soil EC affected the growth and caused plant mortality. Among the isolated naturalized strains, colonies of site 6 stood out for its more abundant growth, mucus production and their highest form. It can be concluded that, despite not having inoculated the alfalfa seeds, functional nodules were found in the roots which would come from naturalized strains originated in previous alfalfa sowings. The nodules's distinguishing morphological characteristics were their location in the main and secondary roots, their red color and clustered and tubular shaped. All the strains isolated were from the fast-growing group, although to ensure that they correspond to the specific genus *Sinorhizobium* of alfalfa, it is necessary to continue with other analyzes.

Key words: Symbiosis - *Sinorhizobium* - semiarid - native strains

Palabras clave: Simbiosis - *Sinorhizobium* - semiárido - cepas nativas

1. INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una importante leguminosa en la historia de la humanidad. Se la cultiva en diferentes partes del mundo por ser una especie de gran plasticidad que puede prosperar en regiones semiáridas, subhúmedas y húmedas, está morfológica y fisiológicamente adaptada para resistir deficiencias hídricas prolongadas y además está dotada de una raíz que le permite explorar en profundidad el perfil del suelo (Basigalup y Rossanigo, 2007). Sin embargo, no se desarrolla bien en suelos de textura fina y tampoco en salinos con CE superiores a los 8 dS m⁻¹ porque disminuye su producción (Duarte, 2002).

La provincia de Santiago del Estero tiene una gran superficie sembrada con alfalfa (Cornacchione 2003, 2015). La principal zona productora es la zona de riego (Ríos Dulce y Salado) siendo menor la participación donde se desarrolla sin riego y con fuertes limitaciones edafo-climáticas (salinidad, sequedad y altas temperaturas) como es en el Departamento Atamisqui (Ochoa, 2002).

La alfalfa tiene la capacidad de formar nódulos con bacterias del género *Sinorhizobium* y a través de ellos fijar nitrógeno atmosférico.

La inoculación de plantas de alfalfa con *Sinorhizobium*, es la forma más eficaz de introducir cepas efectivas, pero para que sea una práctica útil, es necesario aumentar la eficiencia en la fijación del nitrógeno. Una de las mejores opciones es el aislamiento y selección de cepas naturalizadas de las zonas agroecológicas donde se cultiva alfalfa (Puente et al., 2011).

Racca y González (2007) han comprobado que habitualmente en los suelos alfalferos de la región pampeana existen poblaciones naturalizadas de *S. meliloti* capaces de nodular las especies de otros géneros además de *Medicago* como son *Melilotus* y *Trigonella*.

En el departamento Atamisqui hay dos formas de producir alfalfa, con riego y sin riego. Debido a que antiguamente pasaba un brazo del río Dulce (actualmente llamada "Antigua llanura aluvial"), el relieve se encuentra modificado generando sectores bajos y altos. Los bajos se utilizan para sembrar alfalfa asumiendo que este suelo se encuentra con menor presencia de salinidad debido al lavado de las sales (Ochoa, 2002). La producción de alfalfa se hace con riego utilizando el canal El Hoyon. Los años más secos, cuando

no hay disponibilidad de agua de lluvia o de riego, la siembra de alfalfa y el mantenimiento del cultivo se dificultan por falta de agua en el suelo.

La práctica de inoculación no se realiza en la zona de Atamisqui debido a que los agricultores tradicionalmente no observan sus beneficios y no están preparados para ejecutarla correctamente (Barrientos, 2019; comunicación personal).

En este contexto se consideró importante estudiar la nodulación en alfalfares de zonas con condiciones edafoclimáticas desfavorables, evaluar la funcionalidad para la planta de alfalfa y aislar cepas locales adaptadas. Se planteó la hipótesis que en estos ambientes edafoclimáticos limitantes no hay cepas nativas y/o naturalizadas de *Sinorhizobium* para nodular alfalfa no inoculada. Los objetivos planteados fueron evaluar la nodulación de la alfalfa (*Medicago sativa*) en una zona productora marginal de la provincia de Santiago del Estero y aislar cepas de *Sinorhizobium* en los nódulos existentes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar

El área de estudio está en la localidad Puesto de Díaz, Departamento Atamisqui, ubicado sobre la ruta provincial 159, entre las localidades de El Hoyon y San Dionisio.

El clima es semiárido, la temperatura media anual es de 21 °C, máximas absolutas que superan los 45 °C y las mínimas los -6 °C. La precipitación media anual es de 450 mm, concentrada en la estación cálida con balance hídrico negativo todo el año (Boletta, 1988).

Los suelos son mayormente de origen aluvial y provienen de materiales depositados por los ríos Dulce y Ñambí. Los suelos pertenecen a los órdenes *Alfisoles*, *Aridisoles* y *Entisoles*. Los *Entisoles* ocupan los sectores altos, sobre albardones y planos interfluviales. Esta condición determina que posean mejor drenaje y que la capa freática esté situada a mayor profundidad. Su morfología responde a una secuencia de horizontes A – C de texturas francas a franca arenosas con las sales localizadas a mayor profundidad (Duffau, 2019; comunicación personal).

Estudio del suelo

Se hizo un muestreo puntual en cada sitio en estudio con barreno extrayéndose muestras de las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Las muestras de suelo fueron secadas al aire, molidas y tamizadas por malla de 2 mm. Se determinaron clase textural (estimación por tacto), color (tabla Munsell), contenido de agua (por secado en estufa a 105 °C, método gravimétrico, % p/p), pH (potenciometría midiendo el pH en una suspensión suelo agua de relación 1 a 2,5), contenido de sales solubles (CE, midiendo la conductividad eléctrica del extracto de saturación mediante termoconductivímetro, dSm^{-1}), materia orgánica del suelo (MOS, combustión húmeda por macro técnica de Walkley – Black, % p/p).

Estudio de la alfalfa

El muestreo de plantas de alfalfa para determinar presencia de nódulos se realizó en época invernal, estación seca del año (agosto).

Las plantas muestreadas se obtuvieron al azar con cuadro metálico de 0,25 m². En cada uno de los sitios muestreados se hizo un pozo de 40 cm x 40 cm y 30 cm de profundidad, se descalzó la planta de alfalfa con la mayor parte de las raíces junto con suelo. Se obtuvieron dos plantas por cada sitio elegido.

La planta de alfalfa más la raíz y el suelo (suelo rizosférico) se colocó en una bolsa y fue trasladada al laboratorio para su posterior procesamiento.

Los datos de la parte aérea de la alfalfa también se recolectaron y esa información está disponible en Terrones Vargas (2019).

Las raíces se procesaron para hacer una evaluación de la nodulación. La evaluación se realizó según la metodología propuestas por CIAT (1985) y Vincent (1975). Las observaciones efectuadas fueron: presencia de nódulos, tamaño de nódulos, ubicación de los nódulos en la raíz, nódulos infectivos y no infectivos (color). Luego se seleccionaron los nódulos viables en base a sus características morfológicas.

Se realizaron los aislamientos de *Sinorhizobium* provenientes de los nódulos colectados en el muestreo a campo. La temperatura de crecimiento fue 30 °C. Se incubaron a 28 °C por 2 – 5 días. Se observó diariamente el crecimiento de las colonias características de rizobios de acuerdo a CIAT (1985), Vincent (1975) y Rosemary et al. (1985). Luego se trabajó en la obtención de los

cultivos puros, las colonias típicas de rizobios fueron sembradas y se verificó la pureza de los cultivos.

Se realizaron observaciones de colonias de rizobios tanto a nivel macro como microscópico. Se evaluaron el color, el diámetro, la apariencia (borde y elevación) y la forma de las colonias, producción de mucus y la textura. En la parte microscópica, las colonias desarrolladas en el medio de cultivo específico se observaron tanto en preparados frescos (células vivas) y en preparados con tinción de Gram.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos

En la tabla 1 se describen los valores de las propiedades físicas y químicas analizadas en los sitios muestreados y en las tres profundidades consideradas.

Los sitios 1, 2 y 3 son suelos no salinos de pH neutro a ligeramente básico siendo coincidente con un mejor estado del alfalfar (Terrones Vargas, 2019). El sitio 6 es más alcalino y con una acumulación de sales en profundidad, sin embargo, esta condición no afectó el normal desarrollo del cultivo. El sitio 4 corresponde a un bajo natural muy salino, el cual fue sembrado sin riego, se observaron plantas de alfalfas muy pequeñas y escasas. El sitio 5 tuvo una salinidad muy elevada, con eflorescencias salinas en la superficie, por lo cual se explica el fracaso de la siembra de alfalfa en este lote. Según Terrones Vargas (2019) ese lote se regaba hasta hace unos años atrás, pero una profundización del canal de riego impidió que se continúe con el riego por estar actualmente sobreelevado y en consecuencia el agua por gravedad no pudo ingresar a este lote. En cuanto a los contenidos de humedad en los lotes se puede ver que los sitios 1, 2 y 3 tenían buenos contenidos de humedad en las tres profundidades salvo en el caso del sitio 6 en el cual hay un bajo porcentaje de humedad dado que al momento de tomar la muestra recién se estaba iniciando el riego. El contenido de MOS varió en un rango de 0,96 % a 1,60 %, calificados como valores bajos, por lo cual se podría estimar que es necesario proveer de nitrógeno al cultivo por fijación simbiótica o fertilización ya que el contenido de N en el suelo es muy bajo.

Alfalfa

En la Tabla 2 se muestran los datos de los alfalfares estudiados. Los sitios 1, 2, 3 y 6 son alfalfares sin inocular y manejados sin aplicación de agroquímicos, con riego y donde se observó que el cultivo de alfalfa tiene buen desarrollo, buena sanidad y persistencia (Terrones Vargas, 2019).

En el sitio 4, la alfalfa se encontró en una mala condición (alfalfa rala con pocas plantas por unidad de superficie y de baja altura), debido a que no llovía hace 4 meses y que este lote no se pudo regar. Se trata de un bajo natural salino, el cual fue sembrado sin riego, con plantas de alfalfas muy pequeñas y escasas.

En el sitio 5, no se observó cultivo de alfalfa, la siembra falló, había detenido su crecimiento debido a la alta salinidad del suelo que se hacía evidente por las costras salinas en superficie del suelo.

En el sitio 2, se presenta una alfalfa de seis meses que fue sembrada luego de un desmonte. Se observó la presencia de una leguminosa Trébol de olor blanco (*Melilotus albus*) en la zona regada y sembrada con alfalfa.

Evaluación de la nodulación

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la evaluación de la nodulación de plantas de alfalfa. Claramente se aprecia que las mayores cantidades de nódulos activos, ubicados en las raíces principales y secundarias correspondieron a alfalfares cultivados en los sitios 1, 3 y 6; con riego y en suelos con bajos valores de CE y en consecuencia un buen aspecto del cultivo. Esta buena nodulación se explica porque las plantas presentan un buen desarrollo, están en mejores condiciones para proporcionar energía o hidratos carbono a las bacterias.

La nodulación es un aspecto fundamental para la sobrevivencia de estos alfalfares ya que es la principal fuente de nitrógeno en estos suelos (*Entisoles*), dado que las semillas no se inoculan, los nódulos encontrados serían originados a partir de una población de rizobios nativos y/o naturalizados. Por otra parte, es interesante resaltar que en el alfalfar del sitio 2, se observaron raíces con nódulos, muy escasos, pequeños, de color verde y ubicados en raíces secundarias, todas estas características hacen suponer que se tratan de nódulos ineficientes es decir no fijan nitrógeno. Estas bacterias podrían haber estado asociadas a

plantas de trébol de olor blanco (*Melilotus albus*) o bien por la simple persistencia en el horizonte superior del suelo.

Racca y González (2007) expresaron que la aparición de nódulos espontáneos son consecuencia de la estimulación que ejercen las plantas sobre poblaciones de bacterias nativas que se encuentran en muy bajo número en suelos aparentemente libres de rizobios específicos para alfalfa.

En el sitio 3, en cultivo de 5 años, los nódulos son de forma arracimada y abundantes, mientras las formas unilobuladas o alargadas se asociaron con cultivos más jóvenes, menos de 2 años de edad. Los nódulos de alfalfa son de tipo meristemático y de crecimiento indeterminado. Estas características, frente a situaciones de estrés moderado (estrés hídrico, temperaturas del suelo elevada) hacen que el meristema nodular persista y sea capaz de regenerar el crecimiento cuando la situación de estrés se revierte (Stougaard, 2000).

El sistema simbiótico funciona bien cuando no hay condicionantes por exceso o por defecto para el desarrollo normal del cultivo. En consecuencia, en los sitios 4 y 5 la falta de agua disponible en la porción de suelo explorado por las raíces de alfalfa es el factor que regula directamente la germinación y desarrollo del cultivo e indirectamente la fijación biológica del nitrógeno. Ausencia de nodulación, o nódulos inactivos se asociaron a sitios con bajos contenidos de agua (sitio 4) y altos contenidos de sales en el perfil (sitios 4 y 5).

Descripción de las colonias

En la Tabla 4, se muestran las características morfológicas de las colonias aisladas.

Se observa que no existe una alta variabilidad en los parámetros evaluados (crecimiento, color, mucus, bordes superiores, elevación, tamaño y Gram). Sin embargo, respecto al crecimiento, la producción de mucus (*polisacáridos extracelulares*) y elevación de las colonias, se encontraron diferencias entre los aislados de diferentes sitios.

El aislado obtenido del sitio 6, se destaca por el crecimiento muy abundante, mientras que en el sitio 3 el crecimiento es moderado y en el sitio 1 es ligero. Similares resultados se obtuvieron en la producción de mucus y elevación de las colonias. Estos resultados ponen de manifiesto que los aislados microbianos de la misma localidad y el

mismo hospedero presentan variantes en las características morfológicas. Ya Racca y González (2007) reportaron la variabilidad de características morfológicas de aislados de *rhizobium* del cultivo de alfalfa. Sin embargo, todos tuvieron un crecimiento rápido, entre las 24 y 48 horas coincidiendo los resultados con los de Vance *et al.* (1988) quienes aislaron rizobios de alfalfa por su crecimiento rápido.

La observación de preparados microscópicos mediante la tinción de Gram de cultivos puros obtenidos, mostró que la morfología de las células y sus características tintoriales se correspondían con las descritas para este grupo de bacterias: células en forma de bacilos, Gram negativas, de pequeño tamaño y sin desarrollo de endosporas.

Como resultado de la selección, se aislaron cinco cepas del género *Sinorhizobium*, basado en el estudio de las características culturales y tintóreas. Las cepas aisladas fueron las del grupo de crecimiento rápido, para asegurar que las mismas correspondan al género *Sinorhizobium*. Se considera necesario continuar el estudio de selección de cepas nativas eficientes, así como la clasificación más precisa de los aislados con el empleo de otras técnicas de la taxonomía convencional y molecular (Lloret y Martínez, 2005).

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que en este ambiente edafoclimático limitante hay cepas naturalizadas de *Sinorhizobium* que originan nódulos funcionales en plantas de alfalfa no inoculadas. Estas cepas podrían derivar de anteriores cultivos de alfalfa y que podrían mantenerse latentes o activos en asociación con otras leguminosas.

5. AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se desarrolló a través de una beca de intercambio PIMA (UNSE) y financiada por el proyecto de investigación CICYT – UNSE “Contribución a una producción sostenible de la Alfalfa (*Medicago sativa* L.) mediante el manejo de la inoculación con *Sinorhizobium* y fertilización en la provincia de Santiago del Estero”.

6. REFERENCIAS

- Basigalup, D.H., R. Rossanigo, *Panorama actual de la alfalfa en la Argentina*, EEA Manfredi INTA, <https://inta.gob.ar/sites/default/files/pdf/4.9.2019>, 2007
- Boletta, P.E., Clima, Páginas 7-21. en R. R. Casas (Ed.) *Desmonte y habilitación de tierras en la región chaqueña semiárida*, Informe Curso-Taller Internacional, FAO, Santiago de Chile, 1988.
- Cornacchione, M.V., Alfalfa, crecimiento y manejo para un uso eficiente como integrante de la cadena, 1–7, <https://www.produccion-animal.com.ar/4.9.2019>, 2003.
- Cornacchione, M. V., *Alfalfa en Santiago del Estero: ¿Cuánta superficie hay y dónde está?*, Convenio de cooperación técnica INTA-Ministerio de Producción, Recursos Naturales, Forestación y Tierras de Santiago del Estero, Informe 1, octubre de 2015, 8 páginas, 2015.
- CIAT, *Investigaciones de apoyo para la evaluación de pasturas*; memorias de la tercera reunión de trabajo del comité asesor de la RIEPT, 15-18 de octubre de 1985. Cali. Colombia, 1985.
- Duarte, G., Cómo implantar bien una pastura con alfalfa: pasturas cultivadas. 35, paginas 40–46, <https://www.produccion-animal.com.ar/4.9.2019>, 2002.
- Lloret, L., R.E. Martínez, Evolución y filogenia del *Rhizobium*. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 47, 43-50, 2005.
- Ochoa, L. H., *El desarrollo del secano, investigaciones y tecnologías aplicadas al semiárido salino*, Ediciones UCSE, Primera edición, Impreso por El Liberal SRL, Santiago del Estero, ISBN 950-31-0055-0, 269 páginas, 2002.
- Puente, M., J. García, A. Peticari, Inoculación de leguminosas forrajeras con rizobios eficientes, <https://www.produccion-animal.com.ar/4.9.2019>, 2011.
- Racca, R., N. González, Nutrición nitrogenada de la alfalfa e impacto de la fijación simbiótica del nitrógeno, páginas 69 – 82, capítulo 4, en D. H. Basigalup (Ed.), *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*, primera edición, ediciones INTA, ISBN 978-987-521-242-8. 479 páginas, 2007.
- Rosemary S., F. Bradley, R. Campuzano, G. Arelis, *Guía metodológica del CIAT*. Aislamiento, caracterización y evaluación de rizobios para leguminosas forrajeras, paginas 11-16, 1985.

- Stougaard, J., Regulators and regulation of legume root nodule development. *Plant physiol.* 124, 531-540, 2000.
- Terrones Vargas, N. Y., *Relevamiento de alfalfares en la Localidad Puesto de Días, Departamento Atamisqui, Provincia de Santiago del Estero*, Informe Final de la Práctica Profesional Supervisada (PPS) realizada como Becario de intercambio PIMA, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, UNSE, 40 páginas, 2019.
- Vance, C. P., G. G. Heichel, D. Phillips, Nodulation and symbiotic dinitrogen fixation, paginas 229 – 257, in A.A. Hanson, D. K. Barnes and R.R. Hill jr. (Eds) *Alfalfa and anfalga Improvement*, Agronomy serie N° 29, Publication of ASA – CSSA – SSSA, Madison, Wi, USA, 1988.
- Vincent, J. M., *Manual for the practical study of root nodule bacteria*, IBP Handbook N°15, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 1975.

Tabla 1. Propiedades de los suelos por sitio y profundidad estudiados

Sitios	Prof. (cm)	Propiedad					
		Textura (tacto)	Color (seco)	pH (1:2,5)	CEes dS/m)	MOS (%)	Humedad (%)
1	0 – 30	A	10YR 6/2	6,9	1,0	0,93	20
	30- 60	MA	10YR 6/3	7,2	0,9	nd	21
	60 – 90	A	10YR 6/4	8,2	1,1	nd	23
2	0 – 30	A	10YR 6/2	7,3	1,4	1,03	24
	30- 60	Arc	10YR 6/3	7,7	1,7	nd	27
	60 – 90	MA	10YR 6/4	7,8	1,9	nd	24
3	0 – 30	A	10YR 6/2	7,2	2,0	1,44	18
	30- 60	MA	10YR 6/3	7,7	2,1	nd	23
	60 – 90	MA	10YR 7/3	7,6	10,7	nd	24
4	0 – 30	MA	10YR 6/2	7,1	8,2	1,14	7
	30- 60	A	10YR 6/3	7,3	16,7	nd	12
	60 – 90	MA	10YR 7/3	8,1	27,5	nd	17
5	0 – 30	Arc	10YR 6/3	7,5	25,8	1,60	18
	30- 60	A	10YR 7/3	8,6	27,0	nd	21
	60 – 90	F	10YR 7/3	8,7	28,4	nd	22
6	0 – 30	MA	10YR 6/3	8,2	1,2	1,55	2
	30- 60	MA	10YR 6/3	8,8	2,4	nd	10
	60-90	A	10YR 6/4	9,2	8,1	nd	19

nd: no determinado

Textura. Arenoso (A), muy arenoso (MA), arcilloso (Arc) y franco (F)

Tabla 2. Datos de los lotes sembrados con alfalfa

Lote	1	2	3	4	5	6
Variedad	Salinera	Monarca	Salinera y Monarca	Monarca	Monarca	Salinera y Monarca
Edad del cultivo	5 años	5 meses	1,5 años	4 meses	no hay cultivo	1 año
Superficie hectárea	0,25	0,5	0,5	0,75	0,25	2
Inoculación	No	No	No	No	No	No
Condición del cultivo	vigorosas – sanas uniforme	vigorosas – sanas uniforme	vigorosas – sanas uniforme	pequeñas y escasas	siembra fallida	vigorosas - sanas

Historia del lote	Desmorte 20 años	Desmorte 1 año	Desmorte 20 años	seco, bajo natural	salino, sin riego	Desmorte 30 años
Vegetación natural		Cardón, jume y el palo Azul		presencia de sales sobre el suelo	Presencia de sales sobre el suelo	

Tabla 3. Descripción de la nodulación según variedad y sitios

Sitios	Variedad	Abundancia (*)	Tamaño	Ubicación (**)	Color	Forma
1	Salinera	++	Grandes y pequeños	RP y RS	Mayoría rojos y pocos verdes	Dedos - tubular
2	Monarca	+	Pequeños	RS	Verde	
3	Salinera y Monarca	+++	Grandes y pequeños	RP y RS	Rojos	Arracimado
4	Monarca	+	Pequeños	RS	Marrón rojizo	
6	Salinera y Monarca	++	Grandes y pequeños	RP y RS	Mayoría rojos y pocos verdes	Dedos - tubular

(*) Escala de abundancia de los nódulos: ausencia (-), escasos (+), regular (++) y abundantes (+++)

(**) Ubicación del nódulo: raíz principal (RP) y raíz secundaria (RS)

Tabla 4. Descripción de las características morfológicas de colonias de rizobios según sitios

Sitios	Crec (*)	Color	Mucus	Bordes - superficie	Elevación	Tamaño	Gram
1	++	incolora	++	Liso	Levantado, gomoso	Grandes, 4 o 5 mm	-
3	+++	Ligeramente opaca	+++	Liso-brillante	Levantado, gomoso	Grandes, 4 o 5 mm	-
4	++	incolora	++	Liso	Suave, acuosa	medianas	-
6	+++	Ligeramente opaca	+++	Liso-brillante	Levantado, gomoso	Grandes	-

(*) Crecimiento: ligero +, moderado ++ y abundante +++

Evaluación de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) y sorgo granífero (*Sorghum spp*) en el área de riego de Santiago del Estero.

Tiedemann, José L^{1,2,3}; Arévalo, Yesica³; Medina, Florencia²; Barrionuevo, Emanuel³; Castaño, Miguel³; González, Luis³; Juárez Agustina³; Santoro, Augusto³; Suarez, Silvia³; Pereyra, Yecica³ y Mazur, Maria³.

(1) *INPROVE, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912, CP 4200 Santiago del Estero, Argentina, e-mail: tiedemannjl@gmail.com*

(2) *Forrajes, Facultad de Ciencias Naturales, Sede Sur, Universidad Nacional de Salta*

(3) *Proyecto COD 23/B151 CyT FCF-UNSE*

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar y comparar el rendimiento en grano de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) y sorgo granífero (*Sorghum spp*). El ensayo fue realizado en la Facultad de Cs. Ftles, UNSE. Los cultivares de trigos utilizados: Mercurio, Huracán, Serpiente, Titanio (Ciclo Intermedio Largo) y Prometeo (Ciclo Intermedio Corto). Los cultivares de sorgos fueron: Mestizo y Ciclón. Fueron encontradas diferencias significativas en el rendimiento en grano cultivar⁻¹ (R^2 0,38; $p < 0,01$; F 3,79): Prometeo 3,45 t ha⁻¹, Titanio 3,25 t ha⁻¹, Mercurio 2,48 t ha⁻¹, Serpiente 2,47 t ha⁻¹, y Huracán 2,27 t ha⁻¹. Fueron encontradas diferencias significativas en el rendimiento en grano por ciclo (R^2 0,19; $p < 0,01$; F 6,46), siendo Prometeo 3,45 t ha⁻¹ el de mayor rendimiento. Fueron encontradas diferencias significativas en el rendimiento en grano entre sorgos ($T = 2,45$; $p < 0,01$), Ciclón 7,7 t ha⁻¹ y Mestizo 6,0 t ha⁻¹. Por los excelentes rendimientos y por su gran complementariedad en cuanto a fechas de siembra y cosecha, los cultivos de trigo y sorgo deberían ser incorporados en los sistemas de rotación en el área de riego del río dulce de Santiago del Estero.

Palabras claves: sistemas de rotación, sequía, ciclos, fecha de siembra

ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate and compare the grain yield of cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) and sorghum graniferous (*Sorghum spp*). The trial was carried out at Faculty of Forest Sciences, UNSE. The wheats used were: Mercurio, Huracan, Serpiente, Titanio (Long intermediate cycle) and Prometeo (Short intermediate cycle). The sorghums used were Mestizo and Ciclon. Significant differences were found in grain yield (R^2 0.38; $p < 0.01$; F 3.79): Prometeo 3.45 t ha⁻¹, Titanio 3.25 t ha⁻¹, Mercurio 2.48 t ha⁻¹, Serpiente 2.47 t ha⁻¹, y Huracán 2.27 t ha⁻¹. Significant differences in grain yield per cycle were found (R^2 0.19; $p < 0.01$; F 6.46), Prometeo being the one with the highest performance. Significant differences in grain yield were found between Sorghum ($T = 2.45$; $p < 0.01$), Ciclón 7.7 t ha⁻¹ y Mestizo 6.0 t ha⁻¹. Due to the excellent yields and their great complementarity in terms of sowing and harvesting dates, wheat and sorghum crops should be incorporated in the rotation systems in the irrigation area of the sweet river of Santiago del Estero.

Keywords: rotation systems, drought, cycles, sowing date

1. INTRODUCCIÓN

El área de riego de la provincia de Santiago del Estero, se ubica entre las coordenadas -27,41 y -28,5 de Latitud Sur y -64,33 y -63,75 de Longitud Oeste (Figura 1). El área de riego sufre, desde

hace décadas, procesos de salinización secundaria por exceso de riego (Prieto et al., 2008; Angella, 2016), un sistema de riego ineficiente, sin mantenimiento de los canales y drenajes (Coronel de Renofi, 2003). El área evidencia, además de la

salinización, procesos de degradación extrema de los suelos (cárcavas) y una pérdida constante de materia orgánica debido a la continua actividad agrícola sin un sistema de rotación de cultivos que considere la preservación y/o recuperación de la fertilidad del suelo.

El patrón de cultivos tradicionalmente utilizado en el área de riego fue el de hortalizas, algodón, cucurbitáceas, y alfalfa y maíz en menor escala. Actualmente, parte del área de riego tomó un giro hacia la producción de alfalfa, dándole a la zona un sentido agroganadero y agroindustrial. Sin embargo, los cereales/verdeos de invierno y verano no fueron considerados, o no como deberían, para ser incorporados en los sistemas de rotación, especialmente si se toma en cuenta todas las *prestaciones* productivas y ambientales que ellos tienen. Además de su excelente rendimiento en grano, el trigo y el sorgo aportan un elevado volumen de rastrojo (elevada relación C/N), ideal para ser utilizados como cultivos de cobertura con el fin de recuperar la materia orgánica del suelo a largo plazo (Bertolotto y Marzetti, 2017)

De los trabajos realizados en el área de riego, podemos mencionar el de Ibáñez Morales (2016) quien realizó un ensayo compuesto por 38 cultivares comerciales en condiciones no limitantes de agua y nutrientes con el objetivo de estudiar el comportamiento potencial de cultivares de trigo implantados en fecha de siembra tardía en el área de riego del Río Dulce. A su vez, Tiedemann et al. (2019) evaluaron el rendimiento en grano de nueve cultivares de trigo Klein de diferentes ciclos de crecimiento para comparar rendimiento. Los cultivares de ciclo Intermedio Largo: Mercurio, Huracán, Minerva, Serpiente y Titanio fueron sembrados el 24.05.18, los cultivares de ciclo Intermedio Corto: Prometeo y Liebre fueron sembrados el 06.06.18, y los de ciclo Corto: León y Valor sembrados el 04.07.18. Los resultados obtenidos aportaron valiosa e inédita información local, que facilita la toma de decisión de los productores a la hora de seleccionar cultivares para las siembras de invierno.

Adicionalmente, Tiedemann (2018) en el área de riego, evaluó el rendimiento de biomasa forrajera aérea de cultivares de trigo Klein: Gladiador, Yarará, Serpiente y Titanio, con el fin de generar modelos predictivos mediante Índices de Vegetación. El autor no encontró diferencias significativas en la productividad de biomasa forrajera aérea acumulada entre cultivares, donde

la productividad osciló entre 4,4 t ms ha⁻¹ y 5,6 t ms ha⁻¹. Si fueron encontradas fuertes y significativas relaciones inversas ($r -0,99$; $r -0,88$) y directas ($r 0,96$) entre la biomasa forrajera aérea de las variedades y los índices de vegetación. Los modelos lineales obtenidos presentaron un elevado poder explicativo con un R^2_{Aj} que osciló entre 0,71 y 0,99.

El cultivo de sorgo se destaca por su multifuncionalidad. De acuerdo a Giorda y Ortiz (2012) los sorgos dan estabilidad de rendimientos en situaciones productivas de menor potencialidad, y juega un rol fundamental como especie recuperadora al preservar la estructura física del suelo. Adicionalmente, los sorgos son eficientes alternativas del maíz, especialmente ante adversidades climáticas como sequías. Con base a lo antes expuesto, los objetivos de este trabajo fueron evaluar y comparar el rendimiento en grano de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) y sorgo granífero (*Sorghum spp.*).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en el área de riego del Río Dulce, en el Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE, sede ubicada en El Zanjón, Dpto. Capital, Provincia de Santiago del Estero, Argentina (Fig. 1).





Figura 1: Arriba. El Zanjón (círculo en rojo) en el área de riego de la provincia de Santiago del Estero. Abajo. Ubicación del ensayo (círculo rojo) (Lat -27.87; Long -64.25) en INSIMA, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. Fuente: NDVI Modis & Google Earth Pro.



Figura 2: Cultivares de trigo, INSIMA, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

Los cultivares de trigo utilizados en este trabajo fueron aportados por el semillero Klein (trigoklein.com.ar) fueron: Mercurio, Huracán, Serpiente, Titanio (Ciclo Intermedio Largo) y Prometeo (Ciclo Intermedio Corto). La siembra fue realizada para todos los cultivares el 26.05.2019, al voleo, en densidades recomendadas por el semillero $\sim 350 \text{ pl m}^{-2}$ (figura 2). El diseño experimental utilizado es completamente aleatorizado, en parcelas de 2 m^2 , con seis repeticiones cultivar⁻¹. Los cultivares de trigo fueron evaluados mediante ANAVA, para ello fueron verificados los supuestos de normalidad con Shapiro-Wilks modificado y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene (Balzarini et al., 2020). No se encontraron evidencias para rechazar las hipótesis de normalidad y homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$). El modelo utilizado para la observación del tratamiento i en la parcela j , es el de la ecuación 1:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon \quad (1)$$

donde Y_{ij} son las observaciones del tratamiento i en la parcela j ; τ_i es el efecto del tratamiento i y ε es el término de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} . La comparación de medias, por rendimiento y ciclo, fue realizado mediante el test de comparaciones múltiples LSD Fisher (Balzarini et al., 2020).

Los cultivares de sorgo granífero utilizados en este trabajo, Mestizo y Ciclón, fueron aportados por el semillero Picasso (picasso.com.ar). La siembra (temprana) fue realizada el 01.11.19. Es importante destacar, que el motivo de la elección de la fecha de siembra temprana en este ensayo se relaciona con los severos ataques producidos por la Cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus calita*). Los mismos cultivares fueron sembrados, tardíamente, en enero de 2018. Los ataques se produjeron a fines de mayo de 2018 produciendo la pérdida total de granos (Figura 3).



Figura 3: Cultivares de Sorgo granífero Mestizo y Ciclón con ataque de Cata Argentina en mayo de

2018. Proyecto 23B151 CyT Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

La siembra, temprana, fue realizada en diseño completamente aleatorizado, en líneas de 1m, con distanciamiento de 0.35m línea⁻¹, con 20 repeticiones cultivar⁻¹, con una densidad de 15 pl m línea⁻¹ (Figura 4). La comparación de medias (esperanzas) entre las dos poblaciones (distribuciones) fue evaluada mediante la prueba T para muestras independientes (ecuación 2) (Balzarini *et al.*, 2020):

$$H_0: E(X_1) = E(X_2); \text{ vs } H_1: E(X_1) \neq E(X_2) \quad (2)$$

Todas las parcelas (trigo y sorgos) fueron irrigadas artificialmente para la siembra, y se efectuaron riegos mensuales ~50mm riego⁻¹ hasta llenado de grano.



Figura 4: Cultivares de Sorgo granífero, Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cultivares trigos fueron cosechados el 20 de septiembre de 2019. Del análisis de varianza y el test de comparaciones múltiples fueron encontradas diferencias significativas en el rendimiento en grano por cultivar (R^2 0,38; $p < 0,01$; $F = 3,79$). El cultivar de mayor rendimiento fue Prometeo 3,45 t ha⁻¹, seguido por Titanio 3,25 t ha⁻¹. Los cultivares Mercurio 2,48 t ha⁻¹ y Serpiente 2,47 t ha⁻¹, tuvieron similares rendimientos, siendo Huracán 2,27 t ha⁻¹, el rendimiento más bajo. A su vez, fueron encontradas diferencias significativas en el rendimiento en grano por ciclo (R^2 0,19; $p < 0,01$; $F = 6,46$), siendo el ciclo intermedio corto Prometeo 3,45 t ha⁻¹ el de mayor rendimiento. Los rendimientos medios de la marca comercial

obtenidos en este trabajo oscilan en el rango de valores medios obtenidos en el ensayo realizado por la red de cultivares de trigo de INTA en la campaña 2018-2019 (Romani *et al.*, 2019). El ensayo de la red estuvo compuesto por 52 cultivares comerciales de ciclo corto (C), corto intermedio (CI), intermedio (I), intermedio largo (IL) y largo (L), las siembras fueron realizadas en dos fechas (tratamiento) el 15.05.18 y el 06.06.18. Los autores no encontraron diferencias significativas en los rendimientos medios por fecha de siembra, siendo 3,18 t ha⁻¹ para la de junio y 3,02 t ha⁻¹ para la de mayo. Los rendimientos medios obtenidos en el ensayo de la red en relación a la marca comercial Klein utilizada en el presente trabajo, fueron para la siembra en mayo: Huracán 3,6 t ha⁻¹ Serpiente = 3,4 t ha⁻¹, Mercurio 3,2 t ha⁻¹, Prometeo 3,0 t ha⁻¹, Titanio 3,0 t ha⁻¹, y para la siembra de junio Mercurio 3,5 t ha⁻¹, Prometeo 3,3 t ha⁻¹, Huracán 3,2 t ha⁻¹, Serpiente 3,0 t ha⁻¹ y Titanio 2,7 t ha⁻¹.

En estudios preliminares realizados en el área de riego, Tiedemann *et al.* (2019) encontraron diferencias significativas en rendimiento en grano de nueve cultivares de trigos Klein (R^2 0,73; $p < 0,01$). Los cultivares de mayor rendimiento en grano fueron: León 7,39 t ha⁻¹, Serpiente 7,28 t ha⁻¹, Liebre 6,94 t ha⁻¹, Mercurio 6,62 t ha⁻¹, Huracán 6,54 t ha⁻¹ y Prometeo 6,38 t ha⁻¹. Se diferenciaron con menores rendimientos Titanio 5,83 t ha⁻¹, Valor 4,68 t ha⁻¹ y Minerva 0,11 t ha⁻¹. Los resultados obtenidos por Ibáñez Morales (2016) al comparar el rendimiento de 38 cultivares comerciales de trigo en el área de riego, coinciden con los obtenidos en este trabajo. Los rendimientos medios fueron para cultivares de ciclo corto 5,4 t ha⁻¹, ciclo intermedio corto 3,5 t ha⁻¹, ciclo intermedio largo 3,3 t ha⁻¹, y ciclo largo 3,1 t ha⁻¹. El autor concluyó que los cultivares de ciclo corto presentaron un mayor rendimiento que los cultivares de ciclo largo en fecha de siembra tardía para en el área de riego del Río Dulce.

Los cultivares de sorgos fueron cosechados el 24 de febrero de 2020. Mediante la Prueba T fueron encontradas diferencias significativas en el rendimiento en grano entre los cultivares de sorgo granífero ($T = 2,45$; $p < 0,01$), siendo el cultivar Ciclón el de mayor rendimiento con 7,7 t ha⁻¹ y Mestizo con 6,0 t ha⁻¹. Los rendimientos medios obtenidos en este trabajo oscilan entre los rendimientos medios obtenidos por la red de cultivares de sorgos de EEA INTA Santiago del Estero, campaña 2017-2018 (Romani *et al.*,

2018). El rendimiento medio obtenido por la red fue de 5,92 t ha⁻¹, un máximo de 6,9 t ha⁻¹, y un mínimo de 5,0 t ha⁻¹. Los autores comunicaron que previnieron los daños de pájaros mediante la colocación de redes anti pájaros previo a la floración. Un aspecto importante a destacar, es que los sorgos de la red fueron sembrados el 18 de enero (siembra tardía), reafirmando el grave problema que existe en la región sobre ataques de pájaros a cultivos de grano sembrados en fechas tardías.

4. CONCLUSIÓN

Por los excelentes rendimientos y por su gran complementariedad en cuanto a fechas de siembra y cosecha, los cultivos de trigo y sorgo deberían ser incorporados en los sistemas de rotación en el área de riego del río dulce de Santiago del Estero. Es importante destacar la importancia que tuvo la elección de la fecha de siembra temprana (1ª semana de noviembre) para los cultivares de sorgo granífero. La siembra temprana resultó, sumado a los buenos rendimientos en grano, un efectivo tratamiento agroecológico para el control de ataque de pájaros, como la Cata Argentina (*Myiopsitta monachus calita*).

5. REFERENCIAS

- Angella, G., Sistema de Riego del Río Dulce, Santiago del Estero, Argentina. Brecha de rendimientos y productividad del agua en los cultivos de maíz y algodón. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, España, 180p. <https://www.researchgate.net/publication/321833114>. 2016.
- Balzarini, M.G., L, Gonzalez., M, Tablada., F, Casanoves., J.A, Di Rienzo y C.W, Robledo. Manual del Usuario Infostat. https://www.researchgate.net/publication/283491340_Infostat_manual_del_usuario_2020
- Bertolotto M., y M, Marzetti. Cultivos de cobertura. Bases para su manejo en sistemas de producción. <http://aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2017/09/AAP-Original-Cultivos-de-cobertura.pdf>. 2017
- Coronel de Renolfi, M. Determinación del óptimo económico en explotaciones tipo del Área de Riego del Río Dulce de Santiago del Estero. *Quebracho* 10: 83-88. 2003.
- Giorda, L.M, y D, Ortiz. Jornada EEA INTA Colorado, Formosa, 17 de abril. 1ª Jornada de Silaje del NEA. 2012. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmpsorgo_para_la_sustentabilidad_y_produccion_animal_del.pdf
- Ibáñez Morales, G. A. Análisis comparativo de rendimiento de cultivares de trigo de diferente largo de ciclo implantados en fecha de siembra tardía en el área de riego del río Dulce de Santiago del Estero. Tesis de grado para acceder al título de Ingeniero Agronomo. FAYa, UNSE. 2016.
- Prieto, D., G, Angella, C., Angueira. “Un Enfoque al Problema de la Salinidad en el Área de Riego del Río Dulce, Santiago del Estero”. En: La Salinización de los Suelos en la Argentina: su Impacto en la Producción Agropecuaria. Taleisnik, E.; K. Grunberg; G. Santa María (Ed.), pp. 93-104. Editorial de la Universidad Católica de Córdoba. ISBN 978-987-626-013-8. 2008
- Romani, M., E, Molfese., V, Astiz., C, Bainotti., y A, Larsen. Ensayo comparativo de rendimiento de trigo pan y trigo candeal bajo riego, campaña 2018–2019. https://inta.gob.ar/sites/default/files/ensayo_comparativo_de_rendimiento_de_trigo_pan_y_trigo_candeal_bajo_riego_campana_2018-2019_0.pdf. 2019.
- Romani, M., A, Sandes., y C, Nazario. Ensayo comparativo de rendimiento de sorgo 2017–2018. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_ensayo_comparativo_de_rendimiento_de_sorgo_campana_2017-2018.pdf. 2018.
- Tiedemann J.L., Y, Arévalo., S, Suarez., S, Medina., F, Chunque Figueroa. Evaluación de rendimiento de cultivares de trigos Klein (*Triticum aestivum* L) en el área de riego del Río Dulce de Santiago del Estero. XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de ingeniería del NOA. 05-06 Sep, Tucumán, Arg. Resúmenes ISBN: 978-987-754-203-5. 2019.
- Tiedemann, J.L. Productividad de biomasa forrajera aérea de variedades de trigo (*Triticum aestivum* L) y su relación con coordenadas cromáticas derivadas de cámara digital. *Ecol. apl.* 17: 61-68. DOI: 10.21704/rea.v17i1.1174. 2018.

Determinación del coeficiente de difusión efectivo de fideos libres de gluten a partir de la cinética de secado convectivo

Torres, Nadia S. B¹; Costa Macías, Karina E.¹; Villarreal, Myriam E.¹

(1) *Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. nadia.torres1001@gmail.com; karyhk7@gmail.com; mevilla4@gmail.com*

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el coeficiente de difusión efectivo (D_{ef}) de pastas secas libres de gluten (LG), elaboradas a partir de harina de arroz, algarroba, amaranto y quinoa; a partir de un método basado en la solución analítica de la segunda ley de Fick y la cinética de secado. D_{ef} se obtuvo por regresión lineal de los datos experimentales de humedad adimensional en función del tiempo de secado. El secado se realizó en un secadero SAF200, con tres etapas programables (presecado, secado y enfriamiento) y con controladores PID de temperatura y humedad. Los fideos se dispusieron en bandejas formando una monocapa. Las pastas alcanzaron una humedad de equilibrio de $0,135 \pm 0,014$ kg agua/kg sólido seco en 310min. Se ajustaron los datos experimentales de la curva de secado a partir de los modelos exponencial y de Page con una bondad de ajuste ($R^2=0,97$). Los resultados obtenidos mostraron que el secado de las pastas LG ocurre, principalmente, en el período de velocidad decreciente, por lo que la difusión fue el principal mecanismo de migración de humedad, lo cual valida el uso de la solución analítica para la determinación del D_{ef} , cuyo valor fue $3,47 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$.

ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the effective diffusion coefficient (D_{ef}) of gluten-free (GF) dry pasta, made from rice flour, carob, amaranth and quinoa; from a method based on the analytical solution of Fick's second law and drying kinetics. D_{ef} was obtained by linear regression of the experimental data of dimensionless humidity as a function of drying time. The drying was carried out in a SAF200 dryer, with three programmable stages (pre-drying, drying and cooling) and with PID controllers of temperature and humidity. The noodles were arranged in trays forming a monolayer. The pastes reached an equilibrium humidity of 0.135 ± 0.014 kg water / kg dry solid in 310 min. The experimental data of the drying curve were adjusted from the exponential and Page models with a goodness of fit ($R^2=0.97$). The results obtained showed that the drying of GF noodles occurs mainly in the period of decreasing velocity, so that diffusion was the main mechanism of moisture migration, which validates the use of the analytical solution for the determination of D_{ef} , whose value was $3.47 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$.

Palabras claves: fideos - algarroba - modelado - libres de gluten

Keywords: noodles - carob - modeling - gluten free

1. INTRODUCCIÓN

El secado es un proceso que implica una transferencia simultánea de calor y masa en condiciones transitorias. En el caso de las pastas secas o fideos, el secado es la operación unitaria más importante durante el proceso de industrialización, no sólo por la alta inversión de capital en los equipos de secado y los costos de la operación, sino también porque es la etapa

determinante de la calidad del producto final. El proceso de secado se suele diseñar (perfiles de temperatura y de humedad relativa) de forma empírica mediante prueba y error. Este método es costoso y requiere una alta inversión de tiempo para determinar las condiciones de secado óptimas (Mercier et al, 2014). En este sentido, el modelado matemático es una metodología útil para simular el proceso global, a la vez que permite reducir el tiempo de identificación de las

condiciones de secado adecuadas (De Temmerman, 2007).

La mayoría de los modelos teóricos de transporte de materia, utilizados en ciencia de los alimentos se basan en las leyes de difusión de Fick y las ecuaciones derivadas propuestas por Crank (1975), para distintas geométricas: placa plana, cilindro y esfera. La relación del tipo ley de Fick conlleva un parámetro asociado, el coeficiente de difusión efectivo (D_{ef}). Resultados experimentales publicados (Andrieu y Stamatopoulos, 1986; Migliori et al., 2005; De Temmerman et al., 2007 y Mercier et al., 2013) indican que los modelos basados en el coeficiente de difusión efectivo proporcionan una estimación precisa de la evolución del contenido total de agua de la pasta durante el secado. Es primordial, por lo tanto, conocer D_{ef} para la simulación y optimización de esta operación.

Adecuadas condiciones de secado de la pasta es de fundamental importancia para las propiedades físicas finales de la misma, así como para minimizar la formación y propagación de grietas y lograr condiciones uniformes de transición vítrea (Ponsart et al., 2003). En este sentido, se debe garantizar que el agua se elimine lentamente y así evitar que la pasta se seque rápidamente y, por consiguiente, se endurezca la superficie antes que el interior. Por lo tanto, un control inadecuado de la velocidad de secado puede conducir a fideos frágiles que se desintegran durante el proceso de cocción (Larrosa, 2016).

El objetivo de este estudio fue estimar el coeficiente de difusión efectivo en el secado de pastas libres de gluten (LG); elaboradas a partir de harina arroz, algarroba, amaranto y quinoa; empleando la ley de Fick y las curvas que representan el cambio en el contenido promedio de agua del producto en función del tiempo (cinética de secado).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Elaboración de fideos libres de gluten

Se elaboraron fideos libres de gluten tipo macarrones (geometría cilíndrica) a base de harina de arroz, con el agregado de harinas de algarroba (*Prosopis alba*), quinoa (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus caudatus*) en porcentajes de 3%, 10% y 20%, respectivamente.

2.2. Proceso de secado

Para el secado de los fideos se empleó un secadero SAF200, con etapas programables y con controladores PID de temperatura y humedad, y bandejas contenedoras para las muestras del Instituto Nacional de Tecnología Industrial Cereales y Oleaginosas (INTI CyO) Buenos Aires, Argentina. Al tratarse de un material sólido, se llenó por completo la base de las bandejas (disposición en monocapa) de tal forma que la superficie de los pastas es la que queda expuesta a la corriente de aire seco.

Se llevó a cabo un ciclo de secado distribuido en etapas y fases con condiciones de temperatura, humedad relativa (HR) y tiempo, cuidadosamente seleccionados con el fin de prevenir el quebrado de la pasta con los cambios bruscos de temperatura. Para definir las características de cada fase y etapa (temperatura y humedad relativa) se tomó en cuentas las experiencias realizadas por Padalino et al. (2016) y Guller et al. (2002), y el proceso definido por el INTI CyO para el secado de pastas.

Se denominó Etapa I al Presecado, Etapas II y III al Secado y Etapa IV al Enfriamiento. En la Tabla 1, se muestra las variables operativas de cada una de las etapas y las fases.

Tabla 1. Temperatura (T), humedad relativa (HR) y tiempo del ciclo de secado.

Etapa	N° Fase	T (°C)	HR (%)	Tiempo (min)
I	1	50	65	10
	2	55	60	45
II	3	57	60	75
	4	60	60	45
III	5	55	55	75
	6	55	55	60
IV	7	35	35	60

A los fines del modelado se tomaron de manera independiente cada una de las etapas que conforman el ciclo de secado, de tal forma que se pueda apreciar los cambios en la difusividad del vapor de agua en cada una de ellas.

2.3. Determinación de humedad inicial e instantánea

Se definió, en primera instancia, los intervalos de tiempo en los cuales se realizarían las mediciones de humedad en los fideos. Dichas mediciones se ejecutaron conforme al método 27.3.06 de la AOAC (1995). Se denominó humedad inicial al valor de humedad obtenido al tiempo cero (t=0) y humedad instantánea a todas aquellas mediciones realizadas en el resto de los tiempos (t>0). Los datos fueron expresados sobre base seca, según las ecuaciones (1) y (2):

$$X_0 \left(\frac{g \text{ agua}}{gss} \right) = \frac{M_0 - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (1)$$

$$X_t \left(\frac{g \text{ agua}}{gss} \right) = \frac{M(t) - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (2)$$

Donde X₀ es la humedad al tiempo t=0 y X_t es la humedad para tiempos t>0. Ambas se expresan en [g agua/g sólido seco]. M₀ es la masa inicial de sólido húmedo en [kg], M_(t) masa de sólido húmedo al tiempo t en [kg] y M_{ss} es la masa de sólido seco en [kg].

2.4. Curva de secado

Para la construcción de la curva de secado, se graficó la humedad adimensional (X*) en función del tiempo. Los valores de X* se obtuvieron mediante la ecuación (3):

$$X^* = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3)$$

Donde X* es la humedad adimensional, X_t es la humedad al tiempo t en [kg agua/kg sólido seco], X_e es la humedad media de equilibrio y X₀ humedad media inicial, siendo estas últimas expresadas en [kg agua/kg sólido seco].

2.5. Modelado matemático

Se emplearon los modelos matemáticos exponencial y de Page para realizar el estudio de la cinética de secado. El modelo exponencial se puede describir mediante la ecuación (4):

$$X^* = a * e^{bt} \quad (4)$$

Modelo	Parámetro	Referencia
$X^* = 1.15 \cdot 10^{-3} + 1.67 \cdot 10^{-2} X^2 + 7.8 \cdot 10^{-2} X^2 \exp\left(-\frac{5840}{X}\right)$ $X^* = a \exp\left(\frac{1}{X} - \frac{1}{X_0}\right) \exp(-bt)$	$a = 1.2 \cdot 10^{-11}$ $b = 13036.95$ $X_{lim} = 293$	J. De Temmerman (2007)

Tabla 2. Modelos experimentales para la determinación de coeficiente de difusión efectivo en pasta.

2.7. Análisis estadístico

Mientras que el modelo de Page empleado fue el expresado en la ecuación (5):

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-K t^N) \quad (5)$$

Donde a, b, K y N son parámetros de los modelos.

2.6. Determinación de D_{ef}

Para la determinación del coeficiente de difusión efectivo de humedad, se tuvo en cuenta el método basado en la solución analítica de la Ley de Fick, y para ello se fijaron los siguientes supuestos: el proceso de difusión ocurre en estado no estacionario, la transferencia de masa ocurre de modo unidimensional, la resistencia difusiva interna resulta ser superior a la resistencia convectiva externa, de forma que ésta última se desprecia, el coeficiente de difusión efectivo de humedad permanece constante (independiente de la temperatura y la composición).

Teniendo en cuenta la solución analítica propuesta por Tütüncü y Labuza (1996), se estableció que D_{ef} puede ser calculado mediante la ecuación (6):

$$X^* = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right] \quad (6)$$

Donde L es el semiespesor de la lámina infinita en [m], t el tiempo en [s] y D_{ef} es el coeficiente de difusión efectivo en [m/s²]. Se modeló el proceso de secado del macarrón ("pasta corta") asumiendo la forma de placa plana de longitud infinita (ε/L≈0,05), por lo que solo se consideraron variaciones en una única dirección, el semiespesor de la pared del fideo

Con el fin comparar el resultado obtenido del D_{ef}, se aplicaron modelos matemáticos definidos por otros autores (Tabla 2).

Los datos experimentales que se informan corresponden las medias de determinaciones realizadas por quintuplicado, los mismos se

trabajaron matemáticamente a fin de aplicar una rutina de regresión lineal ejecutada en INFOSTAT. Se determinó el coeficiente de determinación lineal R^2 para establecer la bondad de los ajustes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cinética de secado

La Fig. 1 muestra la variación del contenido de humedad adimensional (X^*) de los fideos macarrones LG con el tiempo de secado. En la curva se observa una disminución progresiva del contenido de humedad con el tiempo. La diferencia de colores a lo largo de la curva corresponde a las diferentes etapas que se observaron durante el secado.

El proceso comenzó con un contenido de humedad en fideos de $0,4430 \pm 0,0003$ kg agua/kg sólido seco, hasta lograr una humedad de equilibrio de $0,135 \pm 0,014$ kg agua/kg sólido seco, lograda luego de un tiempo de secado de 310 minutos.

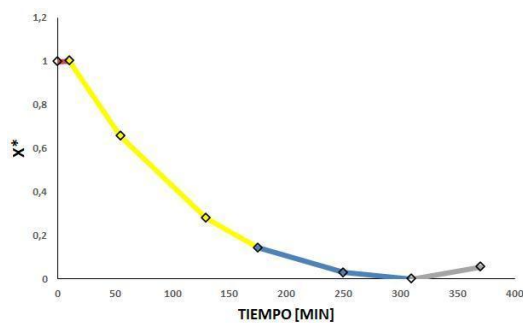


Figura 1. Curva de cinética de secado de fideos libres de gluten.

El tiempo en el cual se alcanzó la humedad de equilibrio fue de 310 minutos (aproximadamente 5 horas), el cual se encuentra dentro del rango (3,2-9,3 horas) estipulado por otros autores que realizaron la experiencia en similares condiciones (Larrosa, 2016).

La variación de la velocidad de secado ($\Delta X_t / \Delta t$) en función del tiempo (t) se presenta en la Fig. 2. En la misma se observa que no se presentó una etapa velocidad constante, por lo que los valores de X^* decrecieron rápidamente. Durante este periodo el frente de evaporación comienza

a desplazarse desde la superficie del fideo hacia el interior del sólido poroso, transfiriéndose calor latente de vaporización. El agua evaporada se difunde a través del sólido hasta llegar a la corriente de aire. Teniendo en cuenta el transporte de materia en el sólido y considerando que no existe la etapa de velocidad constante, se puede afirmar que el mecanismo de transferencia controlante, para el caso de fideos LG, es la difusión interna de masa.

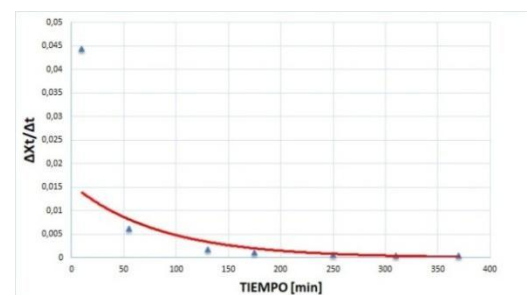


Figura 2. Variación de velocidad de secado en función del tiempo.

3.2. Modelado de curva de secado

Con el fin de estudiar la cinética de secado, se aplicaron dos modelos de ajuste a los datos experimentales: el modelo exponencial y el modelo propuesto por Page. Se consideró que la mayor cantidad de agua de los fideos fue removida durante las Etapas II y III, que son las etapas de secado propiamente dicho (Tabla 1). Por esta razón, los dos modelos matemáticos fueron aplicados en estas etapas.

Para el modelo exponencial, se obtuvo la gráfica que se muestra en la Fig. 3.

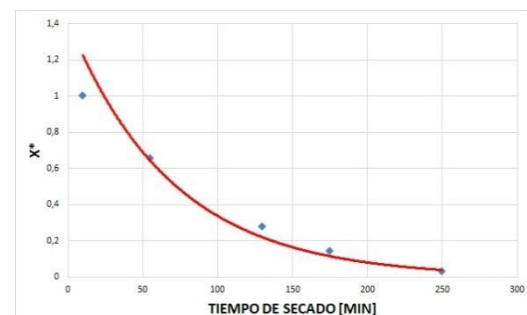


Figura 3. Ajuste al modelo exponencial de la curva de secado.

La expresión que se obtuvo en dicho ajuste responde a: $X^*=1,4152e^{-0,014t}$, con un $R^2=0,97$. La bondad de ajuste fue alta debido a que el comportamiento de diferentes productos alimenticios durante el secado responde a una tendencia exponencial (Chigal; Milde y Bruomvsky, 2018).

La aplicación del modelo de Page (ecuación 5) a los datos experimentales permitió obtener los parámetros K y N, cuyos valores fueron 0,2673 y 0,0108, respectivamente. La bondad de ajuste del modelo fue de 0,972.

Por los resultados obtenidos, podemos afirmar que ambos modelos pueden ser empleados para describir, de manera satisfactoria, la cinética de secado en pastas secas LG.

3.3. Determinación de D_{ef}

Para determinar el valor del coeficiente de difusión efectivo de vapor de agua (D_{ef}) se graficó en un diagrama semilogarítmico la humedad adimensional (X^*) en función del tiempo, seguido de un ajuste lineal. Como resultado se obtuvo la gráfica que se muestra en la Fig. 4. Conforme a los datos obtenidos al graficar las curvas de secado, y tomando en cuenta que se removió la mayor cantidad de agua durante el período de velocidad decreciente, se puede afirmar que el mecanismo de difusión del vapor de agua es la fuerza impulsora controlante del proceso de secado. Estos resultados permiten calcular el coeficiente de difusión efectivo a partir de la ec. 6, a partir de determinar la pendiente de las curvas.

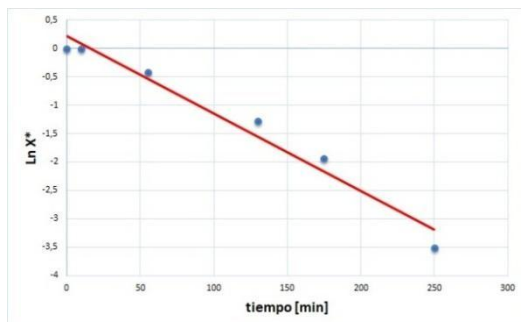


Figura 4. Linealización de curva de secado.

La expresión del ajuste lineal da como resultado una ecuación de la forma: $y=-0,013x+0,214$, cuya bondad de ajuste resultó $R^2=0,97$. Teniendo en cuenta el valor de la pendiente de la recta, se obtuvo que la difusividad efectiva, D_{ef} de los fideos LG fue de $3,47 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. El valor obtenido fue similar al determinado por Larrosa et al. (2016) en fideos libres de gluten. Los valores determinados se encuentran en el rango de 10^{-9} a $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ informados para alimentos (Zogzas et al, 1996).

4. CONCLUSIONES

- ✓ Al realizar el secado en etapas de pastas libres de gluten bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas, se estableció un tiempo experimental de 310 minutos para que dicho sistema alcance la humedad de equilibrio ($0,135 \pm 0,014 \text{ kg agua/kg sólido seco}$).
- ✓ En base a las gráficas obtenidas, se pudo evidenciar que el período de velocidad constante no existió, por lo que el secado ocurrió solo durante el periodo de velocidad decreciente, permitiéndonos afirmar que el mecanismo de transferencia controlante para el caso de pastas LG es la difusión interna del vapor de agua.
- ✓ Tanto el modelo exponencial como el modelo propuesto por Page, describen de manera satisfactoria los datos experimentales obtenidos durante el proceso de secado.
- ✓ la cinética del proceso permitió estimar el coeficiente de difusión efectivo (D_{ef}) a partir de soluciones analíticas a la Ley de Fick. Bajo condiciones controladas de HR y temperatura, se estableció que el D_{ef} para fideos libres de gluten fue de $3,47 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, valor que se asemeja a lo informado por otros autores.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Santiago del Estero, que aportó el financiamiento para las investigaciones y al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), dado que el trabajo se realizó en el marco de la Beca Estímulo a las Vocaciones Científicas.

6. REFERENCIAS

- Andrieu, J., Stamatopoulos, A.A.. Durum wheat pasta drying kinetics. *LWT – Food Science and Technology*, 19, 448–456, 1986.
- Association Official Analytical Chemistry, *Official Methods of Analysis of the AOAC*, 16ta Edition, Vol. 2, 912, 1995.
- Chigal, P. S., Milde, L. B. & Brumovsky, L. A. Modelado matemático del secado de fideos libres de gluten, influencia de la velocidad del aire. *Revista De Ciencia Y Tecnología*, 32(1), 71-75, 2019.
- Crank, J. *The mathematics of diffusion*. Clarendon Press, Oxford - UK, 1975.
- De Temmerman, J., Verboven, P., Nicolai, B., Ramon, H. *Journal Food Engineering*, 892-903, 2007.
- Güler, S. H., Köksel, P. K., & Ng, W. Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality. *Food Research International*, 35, 421–427, 2002.
- Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., Califano, A. Modelado matemático del secado de pastas libres de gluten en relación a la temperatura y humedad relativa del aire. *Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay*, 11, 54 - 58, 2016.
- Mercier, S., Marcos B., Moresoli, C. Mondor, M., Villeneuve, S. Modeling of internal moisture transport during durum wheat pasta drying. *Journal of Food Engineering*, 124, 19–27, 2014.
- Mercier, S., Moresoli, C., Villeneuve, S., Mondor, M., Marcos, B. Sensitivity analysis of parameters affecting the drying behaviour of durum wheat pasta. *Journal of Food Engineering*, 118, 108–116. 2013.
- Migliori, M., Gabriele, D., De Cindio, B., Pollini, C.M. Modeling of high quality pasta drying: mathematical model and validation. *Journal of Food Engineering*, 69, 387–397, 2005.
- Padalino, L., Caliandro, R., Chita, G., Conte, A., Del Nobile, M.A. Study of drying process on starch structural properties and their effect on semolina pasta sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 153, 229-225, 2016.
- Ponsart, G., Vasseur, J., Frias, J.M., Duquenoy, A., Meot, J.M.. Modeling of stress due to shrinkage during drying of spaghetti. *Journal of Food Engineering*, 57, 277–285, 2003.
- Tütüncü y Labuza. *The mathematics of diffusion*. Clarendon Press, Oxford-UK, 1996.
- Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B. & D. Maroulis Kouris, Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs, *Drying Technology*, 14(10), 2225-2253, 1996.

Evaluación de la concentración nutricional óptima de la solución de riego en plántulas de chía (*Salvia hispanica* L.)

Yañez-Yazlle, M Florencia^{1,2}; Romano-Armada, Neli^{1,3}; Rajal, Verónica B^{1,3,4}; Irazusta, Verónica P^{1,2*}

(1) Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI), Universidad Nacional de Salta (UNSa) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Salta, Argentina

florenciayanez93@gmail.com; nelir000@gmail.com; vbrajal@gmail.com; irazustaveronica@gmail.com

(2) Facultad de Ciencias Naturales, UNSa, Salta, Argentina

(3) Facultad de Ingeniería, UNSa, Salta, Argentina

(4) Singapore Centre for Environmental Life Sciences Engineering (SCELSE), School of Biological Sciences, Nanyang Technological University (NTU), Singapore

RESUMEN

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una especie herbácea, recientemente revalorizada por sus propiedades nutricionales y por su potencial para la diversificación productiva en la agricultura e industrias alimentaria y farmacéutica. El objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración óptima de la solución de riego para el cultivo inicial de chía. Se usaron seis soluciones de riego: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 y MS/10. Se colocaron cuatro plantas por maceta en sustrato arena:perlita:vermiculita (2:1:1 v/v) con dos réplicas por tratamiento. Al finalizar el ensayo, se registraron las variables: longitud (cm) de vástago, raíz, hipocótilo, epicótilo, internodal y de pecíolos, área foliar total (cm²) y sanidad de las hojas. El tratamiento MS/4 presentó la mayor supervivencia de plántulas (> 60%), contrario al tratamiento MS que alcanzó una mortalidad del 100%. Mientras MS/8 presentó los mayores valores en área foliar, MS/4 fue el tratamiento con menores valores y con porciones variables de hojas necrosadas al igual que MS/2 y MS/10. En conclusión, las soluciones de riego más concentradas (MS y MS/2) presentaron efectos adversos en todos los parámetros evaluados, mientras que las soluciones MS/6 y MS/8 presentaron valores más elevados en longitud de vástago, área foliar, y supervivencia de plántulas.

Palabras claves: Chía- Solución de riego-Fertilización

ABSTRACT

Chia (*Salvia hispanica* L.) is a herbaceous species, recently acknowledged for its nutritional properties and for its potential for productive diversification in agriculture and food and pharmaceutical industries. The aim of this work was to evaluate the optimal concentration of the irrigation solution for the initial growth of chia. Six irrigation solutions were used: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 and MS/10. Four plants were placed per pot in substrate (sand:perlite:vermiculite 2:1:1 v/v), accounting two replicates per treatment. At the end of the experiment, the variables recorded were: length (cm) of stem, root, hypocotyl, epicotyl, internodes and petioles, total leaf area (cm²) and leaf health. The MS/4 treatment presented the highest seedling survival (> 60%), contrary to the MS treatment, which reached a mortality of 100%. While MS/8 presented the highest values in leaf area, MS/4 was the treatment with the lowest values and with variable portions of necrotic leaves as well as MS/2 and MS/10. In conclusion, the more concentrated irrigation solutions (MS and MS/2) presented adverse effects in all the evaluated parameters, while the MS/6 and MS/8 solutions presented higher values in stem length, leaf area, and plant survival.

Keywords: Chía- Irrigation solution- Fertilization

1 INTRODUCCIÓN

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una especie herbácea anual perteneciente a la familia Lamiaceae. Es originaria del sur de México y norte de Guatemala, y cultivada desde regiones tropicales a subtropicales (Ayerza 1995).

Entre los beneficios del cultivo se destacan principalmente las propiedades nutricionales de la semilla, la cual contiene entre 25-38% de aceites, un 60% de ácido linolénico, altos niveles de proteínas (19-23%) y alto contenido de antioxidantes y minerales. Así, también constituye una excelente fuente de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre (Amato et al. 2015; Ayerza y Coates 2001; Orona-Tamayo et al. 2017). En este sentido, la chía es una materia prima con potencial para la obtención de alimentos funcionales por sus características nutritivas.

Actualmente, se cultiva comercialmente en Australia, Argentina, Bolivia, Colombia, Guatemala, México, Perú, Paraguay y Brasil (Busilacchi et al. 2015). Respecto a nuestro país, junto con México y Bolivia, Argentina es uno de los tres productores principales del mundo. Inicialmente, el cultivo se extendió en la zona norte del país, principalmente en las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy, y posteriormente en las regiones del centro, particularmente en aquellas donde predomina la sojización (Busilacchi et al. 2018; 2013). La chía se presenta como una alternativa de diversificación productiva en reemplazo de cultivos tradicionales no rentables en la región noroeste, como alternativa a la soja en la región centro y de producción agroecológica potencial para zonas periurbanas, sumando además, el agregado de valor en origen, lo cual puede contribuir al desarrollo local (Busilacchi et al. 2018; Ixtaina et al. 2008; Pérez Brandán et al. 2020).

Respecto a sus requerimientos nutricionales, las distintas plantas necesitan diferentes proporciones de elementos esenciales, denominados macro y micro-nutrientes, tales como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel y zinc. Para obtener un alto rendimiento de un cultivo, es necesario asegurar a las plantas una dosis óptima de estos elementos, dado que su deficiencia o exceso pueden generar efectos adversos sobre el

crecimiento y desarrollo de las mismas (Kulkarni y Goswami, 2019).

Respecto a la chía, no existe consenso en relación a sus requerimientos nutricionales óptimos. Algunos autores informan que la aplicación de fertilizantes químicos y biofertilizantes que aporten nitrógeno, fósforo y potasio a la planta, es fundamental para alcanzar un crecimiento óptimo, obteniéndose mayores valores en todos los parámetros vegetativos tales como altura de la planta, número de hojas e inflorescencias, biomasa seca y en producción de foto-asimilados en relación a plantas no fertilizadas (Salman et al. 2019; Sosa y Ruiz-Ibarra 2018; Souza et al. 2017). Por otra parte, algunos autores sugieren que la fertilización nitrogenada genera efectos adversos sobre el rendimiento y la maduración de las semillas (Bochicchio et al., 2015).

En este sentido, dado el creciente potencial económico de la chía desde el punto de vista de su productividad agrícola, así como en las industrias alimentaria y química, es fundamental determinar las condiciones óptimas para su cultivo. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración óptima de la solución de riego para el cultivo de chía en su fase inicial.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Material biológico*

Se trabajó con plántulas de chía (*Salvia hispanica* L.). Las semillas se esterilizaron superficialmente con gas cloro. Estas se colocaron en un desecador de 10 L junto a un recipiente con 100 mL de NaClO a los que se añadieron 3 mL de HCl. Se cerró el desecador y se dejó actuar el gas desprendido durante 3h (Romano Armada et al., 2019). Posteriormente, las semillas se sembraron en placas de Petri con agar Murashige-Skoog con concentración de nutrientes 1:2 (MS/2) (Murashige y Skoog, 1962) y se colocaron a 4°C para su estratificación en frío por 24 h. Posteriormente, las placas se colocaron para su germinación en cámara de crecimiento a 24 °C con fotoperiodo luz:oscuridad 8:16 h.

2.2 *Ensayo en macetas*

Las semillas germinadas se colocaron en macetas con un sustrato constituido por arena, perlita y vermiculita (proporción 2:1:1 v/v). Se colocaron

cuatro plantas por maceta y luego se regaron con 100 mL de cada solución de riego (Tabla 1).

Tabla 1. Soluciones empleadas en los distintos tratamientos de riego. Se registró el pH y la conductividad eléctrica (CE) de cada solución.

Solución de riego	Volumen de stock 20X por litro de solución (mL)	Volumen de H ₂ O _d por litro de solución (mL)	pH	CE
MS	50,00	950,00	5,80	7,39 mS/cm
MS/2	25,00	975,00	5,84	3,95 mS/cm
MS/4	12,50	987,50	5,87	2,26 mS/cm
MS/6	8,33	991,67	5,76	1,36 mS/cm
MS/8	6,25	993,75	5,83	1,06 mS/cm
MS/10	5,00	995,00	5,89	0,98 uS/cm

Los tratamientos se distribuyeron con un diseño completamente aleatorizado con dos réplicas por tratamiento. Las macetas se colocaron en cámara de crecimiento con temperatura constante de 24 °C y con un fotoperíodo luz:oscuridad 8:16 h. Posteriormente, se regaron con 70 mL de cada una de las soluciones de riego cada 14 días. El ensayo se llevó a cabo durante 66 días.

2.3 Solución de riego

Como solución de riego se utilizó el medio Murashige-Skoog (MS), con el agregado de sacarosa (2%). La composición del medio fue (mg/L): 1650 NH₄NO₃, 332 CaCl₂, 180 MgSO₄, 170 KH₂PO₄, 1900 KNO₃, 6,5 H₃BO₃, 0,02 CoCl₂, 27,8 FeSO₄, 22,3 MnSO₄, 0,8 KI, 0,2 Na₂MoO₄, 8,6 ZnSO₄, 0,02 CuSO₄, 27,85 FeSO₄, 37,26 Na₂EDTA. Se evaluaron seis concentraciones: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 y MS/10 (Tabla 1), siendo la primera la más concentrada y la última la más diluida. Se preparó un stock concentrado 20X a partir del cual se prepararon las respectivas soluciones de riego.

2.4 Análisis estadístico

Las muestras se fotografiaron en los distintos tiempos de riego. El procesamiento de las imágenes se realizó utilizando el software FIJI basado en ImageJ (Schindelin et al., 2012). Al finalizar el experimento se registraron las variables longitud de vástago (cm), longitud de raíz (cm), longitud de hipocótilo (cm), longitud de epicótilo (cm), longitud internodal (cm), longitud de peciolos (cm), relación largo/ancho de limbo, área foliar total (cm²) y sanidad de las hojas considerando área foliar fotosintética, clorótica y necrosada (cm²). Para evaluar las diferencias estadísticas entre tratamientos se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La forma en que las plantas adquieren y asimilan los nutrientes para crecer y desarrollarse, constituye un aspecto fundamental para determinar las condiciones óptimas de un cultivo; así como también para lograr una mayor y mejor producción con el menor impacto negativo posible sobre el medio (Azcón-Bieto y Talón, 2013). De esta forma, en este trabajo se buscó determinar la concentración óptima de la solución de riego para el cultivo de chía (*Salvia hispanica* L.), a fin de establecer el contenido de nutrientes más adecuado para el desarrollo temprano de las plantas.

3.1 Supervivencia de las plántulas

Respecto a la supervivencia, el tratamiento MS/4 presentó los mayores valores, con una proporción de plántulas mayor al 60% al finalizar el experimento. Por el contrario, el tratamiento MS presentó una rápida caída en los valores de supervivencia a lo largo del ensayo, llegando inclusive a una mortalidad del 100% al finalizar el experimento (Fig. 1). Igualmente, MS/2 presentó valores de supervivencia muy inferiores en relación a los otros tratamientos, observándose una elevada mortalidad con sólo un 10% final de plántulas supervivientes. Por su parte, los tratamientos MS/6, MS/8 y MS/10, presentaron valores intermedios, con una supervivencia del 50% al final del ensayo (Fig. 1). Al analizar este parámetro, se observa que las soluciones de riego más concentradas mostraron un efecto adverso, ocasionando la mortalidad de todas las plántulas regadas con el tratamiento MS y del 90% en las plantas regadas con MS/2. Por el contrario, las soluciones más diluidas, desde MS/6 en adelante presentaron un efecto intermedio, con una

supervivencia del 50%, siendo MS/4 la que presentó mejores resultados.

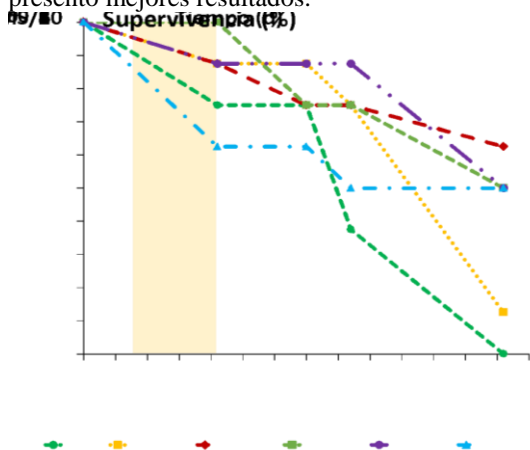


Figura 1. Curvas de supervivencia de plántulas de chí (*Salvia hispanica* L.) tratadas con diferentes soluciones de riego: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 y MS/10, desde el inicio al final del experimento (66 días). El área sombreada indica el periodo de aparición del primer par de hojas en las plántulas.

3.2 Área foliar

Respecto a las zonas de la lámina dañadas, MS/2, MS/4 y MS/10 presentaron porciones variables de hojas necrosadas, particularmente MS/10. Estas áreas se distribuyeron generalmente en los ápices y bordes de la lámina en el área apical (Fig. 2). También se observó una pequeña proporción de superficie clorótica en los tratamientos MS/2 y MS/4, en el segundo, tercer y cuarto par de hojas. Si bien no fue incluido en el análisis por la mortalidad de las plántulas, el tratamiento MS presentó una elevada superficie clorótica que abarcaba la mayor parte de la lámina, sin embargo en el resto de los casos las zonas

cloróticas se presentaron como halos alrededor de las zonas necrosadas (Fig. 2).

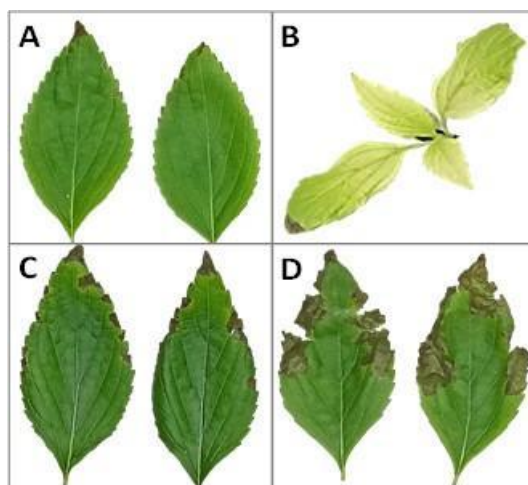


Figura 2. Imágenes de láminas foliares con diferentes patrones de áreas cloróticas y necrosadas. Se observaron hojas con necrosis apical (A), necrosis apical y clorosis en toda la lámina (B), necrosis apical y de bordes con zonas cloróticas alrededor de zonas necrosadas (C), y necrosis avanzada apical y en los bordes que se extendió al interior de la lámina (D).

Los mayores valores en área foliar se observaron en el segundo y tercer par de hojas (Fig. 3). En el tratamiento MS/8 las áreas foliares totales fueron significativamente mayores respecto a los otros tratamientos, seguido por las plantas tratadas con MS/6 y MS/10. Por otro lado, MS/4 fue el tratamiento con menor área foliar en casi todos los casos (Fig. 3).

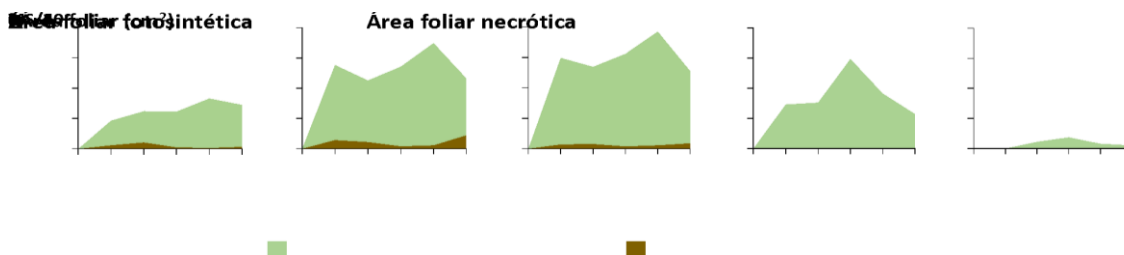


Figura 3. Gráficos de área foliar a tiempo final, discriminada según área fotosintética y área necrótica de la lámina, correspondientes a los distintos pares de hojas de plántulas de chí (*Salvia hispanica* L.) tratadas con diferentes soluciones de riego: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 y MS/10. Primer par de hojas (A), segundo par de hojas (B), tercer par de hojas (C), cuarto par de hojas (D) y quinto par de hojas (E).

Respecto a la integridad de la lámina foliar, la mayor parte de la superficie en todos los tratamientos correspondió al área fotosintética, observándose una pequeña proporción de áreas necróticas (Fig. 3).

En este sentido, el análisis de la superficie foliar, y las proporciones fotosintéticas, cloróticas y necróticas, resulta fundamental para determinar el estado nutricional de las plantas, indicando posibles deficiencias o excesos de nutrientes (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

Particularmente la clorosis (amarillamiento) y la necrosis (manchas marrones o negras), son indicadores nutricionales de deficiencia o toxicidad de diferentes elementos, tales como nitrógeno, fósforo, manganeso, potasio, y molibdeno, entre otras, que pueden identificarse mediante los diferentes patrones de manchas en la

lámina foliar (McCauley et al., 2009). Tal es el caso de las plantas tratadas con la solución MS, las cuales presentaron una superficie clorótica elevada en las hojas y un crecimiento mucho menor al compararlas con los otros tratamientos (Fig. 4).

3.3 Parámetros de crecimiento

La mayor longitud de vástago se observó en el tratamiento con MS/6, mientras que los menores valores se observaron en las plántulas tratadas con MS/2 (Fig. 5). Respecto al hipocótilo, MS/10 presentó la mayor longitud, siendo mayor a MS/2 significativamente. Respecto a los entrenudos restantes, las plántulas tratadas con MS/6 y MS/8 obtuvieron los mayores valores, aunque no fueron significativos.

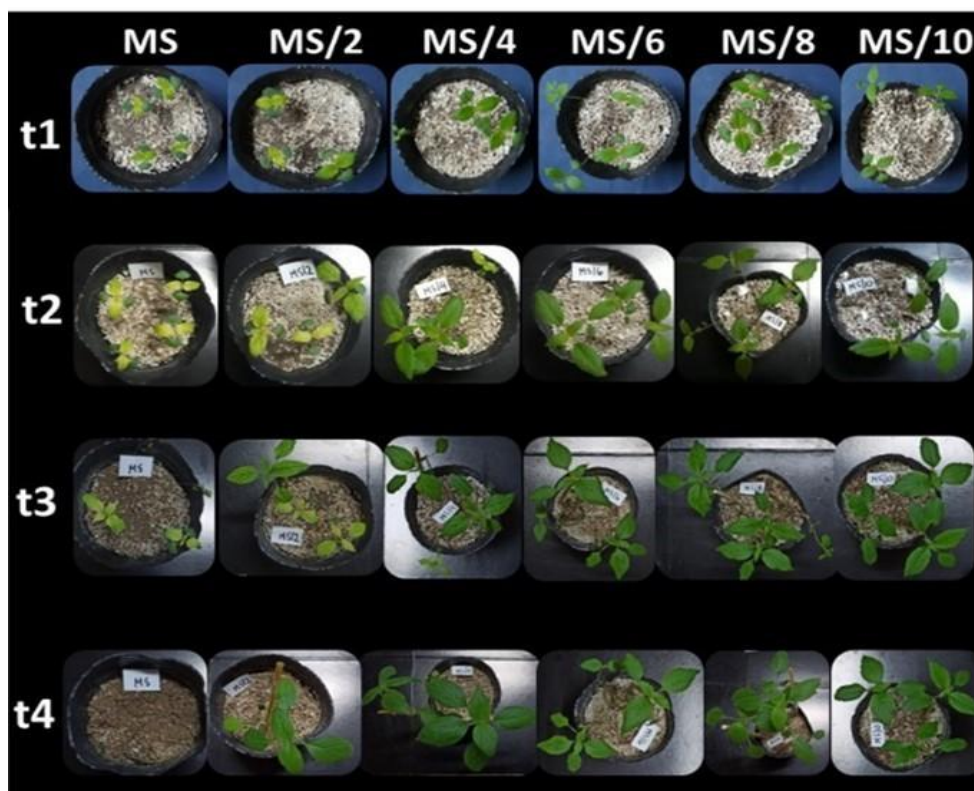


Figura 4. Plántulas de chíá (*Salvia hispanica* L.) en distintos tiempos de riego: t1, t2, t3 y t4; tratadas con diferentes soluciones de riego: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 y MS/10.

Por otra parte, se observó que las plantas regadas con MS/2 y MS/4 presentaron menor longitud en el tercer y cuarto entrenudo que las plantas de otros tratamientos, evidenciando un menor desarrollo al finalizar el ensayo (Fig. 5)

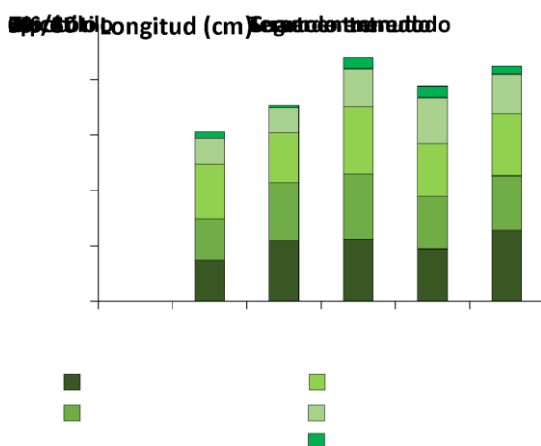


Figura 5. Longitud total de vástago de plántulas de chia (*Salvia hispanica* L.) discriminada según: hipocótilo, epicótilo, segundo, tercer y cuarto entrenudo. Valores luego de 66 días de cultivo con diferentes soluciones de riego: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 y MS/10.

3.4 Interrelación de variables

Al analizar las variables en conjunto, se puede observar que, en general, todas las plántulas presentan mayores longitudes de vástagos que de raíces, sin embargo la proporción de la relación vástago/raíz no es igual en todos los tratamientos (Fig. 6). Respecto al comportamiento de las plantas en cada tratamiento, se puede observar que la distribución de puntos en el tratamiento MS/8 se encuentra ubicada hacia arriba y a la izquierda, lo que se traduce en plantas con una proporción más equilibrada de vástago y raíz y una elevada área foliar, con una menor dispersión de los datos. El mismo comportamiento, en menor medida, se observa con MS/10, con el cluster de puntos ubicado más hacia el centro. Respecto a MS/4, las plantas presentan menores valores de área foliar y vástagos más largos, mientras que con MS/6, si bien se observan los mayores valores de área foliar, hay una gran dispersión de los datos, observándose además plántulas con vástagos muy largos respecto a su sistema radicular. Respecto a MS/2, dada la elevada mortalidad, la nube de puntos no resultó representativa (Fig. 6).

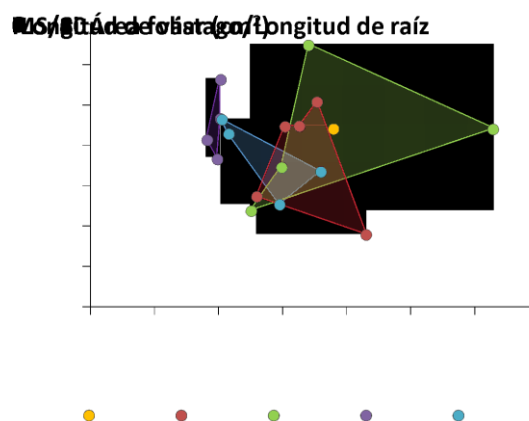


Figura 6. Diagrama de dispersión de la relación Longitud de vástago/Longitud de raíz versus el Área foliar (cm^2) de plántulas de chia (*Salvia hispanica* L.). Valores luego de 66 días de cultivo en presencia de diferentes soluciones de riego: MS, MS/2, MS/4, MS/6, MS/8 y MS/10.

En general, al analizar en conjunto los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados, las soluciones más concentradas como la MS y la MS/2 condujeron a la mortalidad de la mayor parte de las plantas así como a menores valores en longitud de vástago, de raíz, de entrenudos, y de área foliar (con proporciones elevadas de áreas necrosadas). En este sentido, los resultados obtenidos se oponen a lo descrito por Salman et al., (2019) donde los autores establecen que una mayor fertilización conduce a mayores valores de crecimiento vegetativo y de rendimiento de grano, al igual que Souza et al., (2017) en cuyo trabajo la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio favorece el crecimiento de las plantas, promoviendo un incremento en todas las variables estudiadas. Sin embargo, en ambos casos la evaluación de la fertilización se llevó a cabo en suelos y con diferentes fuentes de N, P y K en relación a este trabajo.

Nuestros resultados mostraron que las plantas regadas con soluciones menos concentradas presentaron mayores valores en la mayoría de los parámetros evaluados. Analizando en conjunto todas las variables y las relaciones entre ellas, las soluciones de riego MS/8 y MS/6 (en menor medida) se encuentran entre las óptimas, dado que las plantas presentaron mayores porcentajes de supervivencia, áreas foliares y longitud de vástago.

4. CONCLUSIONES

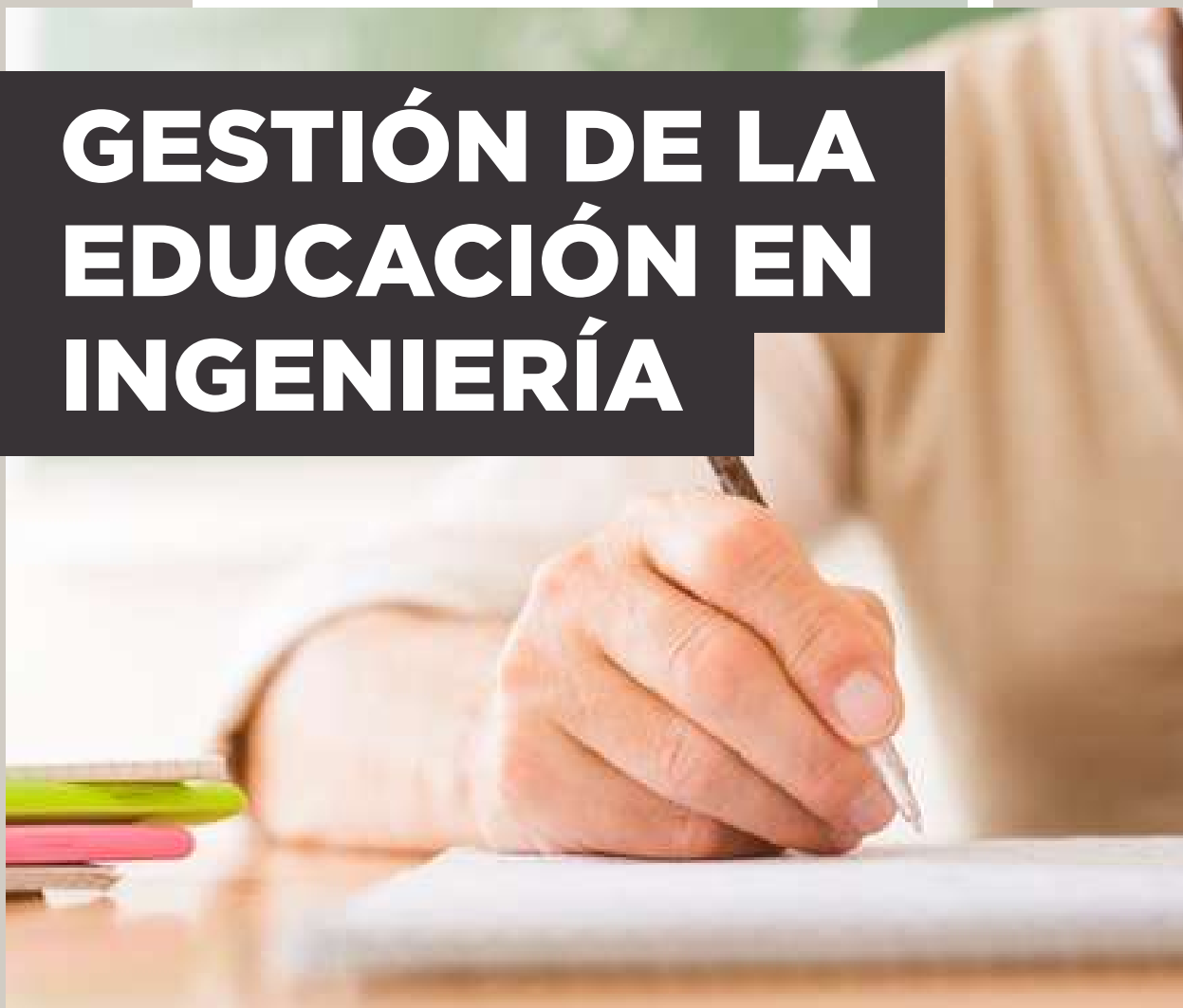
Los resultados obtenidos nos permiten concluir que, en las condiciones de crecimiento implementadas, las soluciones de riego más diluidas favorecieron un mayor crecimiento vegetativo en plántulas de chía (*Salvia hispanica* L.). Dado que los estudios acerca de los requerimientos nutricionales de la chía y las recomendaciones de fertilización se basan en estudios realizados en diferentes países, con diferentes fuentes de nutrientes y condiciones climáticas y edáficas variables, este trabajo permite aportar información respecto a los requerimientos nutricionales de la chía empleando otra fuente de nutrientes, una solución de riego ampliamente utilizada en estudios de fisiología vegetal. A partir de estos resultados preliminares, se realizarán nuevos estudios para evaluar la respuesta de la planta en diferentes condiciones de crecimiento y con la aplicación de bioinoculantes.

5. REFERENCIAS

- Amato, M., Caruso, M.C., Guzzo, F., Galgano, F., Commisso, M., Bochicchio, R., et al. (2015) Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy. *Eur Food Res Technol* 241: 615–625.
- Ayerza, R. (1995) Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. *J Am Oil Chem Soc* 72: 1079–1081.
- Ayerza, R. and Coates, W. (2001) Chia seeds: new source of omega-3 fatty acids, natural antioxidants, and dietetic fiber. *Southwest Cent Nat Prod Res Commer Off Arid Lands Stud Tucson, Arizona, USA*.
- Azcón-Bieto, J. and Talón, M. (2013) Fundamentos de fisiología vegetal, 2nd editio. Madrid: McGRAW-HILL - INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. L.
- Bochicchio, R., Rossi, R., Labella, R., Bitella, G., Perniola, M., and Amato, M. (2015) Effect of sowing density and nitrogen top-dress fertilisation on growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in a Mediterranean environment: first results. *Ital J Agron* 10: 163–166.
- Busilacchi, H., Qüesta, M., Wagner, A., Cabezas, C., and Bresó, A. (2018) Características del mercado minorista de chia y colza en la ciudad de Rosario. Factibilidad de producción agroecológica y agregado de valor. *AGROMENSAJES* 20–24.
- Busilacchi, H., Qüesta, T., and Zuliani, S. (2015) La chía como una nueva alternativa productiva para la región pampeana. Artículo. *AGROMENSAJES* 37–46.
- Busilacchi, H., Quiroga, M., Bueno, M., Sapio, O. Di, and Flores, V. (2013) EVALUACIÓN DE *Salvia hispanica* L. CULTIVADA EN EL SUR DE SANTA FE (REPÚBLICA ARGENTINA) Evaluation of *Salvia hispanica* L. cultivated in the south of Santa Fe (Argentina). *Cultiv Trop* 34: 55–59.
- Ixtaina, V.Y., Nolasco, S.M., and Tomás, M.C. (2008) Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Ind Crops Prod* 28: 286–293.
- Kulkarni, S. and Goswami, A. (2019) Effect of excess fertilizers and nutrients: a review on impact on plants and human population. *Int Conf Sustain Comput Sci Technol Manag* 2094–2099.
- McCauley, A., Jones, C., and Jacobsen, J. (2009) Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. *Nutr Manag Modul* 1–16.
- Murashige, T. and Skoog, F. (1962) A revised medium for rapid growth and Bio assays with Tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15: 474–497.
- Orona-Tamayo, D., Valverde, M.E., and Paredes-López, O. (2017) Chia — The New Golden Seed for the 21st Century: Nutraceutical Properties and Technological Uses. In, *Sustainable Protein Sources*. Elsevier Inc., pp. 265–281.
- Pérez Brandán, J., Curti, R.N., and Acreche, M.M. (2020) Developmental responses of chia (*Salvia hispanica*) to variations in thermoperiod: impact on subcomponents of grain yield. *Crop Pasture Sci* 71: 183–189.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., and Robledo, C.W. (2008) InfoStat, versión 2008. FCA, Univ Nac Córdoba, Argentina.
- Romano Armada, N., Doccula, F.G., Candeo, A., Valentini, G., Costa, A., and Bassi, A. (2019) In vivo Light Sheet Fluorescence Microscopy of calcium oscillations in *Arabidopsis thaliana*. *Calcium Signalling Methods Mol Biol* 1925: 87–101.
- Salman, A.M., Omer, E.A., Hussein, M.S., Sewedan, E., and Osman, A.R. (2019) Influence

- of foliar fertilization on the growth and yield of chia (*Salvia hispanica*) plant. *Egypt Pharm J* 18: 263–275.
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., et al. (2012) Fiji: An open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods* 9: 676–682.
- Sosa, A. and Ruiz-Ibarra, G. (2018) Inadequate Nitrogen Fertilization : Main Cause of the Low Seed Yield on the Inadequate Nitrogen Fertilization : Main Cause of the Low Seed Yield on the Chia Crop (*Salvia Hispanica* L .). *Biomed J Sci Tech Res* 2–4.
- Souza, R.S., Helena, L., and Chaves, G. (2017) Initial growth of chia (*Salvia hispanica* L .) submitted to nitrogen , phosphorus and potassium fertilization. *Aust J Crop Sci* 11: 610–615.

GESTIÓN DE LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA



Laboratorio en casa: experiencias de química con materiales caseros

Aparicio, María Alejandra¹; Zacur, Sofía¹; Aramayo, Ignacio^{1,2}; Vargas, Milton René¹, Güizzo, María Virginia^{1,2} y Moraga, Norma.^{1,2}

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*

maraapa@unsa.edu.ar

(2) *INQUI-CONICET.*

normoraga@gmail.com

RESUMEN

En el marco de la pandemia del COVID-19 la educación universitaria presencial tradicional sufrió de forma abrupta un replanteo, sobre todo la de las ciencias basadas en el desarrollo y la adquisición de habilidades psicomotrices propias de cada disciplina, como la Química, Medicina, Odontología, por citar algunas. En este contexto y dado que Química es una ciencia experimental, la cátedra de Química General de la Facultad de Ingeniería de la UNSa, reformuló rápidamente las prácticas de laboratorio, con el objetivo principal de que los estudiantes puedan aplicar los conceptos teóricos en situaciones cotidianas (experiencias caseras) que les permitieran experimentar, “visualizar” y volver “tangible” la química. La respuesta de los estudiantes, su participación y las opiniones respecto de esta propuesta nos permiten concluir que esta iniciativa no sólo logró su objetivo sino que es una herramienta estimulante que puede ser complementaria a las tradicionales y digna de ser profundizada.

ABSTRACT

In the framework of the COVID-19 pandemic, traditional face-to-face university education suffered an abrupt rethinking, especially that of sciences based on the development and acquisition of psycho-motor skills specific to each discipline, such as Chemistry, Medicine, Dentistry, to name a few. In this context and given that Chemistry is an experimental science, General Chemistry's Chair of the Faculty of Engineering of the UNSa, quickly reformulated the laboratory practices, with the main objective that students can apply theoretical concepts in everyday situations (home experiences) that allowed them to experience, “visualize” and make chemistry “tangible”. The students' response, their participation and the opinions regarding this proposal allow us to conclude that this initiative not only achieved its objective but it is a stimulating tool that can be complementary to the traditional ones and worthy of being deepened.

Palabras claves: Virtualidad-Experimentación-Química

Keywords: Virtuality-Experimentation-Chemistry

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza como una actividad social está enmarcada dentro de un contexto institucional, tiene propósitos claros, intencionalidad y racionalidad en las prácticas a desarrollar en el aula, para mejorar la calidad de los procesos de transmisión y apropiación de conocimientos. Para dar cumplimiento a estos objetivos, los docentes de Química General de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Salta (UNSA),

centralizamos nuestro esfuerzo en que los estudiantes logren aplicar los conceptos proporcionados en las clases teóricas para la resolución de problemas y relacionarlos con ejemplos reales de la vida cotidiana, sabiendo que esto no suple el desarrollo de destrezas y habilidades en el uso de materiales y equipos de laboratorio, pero que facilita la visualización de conocimientos.

El contexto actual de emergencia sanitaria por el COVID-19, nos desafió y obligó a docentes y estudiantes a repensar los procesos de enseñanza y aprendizaje en entornos virtuales. Esta nueva realidad compleja, requirió de nuestra capacidad y flexibilidad, ya que en algunos casos debimos aprender o profundizar acerca de estos entornos para enseñar de una manera radicalmente distinta a la que estábamos acostumbrados.

Química General es una asignatura que se dicta en el 2° cuatrimestre de 1° año según el plan de estudios y se redicta en el 1° cuatrimestre, común a las cuatro carreras de Ingeniería que ofrece la Facultad. Al ser una ciencia experimental, es de suma importancia que los estudiantes adquieran a través de la experimentación, habilidades motrices que aporten a las competencias específicas en la formación de los ingenieros. La realización de trabajos prácticos (TP) de laboratorios suele lograr un aprendizaje significativo en los estudiantes, ya que les permite aprender mediante la experiencia y poner en práctica el método científico de ensayo y error.

El dictado tradicional contempla la realización de varios TP experimentales de Química General, pero a causa del aislamiento social y a la imposibilidad de realizarlos en el laboratorio propiamente dicho, debimos reformularlos. Se hicieron adaptaciones para que éstos puedan desarrollarse en los hogares de los estudiantes, como experiencias caseras y usando insumos y elementos de fácil acceso en tiempos de restricción (aislamiento). Estas adaptaciones tuvieron cierto nivel de exigencia, para luego ser validadas académicamente a través de la homologación correspondiente por parte de las autoridades de la Facultad de Ingeniería.

En ambas modalidades de cursado (presencial y virtual), es requisito para la aprobación de la asignatura mediante promoción, tener realizados y aprobados todos los laboratorios previstos. Esto implica aprobar los cuestionarios referidos a cada trabajo práctico de laboratorio, además de presentar los informes escritos correspondientes a cada uno de ellos. De ahí la importancia de modificar los TP, para cumplir con este requisito del plan de estudios y del reglamento vigente.

En la Facultad de Ingeniería de la UNSa, el sistema de aprobación de las materias es por promoción sin examen final. Incluye además de los trabajos de laboratorios, rendir las evaluaciones de cada tema del programa y aprobar los parciales. Todas estas instancias se

consideran en la fórmula polinómica como requisito para la promoción y las mismas ponderan un 15 %, 25 % y 60 % respectivamente en la nota total de promoción.

1.1 *Objetivos y rediseño de las experiencias*

Los TP de laboratorio para desarrollar en Química General se plantean teniendo en cuenta los niveles de la enseñanza de Johnstone (1991): reconociendo por medio de los sentidos las características físicas de los sistemas propuestos (nivel macroscópico), la variación de alguna propiedad de los componentes del mismo (nivel submicroscópico) y representando mediante fórmulas y ecuaciones químicas (nivel simbólico) lo observado.

Las experiencias a realizar en forma casera se diseñaron para lograr:

- que el estudiante evidencie, relacione y logre la apropiación de conceptos abordados en la asignatura en los tres niveles que plantea Johnstone (1991),

- que las experiencias fueran seguras, tanto para los estudiantes como para el resto de los integrantes del grupo familiar, así como para las instalaciones edilicias,

- que los materiales necesarios estuvieran disponibles en cada casa o fueran fáciles de adquirir y económicos, sin tener que desplazarse mucho para poder conseguirlos,

- incentivar el trabajo en equipo a través de los distintos medios audiovisuales disponibles, fomentando la discusión y el intercambio de opiniones en grupos, para el desarrollo de una capacidad crítica en el alumno.

1.2 *Modalidad de trabajo en general*

Se plantearon seis TP caseros, correspondientes a seis de los ocho temas del programa: Estructura atómica, Estados de la Materia, Soluciones, Termoquímica, Equilibrio iónico y Electroquímica. Para cada uno se confeccionó una guía de procedimiento experimental con objetivos, materiales y métodos (con varias posibilidades), pautas, modalidad y fecha de presentación, cuidados a tener y bibliografía.

La misma fue subida a la plataforma *Moodle* y en algunos casos también se acompañó la misma con videos, audios, presentaciones y páginas académicamente confiables como soporte para consultas.

En general los alumnos contaron con una semana para el desarrollo de cada actividad (tabla 1), sin embargo a pedido de los estudiantes, para los últimos dos laboratorios tuvieron más tiempo.

La modalidad de trabajo se planteó en grupos de entre 6 a 8 alumnos, de todas las actividades se presentaron informes y en algunos casos videos de las experiencias realizadas (siempre en formato digital).

Tabla 1. Modalidad de trabajo para laboratorios caseros

Se desarrolló un flujo de consultas donde las auxiliares fueron la primera línea para la evacuación de dudas de los estudiantes, y cuando

Tema	2	3	4	5	7	8
Laboratorio	Bolillas	Gases	Soluciones	Termo	Indicadores	Pilas
Soporte	Guía y video del docente.	Guía.	Guía y páginas webs (blogs).	Guía interactiva en formato ppt.	Guía y audios del docente.	Guía y videos (youtube).
Presentación	Informe.	Informe y video.	Informe y video.	Informe.	Informe.	Informe.
Fecha Inicial	22/04/2020	04/05/2020	22/05/2020	05/06/2020	26/06/2020	11/07/2020
Fecha de Entrega	26/04/2020	11/05/2020	29/05/2020	12/06/2020	08/07/2020	31/07/2020

ellas tuvieron inconvenientes en responder, se solicitó el apoyo de los docentes a cargo. Los principales medios de comunicación utilizados fueron: *Whatsapp*, y foros de consulta o chat a través de la plataforma *Moodle*. En todos los TP cada grupo informó al ayudante alumno la constitución del mismo y la experiencia elegida en función de los materiales disponibles. Todos los grupos debían realizar un video breve y además, presentar un informe escrito con objetivos, fundamentación teórica, procedimiento, fotos del resultado del experimento, cálculos, conclusiones y toda observación que creyeran conveniente aclarar.

Los TP fueron evaluados por medio de cuestionarios virtuales realizados por la plataforma *Moodle*, en los cuales los alumnos disponían de 15 minutos para completar de 3 a 5 preguntas de distinta modalidad (verdadero/falso, opción múltiple, respuesta numérica, entre otras). El contenido de las mismas se basó en los conceptos teórico/prácticos de los temas de laboratorio, de las guías de los trabajos a desarrollar de forma casera, así como también de los aspectos de higiene y seguridad inherentes.

1.3 Laboratorios propuestos

1.3.1 Tema 2: Laboratorio con bolillas

Estructura atómica es el tema más abstracto para ser abordado en Química General. Resulta

entonces de suma importancia, desde el punto de vista didáctico, encontrar un modo para que el alumno visualice conceptos básicos del tema como composición isotópica y masa atómica relativa. Sobre esta premisa se basó el objetivo específico de este laboratorio.

La experiencia se abordó mediante un video grabado por la docente, a partir del cual los estudiantes podrían recopilar los datos necesarios para responder las preguntas sugeridas. Se sugirió el uso de materiales disponibles en el hogar que pudieran representar átomos de un mismo elemento, en este caso bolillas (canicas) de colores y una balanza hogareña (Fig. 1).



Figura 1: Materiales utilizados en el Laboratorio de las bolillas.

Un conjunto de bolillas estaba constituido cual si fuera una muestra de una dada sustancia elemental que se denominó “caniquero”, en donde bolillas de un mismo color representaron átomos individuales de un mismo tipo isotópico. La muestra se conformó por canicas de colores diferentes (isótopos distintos) en una proporción definida (abundancia isotópica). El objetivo específico de la experiencia fue determinar la composición de una muestra incógnita constituida por 10 “átomos de caniquero”.

En una primera parte, se trabajó con dos “isótopos” diferentes. Se pesaron individualmente 10 bolillas de cada color utilizando una balanza hogareña con una precisión hasta la décima de gramo. A partir de estos datos podía calcularse la masa “isotópica” promedio ($m_{isotopo}$). Luego, se presentó una muestra incógnita constituida por 10 bolillas, que fue pesada con la misma balanza ($m_{muestra}$) (tarando previamente el recipiente contenedor vacío).

Despejando de la Ecuación 1 la cantidad de bolillas (isótopos) de cada tipo (X e Y) que constituyen la muestra incógnita y sabiendo que

la suma de X más Y es igual a 10, podían conocer la “composición isotópica” de la muestra:

$$m_{muestra} = X \cdot m_{isotopo1} + Y \cdot m_{isotopo2} \quad (1)$$

En una segunda parte de la experiencia, se planteó hipotéticamente el descubrimiento de un “nuevo isótopo” (canica de color distinto) cuya masa promedio relativa se brindó como dato, así como los nuevos porcentajes de abundancia para cada isótopo (considerando este nuevo tipo de canica). Utilizando las masas “isotópicas” promedio de los otros dos isótopos determinadas anteriormente, se pidió que calculen la masa “atómica” promedio de este elemento.

Finalmente se pesó una segunda muestra incógnita con los tres isótopos. Sabiendo la masa atómica promedio del “elemento” calculada en el paso anterior, el estudiante podía indicar cuántas bolillas había en total en la muestra, y, con los datos de abundancia porcentual suministrados podía determinar cuántas canicas de cada color había presentes.

1.3.2 Tema 3: Laboratorio de gases

El objetivo de este TP fue demostrar cualitativamente las leyes de los gases ideales abordadas en las clases teóricas.

Se plantearon pautas mínimas para la realización de cinco experiencias, para demostrar las leyes de Boyle-Mariotte, Charles-Gay Lussac y Lavoisier (estequiometría de gases). Cada grupo debía elegir solo una de las experiencias mencionadas en función de sus posibilidades y realizar un video breve, además del informe.

Fueron utilizados para todas estas experiencias: botellas plásticas descartables, globos, termómetro, balanza, jeringas, cinta métrica, cocina para calentar recipientes con agua, heladera o frízer para enfriar a distintas temperaturas, bicarbonato de sodio y vinagre.

1.3.3 Tema 4: Laboratorio de soluciones

Los objetivos específicos de este TP fueron: preparar soluciones acuosas de distintos solutos líquidos y sólidos; relacionar la disminución de concentración de soluto con la merma de color al realizar diluciones; calcular concentraciones en distintas unidades; corroborar el cambio en la temperatura de ebullición de soluciones de electrolitos y no electrolitos.

Se plantearon pautas mínimas para la realización de cinco experiencias para preparar soluciones de: hipoclorito de sodio (lavandina), alcohol etílico, jugo artificial (de sobre), café instantáneo, cloruro de sodio (sal de mesa), sacarosa (azúcar). En cuanto a las soluciones de lavandina y alcohol consideraron las concentraciones recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para combatir el COVID-19, de modo que notaran la importancia del tema en el contexto actual y pudieran utilizarlas como desinfectante. Además de preparar las soluciones, los estudiantes debían expresar las concentraciones de las mismas en distintas unidades. Las soluciones de cloruro de sodio y sacarosa preparadas se usaron además para determinar el efecto de solutos iónicos y no iónicos en las propiedades coligativas, puntualmente el ascenso ebulloscópico por ser la más sencilla de medir.

Fueron utilizados para estas experiencias: recipientes de distinto volumen, termómetro, cucharas para agitar, jugo en sobre, café, lavandina, alcohol etílico, cloruro de sodio, sacarosa y cocina para calentar.

1.3.4 Tema 5: Laboratorio de termoquímica

Para facilitar la asociación y correlación de conceptos de calorimetría se propuso la elaboración de un termo casero (termo de Dewar). El objetivo de este TP fue despertar el interés y la motivación realizando un dispositivo de uso masivo para mantener la temperatura de líquidos. Para esta experiencia se requirieron los siguientes materiales: 2 botellas de plástico grandes, 1 botella de agua pequeña, pegamento, papel de aluminio, hilo sisal, piolín o un lazo y por último material aislante (telgopor, corcho, estopa, bolsas con ampollas de aire, goma espuma, etc.).

El procedimiento de elaboración consistió primero en cortar una de las botellas grandes por la parte superior y el material aislante en trozos pequeños. Se rellenó la base de la botella con material aislante y luego se introdujo la botella de agua pequeña (tratando que quede lo más centrada posible) previamente forrada con papel aluminio, este último paso cumple la función de evitar la pérdida de calor por radiación. Posteriormente, con el material aislante sobrante se rellenó de forma homogénea, la botella grande, esto es, para la “eliminación” de la propagación del calor por conducción y convección. (Fig. 2).



Figura 2: Elaboración de termo casero.

Por último, se cortó la segunda botella, de manera de poder obtener una tapa para el termo a la cual se debió a rellenar con el mismo material aislante.

1.3.5 Tema 7: Laboratorio de indicadores

El equilibrio iónico en soluciones acuosas no es un tema que atañe únicamente a la mesada del laboratorio.

Según Castañeda-Ovando (2009), la cianidina es un indicador natural clasificado como flavonoide que se encuentra en frutas y hortalizas, como repollo colorado, las zarcamoras, frambuesas, uvas, arándanos y entre otros. El objetivo de este TP fue afianzar conceptos de acidez, basicidad, pH, indicadores ácido-base y visualizar la diversidad de mezclas cotidianas que presentan equilibrios ácido-base. Esta experiencia consistió en la obtención de un indicador ácido-base natural a partir del caldo de cocción concentrado y filtrado del repollo colorado y a partir de éste armar una escala de pH para determinar el carácter ácido o básico de diversas disoluciones de uso cotidiano.

Dada la región, la estación del año y el costo, se sugirió el uso de repollo colorado. Además de este insumo, se precisó jugo de limón, vinagre de mesa, bicarbonato de sodio y agua lavandina para realizar la escala de pH.

Los materiales utilizados consistieron en vasos medidores (como los de remedios), balanzas de cocina y recipientes de vidrio transparentes iguales (como vasos o computeras).

La preparación de estas disoluciones implica la aplicación de conceptos abordados en temas anteriores. Para afianzar los conocimientos en este tema se solicitó el cálculo del pH de cada solución medida (tomando en cuenta las concentraciones trabajadas o las indicadas en el envase y debiendo averiguar en tablas las constantes de equilibrio necesarias para tal fin).

Finalmente, se sugirió determinar el carácter ácido-base de otras sustancias cotidianas agregando 10 mL de indicador a 50 mL de éstas:

soda comercial, gaseosa sabor lima-limón (sin colorantes agregados) o de una solución acuosa de jabón en polvo al 1% y comparar el color desarrollado con la escala de pH.

1.3.6 Tema 8: Laboratorio de pilas

Electroquímica es uno de los temas de Química General que presenta mayor versatilidad para ser plateada experimentalmente tanto en el laboratorio como a través de sencillas experiencias que se pueden realizar en el ámbito hogareño (Uno Para Todos, 2015; Química Ciencia, 2016; Ruiz, 2017), permitiendo que los estudiantes de todas las ingenierías potencien sus habilidades prácticas y desarrollen su pensamiento crítico al enfrentarse a problemas simples que deberán resolver aplicando los conocimientos adquiridos.

En este laboratorio se planteó como objetivo la aplicación de los conceptos teórico/prácticos del funcionamiento de celda voltaica y para conseguirlo se propusieron tres experiencias:

- La construcción de una pila con papas y limones.
- La confección de una batería usando latas de aluminio y cables de cobre.
- El desarmado de una pila “AA” de carbón-Zn (ésta última de carácter opcional).

Fueron utilizados para estas experiencias: papas, limones, latas de aluminio, chapitas de cinc y cobre, agua, sal, cables, servilletas de papel, foco de linterna y/o voltímetro (opcionales).

1.4 Encuestas

Finalizado el dictado virtual y a continuación del examen integrador se realizó una encuesta para conocer la opinión de los estudiantes sobre diferentes aspectos de la materia que dio lugar a un análisis interno de nuestras fortalezas y debilidades en la implementación de esta metodología.

2 RESULTADOS

2.1 Laboratorios

2.3.1 Tema 2: Bolillas

La primera parte del laboratorio, en la que se plantearon los cálculos a realizar, sirvió como

práctica de los conocimientos adquiridos. La segunda en cambio, carente de ecuaciones y los métodos de análisis, sirvió como desafío ya que para responder las cuestiones planteadas se debían reorganizar los datos disponibles. Esto fue una forma de afianzar los conocimientos mediante el análisis a conciencia del significado de cada término estudiado.

Las preguntas y consultas de los alumnos durante la realización de este laboratorio reflejaron un análisis más profundo de los temas abordados respecto a la mera resolución de ejercicios prácticos alcanzando satisfactoriamente los objetivos del mismo.

Este mismo laboratorio pudo plantearse con galletas, monedas, caramelos u otros objetos pequeños similares.

2.3.2 Tema 3: Gases

Se evaluó la demostración y representación de alguna de las leyes de los gases de una manera casera (Fig. 3 y 4), el lenguaje utilizado (escrito u oral), la claridad de la explicación y la creatividad en la producción.



Figura 3: Ley de Lavoisier, reacción entre bicarbonato de sodio y vinagre con formación de dióxido de carbono.



Figura 4: Ley de Charles-Gay Lussac, relación entre V y T a P constante.

2.3.3 Tema 4: Soluciones

Se evaluó la preparación de soluciones a partir de solutos sólidos y líquidos y la realización de diluciones a partir de ellas (Fig. 5 y 6), así como la producción realizada, el lenguaje utilizado (escrito u oral) y la claridad de la explicación.



Figura 5: Solución de jugo artificial de naranja y dilución.



Figura 6: Preparación de lavandina como desinfectante para Covid-19.

2.3.4 Tema 5: Termo

Este laboratorio dió lugar a la imaginación, creatividad y desafío cognitivo de los estudiantes ya que disponían de una gran cantidad de materiales aislantes para utilizar, como así también la libertad de proponer otro tipo de material justificando su elección. Les permitió profundizar el conocimiento de un fenómeno determinado, estudiarlo teórica y experimentalmente, ya que se vieron en la tarea de investigar el calor específico del material aislante usado y del aluminio y cómo influyen en la conservación del calor. Los informes, fotografías y vídeos reflejaron el ingenio y empeño que pusieron los alumnos al realizar el laboratorio (Fig. 7).



Figura 7: Algunos de los termos caseros realizados por los estudiantes.

2.3.5 Tema 7: Indicadores

Para armar una escala desde pH ácido a pH básico, 10 mL de solución indicadora se agregaron a 50 mL de diversas soluciones contenidas en diferentes recipientes transparentes en el siguiente orden: jugo de limón; una dilución 1:10 de vinagre de mesa; agua corriente; bicarbonato de sodio 5% m/v y agua lavandina concentrada. Los colores se observaron y fotografiaron inmediatamente (Fig. 8).

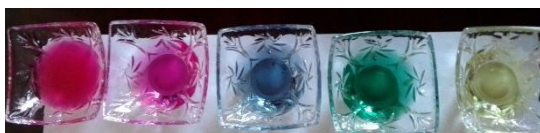


Figura 8: Escala de pH ácido-básico. Soluciones (con indicador) de izquierda a derecha: jugo de limón; vinagre de mesa (1:10); agua corriente; bicarbonato de sodio (5% m/v) y lavandina concentrada (55 g/L).

En líneas generales esta colorida práctica de laboratorio entusiasmó al alumnado tal como demuestran las fotografías (Fig. 9) enviadas por ellos acercándoles el equilibrio químico y la determinación de pH de sustancias de uso cotidiano a sus hogares. De hecho esta experiencia despertó en los estudiantes el interés por probar el pH de otras sustancias distintas a las propuestas en la guía, lo que dio lugar a consultas y un aprendizaje más enriquecedor.



Figura 9: Escalas de pH obtenidas por los estudiantes.

2.3.6 Tema 8: Pilas

Esta actividad fue realmente desafiante para los estudiantes, ya que se enfrentaron con varios problemas prácticos de medición, conexión, búsqueda de materiales, así como también se presentaron dificultades conceptuales para poder entender y explicar el funcionamiento de los dispositivos desde un punto de vista teórico. Por lo que la actividad, resultó muy enriquecedora para poner en funcionamiento todo el ingenio de los estudiantes (Fig. 10).

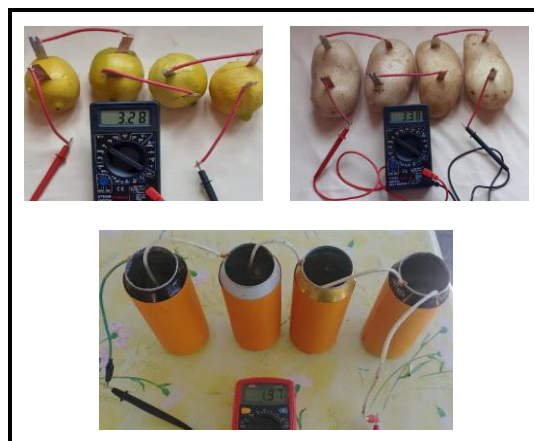


Figura 10: Celdas voltaicas fabricadas por los estudiantes, hechas con papas, limones y latas de aluminio.

2.2 Participación y Encuestas

En general todos los prácticos propuestos tuvieron un alto nivel de participación por parte de los estudiantes de todas las comisiones (Fig. 11).

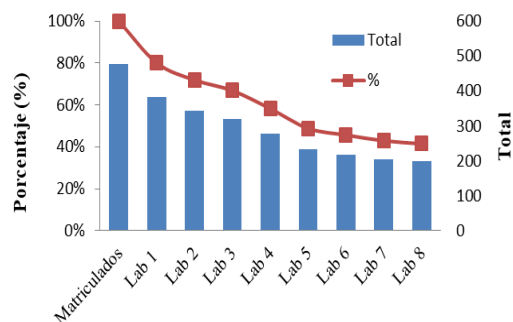


Figura 11: Participación de los estudiantes en

todas las instancias de los laboratorios (coloquios, informes y realización de experimentos).

De las opiniones de los estudiantes vertidas en la encuesta, no sólo realizamos un análisis de las fortalezas y debilidades de esta metodología (Fig. 12), sino también recogimos muchas sugerencias que implementaremos en el próximo dictado.

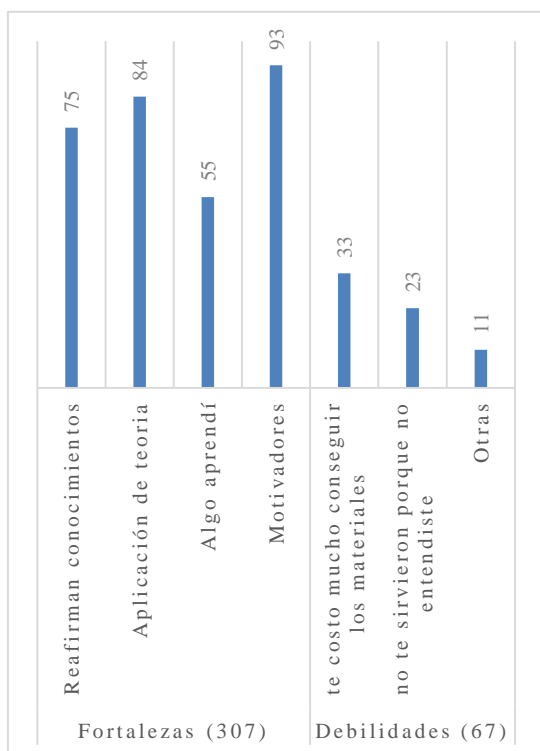


Figura 12: Fortalezas y debilidades detectadas en la implementación de las experiencias caseras.

3 CONCLUSIONES

Tantos los resultados de las experiencias propuestas para realizar en forma casera, como las opiniones sobre las mismas obtenidas en las encuestas nos permiten concluir que logramos que los estudiantes evidencien, relacionen y logren la apropiación de conceptos en los tres niveles de la asignatura.

Al ser experiencias sencillas de desarrollar, logramos motivar a los estudiantes, lo que implicó una alta y activa participación, algo que nos preocupaba dado el contexto y el tipo de materia.

Aun cuando la educación virtual no permite el desarrollo de competencias psicomotrices específicas de la disciplina, como sí ocurre en las prácticas tradicionales, lo realizado resultó estimulante y complementario.

4 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de las autoridades de la Facultad de Ingeniería (gestión 2019-2022) por escuchar, acompañar, fomentar, reconocer y respaldar el trabajo realizado por docentes y estudiantes.

A las tres auxiliares alumnas María Inés López, Fernanda Tamara Hnilitza y Antonella Alexia Ceballos, que estuvieron a disposición de estudiantes y docentes.

5 REFERENCIAS

- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández M.L., Páez-Hernández M.E., Rodríguez J.A., Galán-Vidal C.A., Chemical studies of anthocyanins: A review, *Food Chemistry*, 113, 859–871, 2009
- Johnstone, A. “Why Is science difficult to learn? Things are seldom what they seem”, *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 7, pp.701-703, 1991.
- Ruiz F. M. Experimentadores 20.- Cómo hacer una pila casera con limones. Septiembre 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=4eMK1JSqP3s>
- Uno Para Todos. Como hacer una batería o pila usando latas. Marzo 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=-MI7NHujC1c>
- Química Ciencia. Conseguir Dióxido de manganeso, zinc, y carbón (Electrodos). Julio 2016. https://www.youtube.com/watch?v=F_n-BLLvAdo

Una experiencia con estudiantes de Ingeniería Química de Tucumán, enseñanza remota en tiempos del COVID-19

Cuezzo, Ana M.¹; Araujo, Paula Z.¹

(1) Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. acuezzo@herrera.unt.edu.ar; paraujo@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

La educación superior en tiempos del COVID-19 tuvo que transformarse de manera brusca a un esquema remoto de emergencia para dar respuesta a la sociedad. En estas notas, dos docentes de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) comparten su experiencia educativa y reflexionan sobre las metodologías de enseñanza en el entorno de virtualidad de la asignatura Termodinámica de Procesos de la carrera Ingeniería Química. Se analiza cómo estas condiciones permitieron potenciar herramientas tecnológicas, promover el uso de una plataforma virtual, generar encuentros sincrónicos en línea y establecer un sistema de evaluaciones de los procesos de enseñanza y aprendizaje. La intención es plantear los desafíos que enfrentan los educadores y los estudiantes, y las enseñanzas aprendidas a lo largo del primer semestre 2020, entendiendo que el canal bilateral que se genera con los alumnos es clave y que se debe promover un espacio de flexibilidad, compromiso y empatía.

ABSTRACT

University education in times of COVID-19 had to abruptly transform a remote emergency scheme to respond to society. In these notes, two teachers from the Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) of the Universidad Nacional de Tucumán (UNT) share their educational experience and reflect on the teaching methodologies in the virtual environment of the subject Thermodynamics of Processes of the Chemical Engineering career. It is analyzed how these conditions allow to enhance technological tools, promote the use of a virtual platform, generate synchronous online meetings and establish a system of evaluations of the teaching-learning process. The intention is to raise the challenges faced by educators and students, and the lessons learned throughout the first semester 2020, understanding that the bilateral channel generated with students plays a key role and a space of flexibility, commitment and empathy should be promoted.

Palabras claves: enseñanza – aprendizaje – Virtual – COVID-19.

Keywords: e-teaching – e-learning – Virtual – COVID-1

1. INTRODUCCIÓN

En otras circunstancias podríamos haber encarado la escritura de este trabajo abordando las áreas de competencia de nuestra tarea de investigación científica, pero hoy nos encontramos buceando en el área de educación, en la que nos desempeñamos con gusto y pasión hace algunos años.

En esta introducción podríamos incluir cifras de la pandemia generada a partir del COVID-19 y realizar gráficos de tendencia de cómo esta crisis afectó a las instituciones educativas en todos sus niveles, tal es el caso reportado por la UNESCO donde informa que más del 80 % de la población estudiantil mundial no asiste a las escuelas (UNESCO, 2020).

Reconociendo el carácter excepcional del momento que atravesamos, este artículo propone una reflexión del complejo proceso de enseñanza y aprendizaje, de las prácticas pedagógicas que se adoptaron, y de la experiencia de cambios o modificaciones para alcanzar los objetivos académicos de manera efectiva.

En este caso optamos por presentar este trabajo como un acto de reprogramación de espacios educativos y de metodologías de educación que nos permitieron realizar el acompañamiento de los alumnos en el proceso de aprendizaje.

Filkenstein (2020) plantea que los docentes universitarios nos desempeñamos como modelos de identificación para nuestros estudiantes, por esta razón era clave que podamos modificar nuestros esquemas de enseñanza para poder dar continuidad pedagógica a la formación de los alumnos. Acompañar, orientar y guiar su trabajo fue una tarea indispensable de los docentes.

En el caso de las propuestas de evaluación de seguimiento empezaron a aparecer algunos trabajos como el de Fardoun *et al.* (2020) que presentó un estudio exploratorio en Iberoamérica. Cuando a partir de la necesidad de avanzar con estas propuestas de evaluación, aparecen los defensores y detractores de la educación presencial y/o de la educación virtual. En este contexto no es nuestro interés politizar esta discusión sino por el contrario acercarnos a la propuesta realizada por Hodges *et al.* (2020) en donde plantea encarar el análisis y discusión de este tipo de instrucción en condiciones límites, que denomina enseñanza remota de emergencia, del inglés "*emergency remote teaching*". Este concepto de emergencia se concibe entendiendo que habrá que avanzar y reflexionar sobre lo actuado, asumiendo que el modelo de diseño

curricular debe seguir un proceso muy cuidadoso como se describe en el trabajo de Branch y Dousay (2015). Naturalmente, en este contexto de emergencia, este modelo no resultó ser riguroso.

Algunos de los trabajos realizados sobre el abordaje de la educación universitaria en el marco de la pandemia en nuestro país, fueron los publicados por Reviglio y Blanc (2020), en la Universidad Nacional de Rosario y por Filkenstein (2020), en la Universidad de Buenos Aires.

En el marco de la presente situación de crisis, se decide encarar este trabajo como una experiencia educativa en el entorno de la virtualidad de la asignatura Termodinámica de Procesos de la carrera Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). También, se analiza cómo las condiciones de virtualidad nos permitieron potenciar herramientas tecnológicas en el entorno de una plataforma virtual, la generación de encuentros sincrónicos, la inclusión de un esquema de seguimiento de la participación de los alumnos, su desempeño en las evaluaciones del proceso de aprendizaje sistematizadas por tema, y finalmente, un acompañamiento coordinado para evaluar los casos en donde no se evidenciaba participación efectiva.

2. METODOLOGÍA

Enfoque y tipo de estudio

El estudio realizado fue de tipo exploratorio con el objetivo de evaluar los procesos de enseñanza y aprendizaje en alumnos universitarios desde nuestra perspectiva en el marco de la condición de virtualidad de emergencia, un tema de investigación donde no hay prácticamente precedentes en Argentina, por lo tanto, las muestras serán difícilmente representativas.

Población de estudio

El presente trabajo se propone dentro de las actividades realizadas por la asignatura Termodinámica de Procesos de la carrera de Ingeniería Química (FACET-UNT). El marco temporal está dado en el primer cuatrimestre de 2020, contemplando el Decreto presidencial 297/2020 en donde se establece el aislamiento social preventivo y obligatorio y en ese marco, la Universidad Nacional de Tucumán se suma a esta medida.

Organización del estudio

Se organiza en tres secciones, a saber, la primera sección incluye las estrategias metodológicas que se llevaron a cabo durante el dictado de la asignatura, la segunda incluye una encuesta realizada a los alumnos y, en la tercera, en resultados y discusión se presentan las estadísticas obtenidas de las anteriores con el fin de analizar y discutir propuestas superadoras.

1) Estrategias metodológicas

1.1. Acceso de los alumnos a material didáctico disponible de forma permanente en el aula virtual y con posibilidad de descarga:

- a) Programa de la asignatura y bibliografía de consulta.
- b) Cronograma tentativo de actividades.
- c) Clases teóricas preparadas en formato de presentación.
- d) Enunciados de los trabajos prácticos propuestos con resultados.
- e) Clases (teóricas y prácticas) grabadas empleando programas gratuitos.
- f) Espacio para proponer dudas y consultas.

1.2. Encuentros virtuales sincrónicos con frecuencia de dos veces por semana, se buscó generar un espacio de discusión y consultas sobre los temas desarrollados en forma asincrónica. En estos encuentros se propició la interacción directa entre alumnos y docentes, bajo un ambiente de cordialidad. Se responden correos electrónicos, foros y mensajes de estudiantes.

1.3. Actividades para el desarrollo individual, ejercicios prácticos propuestos para discusión y resolución de problemas, y trabajos grupales de integración de contenidos con requerimiento de presentación de informes.

1.4. Instancias de evaluación continua y real de seguimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje, con los aciertos y errores, fortalezas y debilidades, por cada tema abordado. Además, se realizaron reuniones virtuales con estudiantes, en pequeños grupos, para proporcionar retroalimentación de manera eficaz, se resaltaron los aspectos positivos de su desempeño.

1.5. Reflexión sistemática de las metodologías empleadas e incorporación de cambios en pro de la mejora continua y de una experiencia de aprendizaje positiva.

En el marco del trabajo individual, los alumnos disponían de un enlace de acceso gratuito a la bibliografía que dispone la biblioteca virtual de la FACET que se encuentra dentro de las

alternativas que pueden ser consultadas por los alumnos en esta asignatura, disponían además de programas de acceso libre para cálculos termodinámicos que corrían a través de computadoras o a través de telefonía celular.

Como se expresó anteriormente el esquema de trabajo que se siguió en la asignatura se puede observar en la Fig. 1. Esta estrategia metodológica se asemeja a la propuesta por Vincenzi (2020), buscando adoptar un proceso que permita la introducción de cambios semana a semana fomentando un rol activo por parte del alumno, buscando resolver problemas con aproximación a casos reales de la ingeniería.



Figura 1. Esquema de estrategias metodológicas aplicadas en la asignatura Termodinámica de Procesos.

2) Encuestas a alumnos

Finalizado el primer semestre del año 2020, se realizó una encuesta anónima y de carácter no obligatorio a los alumnos que cursaron la asignatura a fin de sondear las principales acciones, plataformas y estrategias pedagógicas aplicadas en la materia y relevar resultados asociados a la disponibilidad de recursos tecnológicos, la percepción sobre la metodología empleada y cuestiones más vinculadas al acompañamiento docente en el marco de esta pandemia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología cuenta con el Centro de Educación a Distancia e Investigación en Tecnologías Educativas

(CEDITE) desde fines del año 2010, sitio soporte de las aulas extendidas basado en la plataforma de *software* MOODLE. (CEDITE, 2020). Es importante destacar que hubiera sido sumamente complejo sostener el vínculo con los estudiantes sin la articulación en este entorno FACET Virtual, administrado y gestionado por CEDITE. El número de aulas extendidas complementarias al dictado presencial de las asignaturas creció paulatinamente desde su creación y, en palabras de la directora de CEDITE, se han creado un gran número de nuevas aulas extendidas en el marco de la pandemia.

En Termodinámica de Procesos ya se contaban con dos años de experiencia en el uso del aula virtual, como una herramienta adicional al aula presencial. En 2020 se comenzó el dictado de la asignatura a través de la plataforma buscando acercar a los alumnos a la universidad. La asignatura contó con una nómina de 73 estudiantes inscriptos en el aula virtual con picos de participación de 83 % en encuentros virtuales *online*.

En relación al vínculo de los alumnos con el aula virtual es posible observar que el 84 % tuvo un acceso activo a las actividades propuestas.

Se articularon las actividades sincrónicas y asincrónicas, generando espacios de discusión e interacción. En los encuentros sincrónicos en vivo, videoconferencias con una frecuencia de dos veces por semana a través de la plataforma Google Meet, apareció la dificultad de conseguir una interacción exitosa con el estudiante, una brecha de comunicación. Una de las causas de esta problemática puede estar asociada a la mala conexión de red (el video puede verse borroso o el audio con *delay* o retraso), otra causa se puede vincular a la falta de entrenamiento de interacción con el docente a través de esta modalidad y la última y sumamente significativa se la podría relacionar con la falta de trabajo previo individual de cada alumno con el material suministrado. Esta última causal potencial, está en sintonía con lo expuesto en el trabajo de Lara *et al.* (2020) en el cual se plantea la importancia de que los alumnos trabajen con el material antes del encuentro para sacarle el máximo partido a la discusión. Esta realidad se debe evaluar de manera integral para que en el caso de tener continuidad de este proceso de educación remota podamos ser capaces de acercar a los alumnos a estos espacios. Además, es imprescindible diagramar estrategias para el momento en el que se pueda volver a las aulas.

Las evaluaciones de seguimiento de aprendizaje consistieron en cuestionarios cortos, con tiempos acotados de resolución y estuvieron compuestas por diferentes tipos de preguntas: verdadero o falso, opción múltiple, ensayos, completar figuras, etc. De esta forma se buscó construir conocimiento de una forma creativa y dinámica, realizando una evaluación continua, completa, adecuada y elaborada para que los procesos de enseñanza logren consolidar el aprendizaje de cada estudiante. En las diez evaluaciones de los procesos de seguimiento de enseñanza y aprendizaje hubo un promedio de 85 % de participación, tal como se puede observar en la Fig. 2.

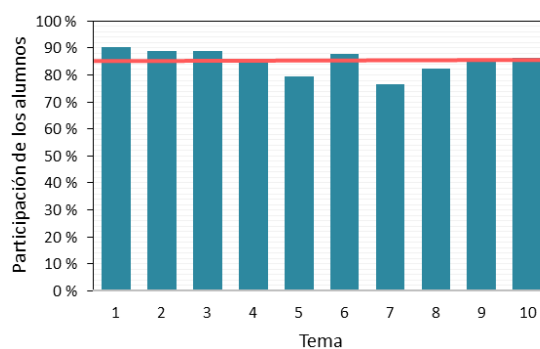
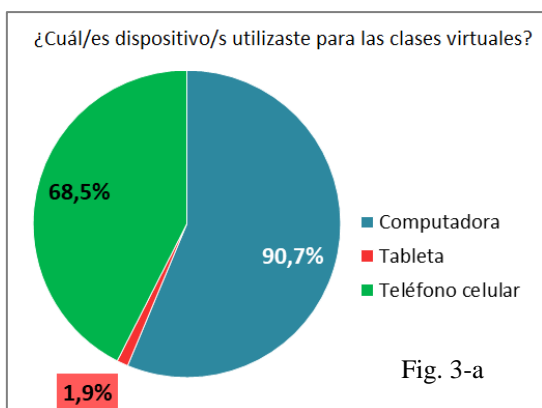


Figura 2. Porcentaje de participación de los alumnos en las evaluaciones de los procesos de seguimiento de enseñanza y aprendizaje de cada tema abordado.

Al finalizar las actividades de la asignatura, se realizó una encuesta, en donde se logró una gran participación de los alumnos, de hecho el 74 % de los encuestados respondió la misma. A continuación, se presentan sus resultados en los ítems vinculados a este trabajo.

En relación con la disponibilidad de recursos tecnológicos, un gran número de estudiantes utilizó computadora para acceder a las clases virtuales, ver Fig. 3-a. En este diagrama, la suma de los porcentajes individuales resulta mayor al 100 % puesto que no se limitó la opción a una por encuestado, el porcentaje de cada opción es en base al número total de alumnos que respondieron la encuesta.



¿Cuál es la disponibilidad del dispositivo electrónico que utilizaste?

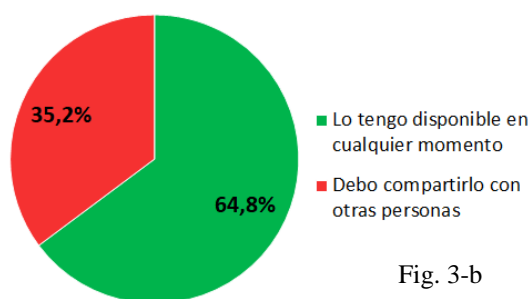


Fig. 3-b

¿Disponías de un buen acceso a las clases (internet)?

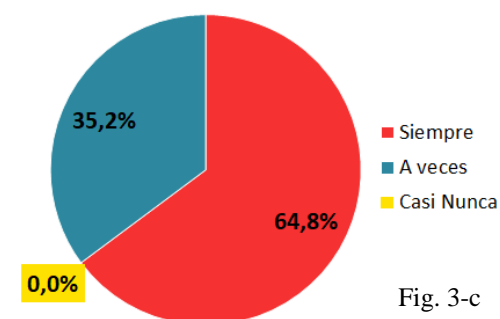


Fig. 3-c

Figuras 3-a, 3-b y 3-c. Resultados de las encuestas en relación con la disponibilidad de recursos tecnológicos y conectividad de los alumnos.

La Fig. 3-b muestra que aproximadamente el 35 % del total de alumnos no cuenta con dispositivos electrónicos para trabajar de manera individual e independiente todos los días. Además, en la Fig. 3-c se evidencia que 1 de cada 3 estudiantes no tuvo un buen acceso a internet en todo momento, esto sumado a la falta de exclusividad de dispositivos electrónicos en los hogares, plantearía la imposibilidad de realizar un cursado de la asignatura íntegramente de forma sincrónica.

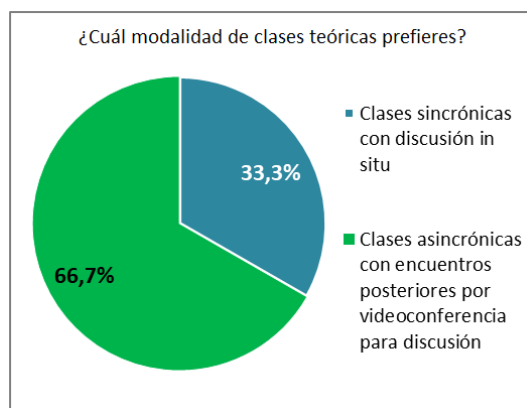


Figura 4. Resultados de las encuestas en relación con la metodología de enseñanza.

En relación con la metodología de enseñanza, 2 de cada 3 estudiantes prefieren clases asincrónicas y encuentros virtuales posteriores con los docentes. La posibilidad de trabajar con los recursos provistos por la asignatura de forma asincrónica le permite al estudiante que no dispone con exclusividad de una computadora poder gestionar de forma autónoma su aprendizaje pudiendo participar en algunos casos parcialmente de las actividades sincrónicas propuestas.

En relación con las clases presenciales, percibiste que el esfuerzo que te requería tomar clases virtuales fue:

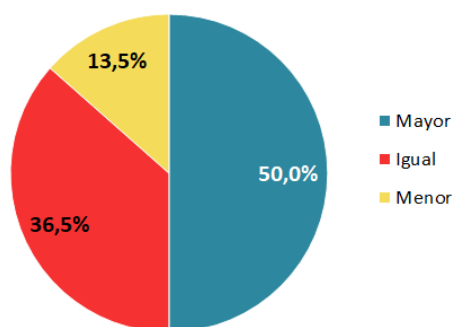


Figura 5. Resultados de las encuestas en relación con la percepción sobre la enseñanza remota virtual.

Con respecto a la percepción sobre la enseñanza remota virtual, el 50 % de los encuestados manifestaron que las clases virtuales les conllevan un mayor esfuerzo frente a las presenciales, mientras que menos del 15 % afirmaron que el esfuerzo fue menor, ver Fig. 5, datos que alertan sobre la necesidad de dar seguimiento y asegurar acciones de contención para colaborar con los estudiantes. Estos resultados dejan en evidencia

las exigencias que involucra un trabajo con mayor grado de autonomía por parte del alumno.

Abordando cuestiones más subjetivas asociadas al vínculo docente-alumno, otro resultado extraído de esta encuesta, mostró que los estudiantes se sintieron acompañados por el cuerpo docente en este proceso de aprendizaje.

4. CONCLUSIONES

Este análisis permitió abrir nuevas alternativas metodológicas, una de ellas, la incorporación en esta asignatura de evaluaciones de seguimiento creativas y didácticas, como actividades formativas para los estudiantes. Es menester que las evaluaciones tengan un carácter motivacional que le permita al alumno, en el paso a paso, ir desarrollando sus propias habilidades relacionadas a la Termodinámica de Procesos, una herramienta clave en la formación de los ingenieros.

Es necesario disminuir las brechas digitales de docentes y alumnos, tanto en herramientas tecnológicas y conectividad, como así también en el manejo de los recursos. Siempre percibiendo que estas transiciones no solo tienen que ver con lo tecnológico sino también con lo pedagógico.

Finalmente, en este artículo se quiso reflexionar al respecto de las transformaciones que se debieron realizar en el marco de la pandemia en una asignatura de ingeniería entendiendo que el único camino que permitió este proceso y permitió avanzar con flexibilidad, compromiso y empatía, fue el canal bilateral entre estudiantes y docentes.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) donde se desempeñan como docentes de la carrera Ingeniería Química.

6 REFERENCIAS

Branch, R. M., Dousay, T. A. Survey of instructional design models. Indiana: Association for Educational Communications and Technology.
<https://aect.org/docs/SurveyofInstructionalDesignModels.pdf?pdf=SurveyofInstructionalDesignModel/>.16.9.2020

CEDITE

<http://cedite.facet.unt.edu.ar/cedite/institucional/>.16.9.2020

De Vincenzi, A. Del aula presencial al aula virtual universitaria en contexto de pandemia de COVID-19. Avances de una experiencia universitaria en carreras presenciales adaptadas a la modalidad virtual. *Debate Universitario*, 8(16), 67-71, 2020.

<http://200.32.31.164:9999/ojs/index.php/debate-universitario/article/view/238/242>

Fardoun, H., Yousef, M., González-González, C., Collazos, C. A. Estudio exploratorio en Iberoamérica sobre procesos de enseñanza-aprendizaje y propuesta de evaluación en tiempos de pandemia. *Education in the Knowledge Society*, 21 (17), 2020.

<https://repositorio.grial.eu/handle/grial/2091/>.16.9.2020

Finkelstein, C. La enseñanza en la universidad en tiempos de pandemia. CITEP - UBA.

http://citep.rec.uba.ar/wp-content/uploads/2020/06/AcaDocs_D11_La-ense%C3%B1anza-en-la-universidad-en-tiempos-de-pandemia-2.pdf/.16.9.2020

García-Peñalvo, F.J. El sistema universitario ante la COVID-19: corto, medio y largo plazo. España: Universidad Sí.

<https://www.universidadsi.es/sistema-universitario-covid-19/>.16.9.2020

Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., Bond, A. The difference between emergency remote teaching and online learning. *Educause Review*. <https://bit.ly/3b0Nzx7/>.16.9.2020

Lara, S. *Conectar, disfrutar y aprender en Docencia Rubic: aprendizajes de la enseñanza universitaria en tiempos de la Covid-19*. Eunsa, España, 2020

<https://dadun.unav.edu/handle/10171/59097>

Reviglio, M. C., Blanc, M. C. La formación universitaria en tiempos de pandemia. Notas sobre encuentros sin cuerpos en el aula. Repositorio Hipermedial. Universidad Nacional de Rosario.

<http://rehip.unr.edu.ar/handle/2133/18863/>.16.9.2020

Torres Auad, L.F., Guzmán, M.F., Auvieux, N., Torres Peralta, T., Martel, J.E. El desafío de diseñar y enseñar por Competencias. Implementación en Aulas Virtuales. CEDITE-FACET-UNT.

<http://cedite.facet.unt.edu.ar/cedite/investigacion/>.16.09.2020.

UNESCO <<https://en.unesco.org/news/137-billion-students-now-home-covid-19-school-closures-expand-ministers-scale-multimedia/>>.16.09.2020.

La formación por competencias en carreras de ingenierías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero

Fernández, Norma B.¹ y Domski Marcela V.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero, normafernandezteruel@gmail.com; mdomski@unse.edu.ar*

RESUMEN

El contexto educativo nacional e internacional en la educación superior impone desafíos en vinculación con la formación y mercado laboral, inscripto en la sociedad del conocimiento. En la actualidad, las instituciones educativas de nivel superior se enfrentan a la necesidad formar profesionales con competencias para adecuarse a los cambios, con nuevos modelos adecuados al S. XXI.

En la propuesta se pretende investigar sobre el currículum por competencias, para elaborar un plan piloto de formación centrado en el aprendizaje del estudiante, para ser aplicado en carreras de ingeniería o en asignaturas de las mismas, de la UNSE. Metodológicamente, el trabajo se enmarca en el Diseño no experimental, con enfoque mixto y perspectiva exploratoria. Se muestran resultados parciales del proyecto, comprendiendo capacitación, micro experiencias, trabajo ingenieril, formación de recursos humanos y líneas de trabajo actuales.

Con este proyecto se podrá estimular la creatividad e innovación para enfrentar los retos de la sociedad, para ser capaz de superar los modelos educativos heredados del S. XX que estaban centrados en la adquisición de conocimientos. Se adhiere a la tendencia de Currículos basados en Competencias, para garantizar la calidad de la educación superior, con el fin de adecuarlos a lo que exige la sociedad actual.

ABSTRACT

The national and international educational context in higher education imposes challenges in connection with training and the labor market, registered in the knowledge society. Currently, higher-level educational institutions need to train professionals with skills to adapt to changes, with new models suitable for the 21st century. The proposal aims to investigate the curriculum by competencies, to develop a pilot training plan focused on student learning, to be applied in engineering careers or in subjects at the UNSE. Methodologically, the work is framed in the non-experimental design, with a mixed approach and exploratory perspective.

Partial results of the project are shown, which includes training, micro experiences, engineering work, human resources training and current lines of work. With this project, creativity and innovation can be stimulated to face the challenges of society, to be able to overcome the educational models inherited from the 20th century that were focused on the acquisition of knowledge. It adheres to the trend of Competency-based Curricula, to guarantee the quality of higher education, in order to adapt it to what today's society demands.

Palabras claves: *Ingenierías- competencias- formación de ingenieros- plan piloto*

Keywords: Engineering- competences- engineer training- pilot plan

1. INTRODUCCIÓN

A partir del conocimiento generado en investigaciones anteriores, producto de una Beca de Movilidad para estancias postdoctorales en una universidad andaluza correspondiente a la Convocatoria de la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP), realizada

por la Directora del Proyecto de Investigación, se elabora el proyecto de investigación.

El informe Delors (1996) *La Educación encierra un tesoro*, publicado en 1996, pone en relación el aprendizaje con las competencias, estableciendo cuatro pilares básicos de la educación: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos y aprender a ser. Por tanto, se reconoce la importancia del aprendizaje de aptitudes,

capacidades y competencias para hacer, ser y convivir, además del tradicional aprendizaje cognitivo.

Stabback (2016) expresa que en la UNESCO se tuvo como intención apoyar los esfuerzos de los países en incorporar los temas desafiantes en los procesos de renovación y desarrollo de los currículos en diferentes niveles, ámbitos y ofertas del sistema educativo.

Por su parte, las universidades en España, al incorporarse al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), han debido llevar adelante profundos cambios, entre ellos la apuesta por orientar los procesos formativos en el aprendizaje, o más bien, en los resultados de aprendizaje, medidos por competencias. Ello ha implicado la implantación del proyecto Tuning, proyecto que se propuso determinar puntos de referencia para las competencias genéricas y las específicas de cada disciplina en una serie de ámbitos temáticos.

La Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) (2016) ha aprobado un documento de Perfil del Ingeniero Iberoamericano, en conformidad al documento de Competencias, como una contribución a la educación de los futuros ingenieros iberoamericanos, resaltando la responsabilidad social de su profesión. Se establece que la educación de ingenieros demanda una serie de cualidades en los profesores, profesionales de la educación, tomando compromisos para crear en las instituciones un ámbito propicio para el desarrollo y puesta en práctica de esas cualidades. Así, en Latinoamérica, numerosas universidades han comenzado el cambio de la formación en educación superior basada en competencias.

Por su parte, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) (2010) en Argentina, en el Congreso Mundial de Ingeniería 2010, ha manifestado que es una tendencia internacional en el diseño de los planes de estudio de ingeniería el uso de las competencias como horizonte formativo.

Si bien, la consideración de las competencias no ha estado ausente en el proceso de desarrollo de los planes de estudio en el pasado, ha carecido del énfasis que hoy debiera tener.

La Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) de Argentina, ha iniciado su proceso de transformación en las carreras de Ingeniería, tendientes a la formación por competencias, encontrándose en su etapa inicial de

implantación. Dicha Universidad responde a los acuerdos que se logran al respecto en el Consejo de Decanos de Ingeniería del NOA (consorcio de la región Noroeste de la República Argentina).

Con estos antecedentes, se justifica la necesidad de desarrollar el proyecto de investigación que se presenta. El mismo centra su objetivo en elaborar un plan piloto para carreras de ingenierías tendientes a la formación por competencias. Con esto se pretende explorar el alcance del currículo con el enfoque por competencias y centrado en el estudiante, para ingenierías de la UNSE.

Se realiza un análisis para poder precisar el alcance de las competencias en el ámbito educativo de nivel universitario y su relación con la necesidad de realizar un cambio de paradigma educativo que fundamente la formación por competencias. Ello implica cambios en el diseño curricular tradicional hacia un diseño curricular por competencias, cambios en la gestión de la institución y en el sistema global en la formación del ingeniero, necesarios para el desempeño en la sociedad de la información.

En otro orden se examinan los elementos que componen el modelo curricular tradicional de las carreras de ingenierías de la UNSE, para abordar el análisis de la malla curricular o plan de estudios por competencias, la programación o planificación docente, la definición de perfiles de ingreso y de egreso, los mecanismos de evaluación y las guías didácticas de las asignaturas para la aplicación concreta en el aula.

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se enmarca en el Diseño no experimental. Es un estudio de enfoque mixto, con metodología cuanti-cualitativa, y una perspectiva exploratoria.

Los estudios exploratorios sirven para preparar el terreno y por lo común anteceden a investigaciones con alcances descriptivos, correlacionales o explicativos como lo expresa Hernández Sampieri (2008).

Hernández Sampieri *et al.* (2008) afirman que el propósito de una investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambas.

En los métodos mixtos se combinan al menos un componente cuantitativo y uno cualitativo en un mismo estudio o proyecto de investigación.

Los instrumentos a utilizar para recabar información son el análisis de documentación (diseño curricular, planes de estudio, guías didácticas, entre otros), encuestas y entrevistas a informantes claves.

Análisis cuantitativo de contenido o análisis de documentación. Este método tiene mayores implicaciones que sólo recoger contenidos, es un cierto tipo de diseño de investigación o técnica de análisis, según Hernández Sampieri *et al.* (2008) El análisis de contenido es una técnica para estudiar y analizar la comunicación de una manera objetiva, sistemática y cuantitativa. Hernández Sampieri *et al.* (2008) sostiene el análisis de contenido es una técnica muy útil para analizar los procesos de comunicación en muy diversos contextos. Puede aplicarse a cualquier forma de comunicación (programas televisivos, artículos en prensa, libros, conversaciones, discursos, leyes, reglamentos, documentos, entre otros).

Por su parte, la entrevista cualitativa es íntima, flexible y abierta. Ésta se define como una reunión para intercambiar información entre una persona (el entrevistador) y otra (el entrevistado) u otras (entrevistados), afirma Hernández Sampieri *et al.* (2008).

En la entrevista, a través de las preguntas y respuestas, se logra una comunicación y la construcción conjunta de significados respecto a un tema. Las entrevistas semi estructuradas se basan en una guía de asuntos o preguntas y el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener mayor información sobre los temas deseados, es decir, no todas las preguntas están predeterminadas, según Hernández Sampieri *et al.* (2008).

La encuesta estructurada, es una técnica de investigación que consiste en una interrogación verbal o escrita que se les realiza a las personas con el fin de obtener determinada información necesaria para una investigación, afirma Hernández Sampieri *et al.* (2008).

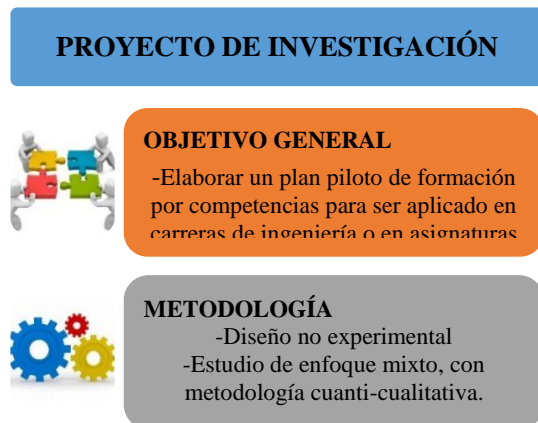


Figura 1: Objetivos y metodología del proyecto

3. LÍNEAS DE TRABAJO DEL PROYECTO

La experiencia de investigaciones y prácticas, producto de la estancia postdoctoral y del trabajo y la participación de los integrantes del equipo de investigación en reuniones de trabajo, cursos y talleres sobre Competencias, se pone de manifiesto los siguientes resultados o avances del proyecto de investigación:

- Nuevas perspectivas en la teoría y la práctica educativa de los currículos por competencias, centrados en el estudiante, que implican cambios paradigmáticos en organización curricular, abordaje de los componentes didácticos, tutorías, y nuevo enfoque en evaluación.
- Vinculación e intercambio con equipos de investigación interdisciplinarios e interinstitucionales del país, para enriquecer la investigación para formular el diseño, motivo del proyecto.
- Propuestas de innovación en la formación de recursos humanos según nuevos perfiles técnico y profesional en correspondencia con las actuales demandas de un campo ocupacional incipiente en las Universidades del Norte Grande y de nuestro país.
- La práctica educativa en un nuevo paradigma, indagando la relación existente entre las propuestas educativas en vigencia en la Universidad, y la necesidad de realizar un cambio de paradigma en tanto concepciones pedagógicas.
- Proyectos educativos innovadores que actuarán como micro experiencias de cátedras, con enfoque de competencias centrado en el estudiante.

- Trabajo ingenieril que demuestra las competencias adquiridas por el ingeniero, y permite la aplicación de estas en la elaboración de productos novedosos e innovadores.
- Formación de recursos humanos con diversos perfiles profesionales y técnicos ante las nuevas demandas de formación del ingeniero argentino.
- Exploración del proceso de implantación de la formación por competencias por el que atravesaron otras universidades en carreras de ingeniería, en aspectos organizacional y curricular, que permiten realizar nuevas investigaciones en el campo educativo vinculadas a la revisión crítica de la teoría y práctica de la enseñanza y del aprendizaje.
- Formación de recursos humanos que integran el proyecto, con elaboración de trabajos finales que contribuyen a esta investigación.
- Promoción en la UNSE de espacios y oportunidades para poner en práctica propuestas innovadoras en educación por competencias.
- Descripción del plan de formación de carreras de Ingeniería, que permite extraer sus componentes esenciales, permitiendo ir elaborando líneas de trabajo para cumplir con el objetivo central de la investigación.



Figura 2: Líneas de trabajo.

4. ACTIVIDADES REALIZADAS EN TORNO AL PROYECTO

Se presenta aquí los avances del proyecto, detallando las actividades realizadas, en torno a los objetivos planteados en forma primigenia. Cabe aclarar que en el transcurso de la investigación fueron surgiendo temas emergentes que hacen dar una nueva visión a la misma. Las actividades realizadas corresponden a:

- a. Revisión y selección de antecedentes sobre el tema currículo por competencias. Elaboración del estado del arte sobre formación por competencias para conocer sus alcances.
- b. Sistematización de los antecedentes de la investigación. Consulta de fuentes bibliográficas y digitales. Adquisición de la información en fuentes de información primarias (directas), esto es libros, artículos de publicaciones científicas, tesis, disertaciones, monografías, documentos oficiales, páginas en internet, etc.
- c. Elaboración de Marco Referencial del trabajo de investigación. Confección del marco conceptual con bibliografía diversa. Preparación del marco político y legal para dar contexto al trabajo. Consulta de normativa de evaluación y acreditación vigente en Argentina.
- d. Preparación del marco metodológico, que implica la elaboración de entrevistas en profundidad para ser aplicadas a informantes clave, de encuestas semi estructuradas para aplicar a profesores de las carreras de ingenierías.
- e. Elaboración de proyectos de implementación directa para las cátedras que intervienen en el trabajo de investigación, especialmente para Física, a manera de micro experiencia, ya que es una asignatura que integra el ciclo básico de formación de todas las ingenierías.
- f. Elaboración de un plan de formación para docentes de la UNSE sobre formación en competencias, centradas en el estudiante. Dicho plan tiene cuatro pilares, a saber: modificación curricular, sistema de tutorías, elaboración de guías didácticas y nuevo enfoque sobre evaluación.



Figura 3: Actividades en torno al proyecto

A continuación, se detallan las actividades realizadas por los miembros del equipo de investigación:

- Participación en Curso “Experto en Formación por Competencias en carreras de Ingeniería”, Organizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.
- Elaboración, desarrollo del 1º Taller de ‘Introducción a la Planificación por Competencias en Asignaturas de Ingeniería’, Organizado por la FCEyT – UNSE, destinado a los docentes de las carreras de ingeniería de la Facultad. Resulta pertinente, necesario capacitar a los docentes, en esta instancia del ciclo profesional, para que sean capaces de adecuar sus planificaciones docentes para enfrentar los nuevos procesos de acreditación de Carreras de Ingeniería.
- Publicación de artículo sobre ‘Implementación de un Laboratorio Remoto en Física’ REF XXI, Ruggeri, A., Anriquez, C. Rosario, 30 de septiembre al

- 4 de octubre de 2019. Publicado en Asociación de Profesores de Física de la Argentina. REF XXI: programa y libro de resúmenes. Rosario: APFA-Asociación de Profesores de Física de la Argentina (2019). ISBN 978-987-20512-6-6, pág. 231. Con exposición de un mural, pág. 41.
- Presentación de Propuesta Final de Trabajo Integrador, Ruggeri, A. Título: “Propuesta de experiencia innovadora en la enseñanza de la Física utilizando Laboratorio Remoto Diferido, orientado a la Formación por Competencias en Ingeniería”, para la Especialización en Enseñanza de las Tecnologías, de la UNSE.
- Presentación del artículo “La competencia comunicativa en laboratorio en tiempos de pandemia”, Ruggeri, Ana.; Anriquez, Claudia. En esta oportunidad consistió en la implementación de la evaluación por rúbricas sobre los informes de laboratorio remoto presentados por los alumnos de primer año, dentro del cursado virtual de la cátedra de Física I-2020, para trabajar la competencia de comunicación y argumentación. Los resultados son promisorios y alientan a seguir en este camino.
- Elaboración de artículo “Desarrollo de sistema de medición de energía eléctrica”, Santillán, Mario, Fernández, Norma. El trabajo consiste en el diseño e implementación de un medidor electrónico de energía eléctrica, de los principales parámetros asociados a la misma, buscando el método más eficaz para implementar sus componentes. El sistema está basado en el uso de un circuito integrado capaz de medir la energía (entre otras magnitudes) en un sistema monofásico, contando con recursos internos para el muestreo de las señales de tensión, corriente, filtrado y compensación de errores; todo esto combinado con los recursos que ofrecen los microcontroladores actuales para la gestión de la información digital. Se incluye también el diseño de un software para computadora capaz de extraer, mostrar y analizar los datos obtenidos por el dispositivo de una manera sencilla e intuitiva.

- Preparación de artículo sobre “La enseñanza virtual en el ciclo básico de ingenierías”-. Dowski, M, Fernández, Norma. El trabajo propone un proyecto de innovación consistente en la incorporación de la modalidad de enseñanza virtual en el ciclo básico de las Ingenierías de la UNSE. Se pretende desarrollar las competencias digitales de los estudiantes de las carreras de grado, dentro de la actual oferta de formación presencial, incorporando en la misma la formación virtual, en modalidad b-learning o e-learning, procurando brindarles las herramientas necesarias para fortalecer las competencias, para enfrentar los desafíos del mundo laboral en esta era digital.
- Implementación de un Laboratorio Remoto en Física, Ruggeri, A., Anriquez, C. La educación está experimentando grandes cambios influenciados por el avance de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), uno de estos avances son los Laboratorios Remotos (LR), que se vienen utilizando en la enseñanza de las ciencias y la ingeniería, permitiendo realizar experimentos reales a través de internet, constituyéndose en herramientas que brindan apoyo a la enseñanza presencial. El objetivo de la experiencia fue promover estrategias pedagógicas para mejorar las condiciones de enseñanza y de aprendizaje en el área de laboratorio de Física de las carreras de Ingeniería de la FCEyT, que contribuyan a las competencias digitales, para aplicar en extensiones áulicas en el interior de la provincia, en las cuales no resulta factible trasladar el equipamiento del laboratorio, aplicando recursos provistos por las TIC. La propuesta implementada permitió más que nada al equipo docente ir adecuándose con esta nueva práctica, respondiendo a los antecedentes sobre el tema que la Facultad lleva a cabo.
- Se implementó en el curso de Ingreso Anticipado tradicional 2020, en la FCEyT, mediante un sistema de evaluación, formativa inédito, ya perfilado a la enseñanza por competencias, en Física. Anriquez Claudia

- En el laboratorio de Física, se diseñó la evaluación por rúbricas para su aplicación en este año, de manera presencial. Anriquez, Claudia.

5. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El proyecto de investigación tiene entre sus objetivos la formación de recursos humanos, de los miembros que integran el equipo de trabajo. Al respecto se realizaron:

- Presentación de Propuesta Final de Trabajo Integrador, para la Especialización en Enseñanza de las Tecnologías, diciembre de 2019. Ruggeri, Ana. Título: “Propuesta de experiencia innovadora en la enseñanza de la Física utilizando Laboratorio Remoto Diferido, orientado a la Formación por Competencias en Ingeniería”, actualmente en evaluación.
- Elaboración de anteproyecto de tesis doctoral titulado “Posibilidades de la implementación de la evaluación por competencias en carreras de ingeniería de la FCEyT-UNSE”, Doctorado en Educación, UNSE, Anriquez, C., actualmente en proceso.
- Elaboración de proyecto de Tesis de Licenciatura en Educación, titulado “La enseñanza virtual en el trayecto de las Prácticas Profesionales Docentes”, Dowski Marcela, actualmente en proceso.

6. RESULTADOS ESPERADOS

Entre los resultados esperados que nos impulsan a dar continuidad al proyecto de investigación, se pueden mencionar:

- *La generación de un plan piloto de implantación de la formación por competencias, en una carrera de Ingeniería, en cursos y en asignaturas que las integran, en la Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
- *Delimitar las Competencias básicas, generales relativas a la profesión, específicas de la ingeniería y transversales. Trabajar cada una de las capacidades en una o varias asignaturas del itinerario formativo, de manera horizontal (por cada año de la carrera) y vertical (en todos los años que abarca la formación), de tal modo que se logre coordinación en un trabajo*

consensuado entre el profesorado, para que el estudiante logre la adquisición de todas las competencias.

- *La formación de docentes* en proyectos de formación por competencias, mediante talleres, charlas, reuniones, etc.
- *Diseño de programas y micro experiencias* de cátedras en el marco de la educación bajo enfoque por competencias, centrado en el estudiante.
- *Organizar el currículo* en un sistema modular, con una articulación tanto vertical como horizontal.
- *Redefinir el plan de estudios*, para completar el total de créditos necesarios, de los cuales se hace una distribución por tipo de materias (de formación básica, obligatorias, optativas, prácticas externas, trabajo final de grado). Se asignarán créditos a cada materia que configura el plan de estudios, el cual se computa en horas de trabajo requeridas para que el estudiante adquiera conocimientos, capacidades y destrezas.
- *Lograr el acuerdo de mecanismos de coordinación docente* con el objetivo fundamental de que los estudiantes adquieran las competencias establecidas y, en especial, se atienda a las competencias transversales con la garantía de que no incrementen la carga de trabajo del alumnado.
- *Proponer la elaboración de la guía docente, que contenga sugerencias* sobre la utilización del módulo, material didáctico, orientaciones para el desarrollo de la formación y planillas de corrección de los instrumentos de evaluación, aprendizaje con contenidos, ejercicios y uso de recursos variados.
- *Proponer un nuevo mecanismo de Evaluación, ya que la adquisición* de las competencias asociadas es evaluada atendiendo a la estructura formativa de la asignatura.
- *Diseñar un plan* que contemple cursos, jornadas destinadas a la formación de los profesores. Dicha formación debe contemplar mínimamente: conceptualización de competencias y diferentes tipos en la formación; la metodología de enseñanza que contribuirá a la adquisición de las mismas; el sistema

de acción tutorial, que implica una nueva concepción de tutorización al estudiante; la planificación de los profesores (guías didácticas); el sistema de evaluación y acreditación (sistema de reconocimiento de créditos).

- *Brindar lineamiento a la gestión organizacional* para que pueda contemplar mecanismos para coordinar el trabajo de profesores, tanto de manera horizontal (coordinación de asignaturas por cada año de la carrera) como vertical (todos los años de duración de la formación de grado), de tal manera que se verifique la adquisición de todas las competencias que se pretenden en la carrera.
- *Concientizar el cambio del rol del profesor*, en el currículo por competencias, ya que aparece un nuevo concepto de educación basado en el aprendizaje y centrado en el alumno. El tiempo de dedicación del profesor también cambia, no sólo se debe concebir en relación al número de clases sino con una visión más global de lo que se le encarga, ya sea tutoría, seguimiento, planificación, siempre dentro de un conjunto coordinado con el resto de las asignaturas que integran el plan de estudios.



Figura 4: Resultados esperados.

7. ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIAS ESPERADAS

- La divulgación de conocimientos trasferidos a prácticas diversas y a asesoramiento a programas y proyectos de educación por competencias en las Universidades del Norte Grande, a organismos gubernamentales y no gubernamentales del NOA y del país.

- Formación de recursos mediante la orientación en la elección de temas del amplio campo de la formación en competencias, como trabajos finales de carreras de grado y posgrado en Ingenierías.
- Actividades experimentales de transferencia mediante la concreción de las propuestas en la UNSE y en otras universidades de la región y del país. Convenios interinstitucionales con universidades y otros centros vinculados al proyecto.
- Desarrollo de talleres, cursos, charlas y reuniones sobre el tema del trabajo de investigación, tanto a docentes de la UNSE como de universidades que lo requieran.
- Se establecerán relaciones con las Universidades españolas con las que tiene convenio la UNSE, así como en otros países de Europa y Latinoamérica.

8. CONCLUSIONES

El presente artículo muestra los avances del proyecto de investigación, planteado bajo el enfoque de competencias, centrado en el estudiante.

Se lograron algunos objetivos diseñados en el proyecto, a saber:

- Explorar el proceso de implantación de la formación por competencias en otra universidad.
- Indagar la relación existente entre las propuestas educativas en vigencia en la Universidad, y la necesidad de realizar un cambio de paradigma en tanto concepciones pedagógicas.
- Analizar los espacios y las condiciones institucionales para la implantación de la formación por competencias en el contexto universitario.

Como actividades al interior del proyecto se realizaron avances y ajustes relacionados con marco teórico referencial, metodológico, y otras acciones anexas que complementan la investigación, como la oferta de formación a docentes mediante talleres, la aplicación de micro experiencias en cátedras del ciclo básico, la publicación de artículos, la elaboración de

trabajos finales de grado y postgrado relacionados con el tema motivo de investigación.

9. REFERENCIAS

- ASIBEI (Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería) *Competencias y perfil Ingeniero Iberoamericano, Formación de Profesores y Desarrollo Tecnológico e Innovación*. Documento Plan estratégico ASIBEI. Argentina, 2016.
- CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería- Argentina) *La Formación del Ingeniero para el Desarrollo Sostenible*. Congreso Mundial de Ingeniería. Buenos Aires, Argentina, 2010.
- Delors, J., Los cuatro pilares de la educación. En *La educación encierra un tesoro*. Informe a la UNESCO de la Comisión internacional sobre la educación para el siglo XXI, Madrid, España: Santillana/UNESCO. pp. 91-103, 1996.
- Documentos de CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería), Comisión Estándares CONFEDI, Argentina, 2017.
- Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista L., *Metodología de la Investigación*. México, McGraw-Hill, 2008.
- Stabback, Philip, *¿Qué hace que un currículo sea de calidad? Cuestiones fundamentales y actuales del currículo y el aprendizaje*. Geneva: UNESCO, 2016.

Integración de las TIC en la modalidad presencial y virtual en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas

Fernández, Natalia E.¹ y Buenader, Ana G.¹

(1) *Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.*
gallega74@hotmail.com; anabuenader@hotmail.com

RESUMEN

Las características de la globalización, la rapidez de penetración en diferentes ámbitos de la cultura, el impacto de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), en el contexto actual, son trascendentales.

El presente trabajo se desprende del Proyecto de Investigación: "Gestión y Administración de TIC en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas: un abordaje desde las dimensiones pedagógica y tecnológica". Pretende realizar un aporte a los profesores de la institución para que al considerar el diseño de un espacio virtual se forme un entramado con la modalidad presencial; apoyándonos en la tesis de maestría de una de las autoras: "El uso e integración de las TIC en la formación del Ingeniero en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca".

Según Ambrosino (2017): [...] esta cuestión instala situaciones, problemas, necesidades y desafíos emergentes que requieren de interpretaciones enriquecidas. Esta perspectiva también requiere de un diálogo marcado por lo antiguo y lo actual, lo histórico y lo emergente, la tradición y la innovación. Además, nos invita a revisar las relaciones dinámicas entre cultura, educación y tecnología. Siendo, las actitudes del docente, así como sus competencias digitales, fundamentales en su adopción pedagógica

ABSTRACT

The characteristics of globalization, the rapidity of penetration in different areas of culture, the impact of information and communication technologies (ICT), in the current context, are transcendental.

The present work emerges from the Research Project: "ICT Management and Administration in the Faculty of Technology and Applied Sciences: an approach from the pedagogical and technological dimensions". It aims to make a contribution to the institution's professors so that when considering the design of a virtual space, a network is formed with the face-to-face modality; based on the master's thesis of one of the authors: "The use and integration of ICT in the training of the Computer Engineer of the Faculty of Technology and Applied Sciences of the National University of Catamarca".

According to Ambrosino (2017): [...] this question sets up emerging situations, problems, needs and challenges that require enriched interpretations. This perspective also requires a dialogue marked by the old and the current, the historical and the emerging, tradition and innovation. Furthermore, it invites us to revisit the dynamic relationships between culture, education and technology. Being, the attitudes of the teacher, as well as their digital skills, fundamental in their pedagogical adoption.

Palabras claves: TIC - PEDAGOGÍA - RECURSOS - INNOVACIÓN

Keywords: TIC - PEDAGOGY - MEANS – INNOVATION

1. INTRODUCCIÓN

En esta última década, el impacto de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC), creció de manera exponencial y se convirtió en un factor movilizador en las

instituciones educativas. En el caso de las universidades, con fuerte presencia territorial en la sociedad, la inclusión de las TIC pone en debate la territorialidad y la democratización del acceso, e impacta en la institucionalidad universitaria.

Este trabajo se desprende del Proyecto de Investigación: “Gestión y Administración de TIC en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas: un abordaje desde las dimensiones pedagógica y tecnológica”. En contribución y a fin de proporcionar algunas respuestas a los objetivos específicos de citado proyecto, en particular se enfoca y engloba el presente trabajo, entre los que se precisan a continuación:

- Utilizar de manera eficiente y eficaz la infraestructura tecnológica institucional en los procesos educativos, buscando mejorar las prácticas pedagógicas de los docentes de la Facultad para brindar una educación de calidad.
- Utilizar los ambientes de aprendizaje y la Plataforma Virtual que ofrece la Facultad como apoyo a los procesos de aprendizaje de los estudiantes en formación e innovar en el uso de herramientas de la Web
- Suministrar información significativa que respalde la toma de decisiones a nivel de gestión institucional, académica y curricular en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas y en la Universidad Nacional de Catamarca.

En un futuro, ya no lejano, las clases y aulas deben ser diseñadas para adaptarse a las largas distancias de las situaciones de aprendizaje; planificar y diseñar las clases combinando estrategias relacionadas con lo sincrónico y lo asincrónico, con herramientas y recursos que posibiliten el diseño de actividades, el seguimiento, el acompañamiento y la evaluación. Los docentes tenemos ahora la oportunidad de conectarnos y entender la clase a donde el estudiante se encuentre, esta será la lógica de los tiempos que se acercan.

Tarasow (2009) afirma que “los espacios de la educación en línea no sólo plantean cambios a nivel político, sino que también generan un vendaval de decisiones al nivel de las instituciones”.

Como docentes tenemos y debemos integrar, y no ignorar, los cambios sociales relacionados a las formas de comunicación, de aprendizaje, de las nuevas TIC, en busca de lograr que las propuestas produzcan nuevos conocimientos, se vuelvan atractivas y significativas y, por ende, conseguir una transformación repensando y recreando nuestras prácticas. Como así, la importancia de combinar modalidades presenciales y en línea; y la necesidad de integrar tecnologías con sentido pedagógico.

2. LAS TECNOLOGÍAS

Entender la diferencia entre utilizar las tecnologías e integrarlas en la currícula, marca un hecho valioso, dado que el uso curricular de las tecnologías no implica que sea con un propósito claro y definido para apoyar el aprendizaje de un contenido, ya que puede conllevar usarlas para diversos fines. Así pues, se trata de valorar las posibilidades didácticas de las TIC en relación con objetivos y fines educativos.

La integración involucra e incluye necesariamente el uso curricular de las TIC. Ya que, al integrarlas curricularmente, el énfasis se pone en el aprender y en cómo las TIC pueden apoyar ese aprender, siempre teniendo presente que el centro es el aprender y no las TIC. Aprender con tecnologías ofrece oportunidades cognitivas diferentes a las que se generan al aprender sin ellas. “Enseñar a trabajar con tecnologías como instrumentos de la cultura implica mediatizarlas, al tiempo que configurar particulares relaciones con los entornos físicos y sociales” (Litwin, 2000, p.23). Sin olvidar que, la tecnología es un vehículo y no el destino, y lo que tiene relevancia es la aplicación prudente de los recursos.

La búsqueda de la excelencia en la diversidad de propuestas tecnopedagógicas debe, sin dudas, ser abordada a través de los nueve principios indicadores para la búsqueda de la excelencia virtual de Henry, J. y Meadows, J. (2008), quienes proponen una lista de ideas importantes y sugerencias relevantes al respecto, y en el primer principio manifiestan que “el mundo virtual es un medio en sí mismo”. En el cual se considera que el mundo en línea no es simplemente un ambiente de aprendizaje más, como un aula separada al fondo del pasillo, sino que es un ambiente de aprendizaje categóricamente diferente.

Ante todo, debe entenderse por una propuesta de excelencia aquella que se encuentre basada en: una concepción pedagógica sólida y que implique la creación de un entorno de aprendizaje efectivo y atractivo, la generación de experiencias de aprendizaje significativas y la promoción de una elevada satisfacción del estudiante.

En este mundo virtual se encuentran, convergen, entrelazan y se reúnen como en un inconmensurable mar donde navegan, recorren y sumergen gran cantidad y diversidad de personas con polifacéticos intereses e inquietudes, los cuales están diseminados y al alcance de un click.

Allí se puede acceder a: recursos, aplicaciones, herramientas, contenidos, productos, soportes, entornos, lugares de construcción social y colaborativa para el desarrollo de diferentes actividades, a través de las que sucede el aprendizaje, la construcción de conocimientos.

“La potencia pedagógica de una u otra propuesta no se encuentra atada al nivel de dotación tecnológica de un ambiente o institución, sino que depende del sentido didáctico con el que el docente incorpora la tecnología a la práctica de la enseñanza o el valor que esta tiene en la construcción de un campo disciplinar” (Maggio, 2012, p. 25). Por lo que se destaca que es de vital importancia prestar atención al diseño formativo de la propuesta, ya que su organización juega un rol preponderante para enlazar tecnología y pedagogía. Asimismo, las decisiones pedagógicas anteceden a las herramientas, por lo que es preciso distinguir que quienes favorecen y generan el proceso de aprendizaje son los propósitos que guían la propuesta, el vínculo con el conocimiento planteado a través de estrategias de enseñanza y aprendizaje y no solamente el uso de la tecnología. Igualmente, hay que tener cuidado, ya que el primer reflejo puede ser tratar de trasladar la presencialidad a la virtualidad, lo cual es casi imposible; ya que cada uno tiene sus particularidades.

3 LOS ACTORES

Comoglio y otros (2017) hacen un análisis prospectivo de la respuesta de los actores de los procesos de enseñanza-aprendizaje frente a la implementación de un modelo *blend learning* en carreras de Ingeniería. En el caso de los docentes se observa un aumento de la tarea diaria y la necesidad del reconocimiento correspondiente; en tanto, en el caso de los estudiantes, saben que tienen una facilidad en el manejo de la tecnología y no asumen sus limitaciones en técnicas de estudio. Con respecto a las autoridades, se observa un interés en la disminución del desgranamiento y un aumento de la graduación, sin un análisis de las estrategias para conseguirlo y sin reconocer la labor del docente que incluye TIC en su cátedra.

“Es necesario poner en circulación la palabra del docente y crear condiciones institucionales de escucha, de acompañamiento, de formación, que le permitan al profesor volver a reconocerse, recrearse e imaginarse. La responsabilidad no es

exclusiva del docente; este cambio además de ser un acontecimiento de fuerte impacto pedagógico, es un hecho político, social y cultural. Por lo tanto es necesario generar los mecanismos -al interior de cada comunidad educativa- para que estas transformaciones ocurran de modo constructivo, dialogado, participativo y democrático” (Kap, 2014, p. 188).

El docente usando las herramientas y recursos tecnológicos es parte de ese construir de saberes realmente, porque es guía, acompañante, apoyo en esa producción de aprendizaje, pensamiento crítico y análisis.

“Los alumnos pueden usar muy frecuentemente la tecnología sin alcanzar niveles cognitivos complejos y los docentes pueden generar ciertos usos como respuesta a la coacción pero, en general, estos usos no dan lugar a propuestas enriquecidas si los docentes que operan bajo presión no ven la potencia pedagógica diferente y rica que pueden favorecer a través de la tecnología” (Maggio, 2012, p. 28).

En la práctica un camino que aún los docentes siguen recorriendo, explorando y tratando de mejorar: el camino de la virtualidad.

Borgobello y otros (2019) afirman que “puede percibirse la necesidad de articulación entre actores de la universidad como docentes, gestores, estudiantes y técnicos centrándose en las prácticas pedagógicas concretas. De acuerdo a las narraciones de los docentes, la incorporación en proyectos pedagógicos con TIC a nivel local parece darse en voluntades individuales aún más que en proyectos político-institucionales”. Además, concluye: “Es a partir de cuestionamientos colectivos, en trabajos cooperativos y colaborativos que podría la universidad superar esta visión de una institución que parece estar más ligada a lo tradicional y conservador que a visiones pedagógicas más contemporáneas y vinculadas al uso de TIC en la mediación pedagógica”.

Es necesario que se disipen rápidamente las resistencias a la plena y real integración e incorporación de las TIC en la universidad, por parte de todos los actores constitutivos e intervinientes en los procesos de enseñanza y aprendizaje y de gestión institucional, creando puentes, no abismos entre la tecnología, cultivando las capacidades actuales de utilizarlas y a favor de la construcción de conocimiento conjunto y colaborativo. Y también considerar

que, el aprendizaje se optimiza cuando el estudiante es un protagonista activo del proceso.

4 ALGUNOS RESULTADOS

A modo de socializar y compartir los datos obtenidos en la Tesis de Maestría de Buenader (2020), quien a través de su trabajo efectuó la caracterización del uso e integración de las TIC en las prácticas docentes de los profesores de la carrera de Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, en el año académico 2019 comprendido del 01 de abril de 2019 hasta el 31 de marzo de 2020.

El trabajo de campo lo realizó mediante encuestas online en el total de 76 profesores de la carrera Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas que cubren los diferentes cargos, de los que 40 profesores fueron los que respondieron la encuesta, representando un 52,6% de los profesores que se desempeñan en las diferentes asignaturas que conforman el plan de estudios de la citada carrera.

Este trabajo fue tomado como insumo para contribuir en la configuración de nuevos modos de enseñanza y aprendizaje relacionados con la gestión de las TIC en el ámbito educativo, y vinculados con su uso e integración en el modelo pedagógico al considerar el diseño de un espacio virtual que forme un entretejido con la modalidad presencial. Asimismo, conocer las actitudes de los profesores es valioso para poder proporcionar una contribución en su práctica pedagógica habitual, que permitan construir propuestas didácticas y estructurar nuevas estrategias para el desarrollo de los contenidos de sus asignaturas.

Para lograr cambios y, por ende, mejorar la calidad de la enseñanza es necesario que los profesores diseñen ambientes educativos que promuevan las nuevas formas de aprender de los estudiantes, permitan la participación activa en la construcción de su conocimiento, estimulen la creatividad, el trabajo colaborativo, se proporcionen materiales en diversos modos de presentación y perspectivas diferentes, estimulen la reflexión, potencian el desarrollo de habilidades y el pensamiento crítico.

Es de destacar también que se tiende, casi ineludiblemente, a una renovación didáctica en las aulas donde se pone o pondrá en práctica una metodología activa e innovadora que motiva al estudiante y al ser aplicadas las TIC a los

procesos de enseñanza y aprendizaje aportan un carácter innovador y creativo, dado que dan acceso a nuevas formas de comunicación, interacción, participación, intercambio, motivación.

4.1 Prácticas Docentes

En lo que respecta a las prácticas docentes, en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la carrera de Ingeniería en Informática, Buenader (2020, p. 54-55) analiza varios factores y concluye que:

- El nivel de formación del profesorado no es un factor decisivo para utilizar las TIC en el aula, pero sí lo es la actitud positiva hacia estas.

- Los profesores utilizan las TIC para mantener el contacto con los estudiantes y colegas; para consultas, intercambio de información y el correo electrónico.

- El uso de las TIC está relacionado a su conocimiento y grado de dominio, pero no se puede aseverar su nivel de apropiación real e incorporación en la práctica, en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

- Los profesores reconocen menores saberes, de bajo a regular dominio, en torno a tareas relacionadas con el uso y manejo de las plataformas de gestión de aprendizaje: Plataforma Moodle: Aula Virtual, de los recursos y actividades que en ella se encuentran, por ejemplo de los foros; plataformas de contenidos audiovisuales (por ej.: Youtube, Vimeo), editores de imágenes (por ej.: Photoshop, Gimp), lectores RSS (por ej.: Flipboard, Feedly), de los repositorios institucionales, herramientas de creación de cuestionarios, videoconferencias (por ej. BigBlueButton, Zoom).

Para obtener información sobre la respuesta de los profesores en función de su "Actitud frente al uso educativo de las TIC", se presentaron una serie de afirmaciones relacionadas con el uso de las TIC, y se les solicitó que expresen su opinión en cada una de las afirmaciones indicando qué tan de acuerdo se encuentran con cada una de estas; para lo cual se estableció una escala de 1 a 5, donde 1: totalmente en desacuerdo; 2: parcialmente en desacuerdo; 3: ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4: parcialmente de acuerdo y 5: totalmente de acuerdo. Con estas afirmaciones y valoraciones se obtuvo información para establecer qué conocen, qué hacen los profesores, como así también lo actitudinal, como muestra la Fig. 1.

De los datos obtenidos en relación a la escala “totalmente de acuerdo”, las más frecuentes fueron: “las TIC facilitan la generación de estrategias educativas innovadoras” (60%) y “las TIC son un apoyo imprescindible en actividades de construcción colectiva de conocimiento en redes y comunidades de aprendizaje” (47,5%). En el otro extremo de la escala establecida: “totalmente en desacuerdo”, la afirmación: “implementar las TIC en mi asignatura resulta complejo” (27,5%) fue la que presentó mayor proporción. (p. 49-51).

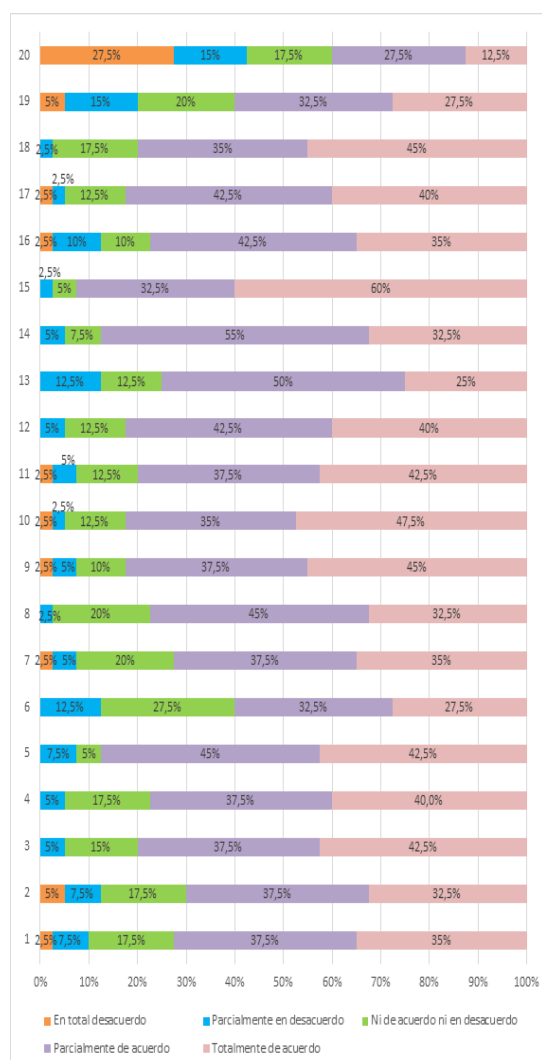


Figura 1. Actitud frente al uso educativo de las TIC (proporciones)

4.2 Integración de las TIC

En relación con la integración de las TIC, por parte del profesorado, como herramienta en la labor docente, Buenader (2020) afirma: “El nivel de formación de los profesores es un factor favorable hacia la utilización de las TIC como herramienta de trabajo”.

Los profesores usan frecuentemente en su labor docente, lo cual coincide con lo que dominan, además del correo electrónico, las herramientas ofimáticas, herramientas de búsqueda de información o recursos para las clases, espacios de administración de archivos; y con una menor frecuencia de uso las plataformas de gestión de aprendizaje, por ejemplo el Aula Virtual de la Facultad.

Los docentes, en sus respuestas, estuvieron totalmente de acuerdo cuando expresaron sus opiniones al inferir sobre una serie de afirmaciones propuestas en que: las TIC facilitan el mejoramiento de la actividad docente, son un apoyo imprescindible en actividades de construcción colectiva de conocimiento en redes y comunidades de aprendizaje, fomentan el trabajo en grupo y colaborativo y son fundamentales en el quehacer y desarrollo profesional docente.

En cuanto a las opiniones registradas, los profesores establecieron que siempre: antes de usar algún recurso TIC en sus clases, se informa y hace pruebas para asegurarse de su utilidad; cuando hace la planificación de las clases, define cuáles TIC puede usar; y usa las TIC en diferentes actividades el proceso de aprendizaje en la/s asignatura/s. (Buenader (2020, p. 55-56)).

4.3 Opiniones

Cabe destacar que, entre los comentarios y opiniones abiertas recabadas, los profesores dejan percibir otras necesidades y posturas relacionadas a sus propios saberes pedagógicos y técnicos como: la necesidad de publicación de diversos usos de TIC por otros profesores o colegas para generar aplicación en otras cátedras; el rol docente es una responsabilidad que exige formación continua en los aspectos pedagógicos y andragógicos; las TIC son una herramienta más, que en situaciones como la pandemia COVID-19 pasan a ser fundamentales para el diseño de este tipo de propuestas virtuales; la presencialidad no puede ser reemplazada por actividad virtual en los trabajos de laboratorio y la evaluación puede ser falseada por un estudiante.

- Se puede apreciar que las actitudes favorables y positivas de los profesores podrían contener a los detractores como a quienes consideran, a las TIC, sus aliadas, realzan sus utilidades y las aceptan; así como aquellos que asumen riesgos pero aún no las usan asiduamente o no las dominan y se encuentran desorientados o muestran predisposición a incorporarse a propuestas para articular o profesionalizar. (p. 55).

5 CONSIDERACIONES FINALES

Muy diversas son las experiencias pedagógicas que coexisten, y dan cuenta que son muchos los desafíos que tiene la comunidad docente e institucional por delante para generar estrategias para la integración y aplicación de las TIC en las prácticas docentes.

Así pues, es preciso planificar, diseñar y complementar la implantación de las TIC con estrategias integradoras y globales que provean coherencia entre los modelos educativos y aspectos puramente tecnológicos para alcanzar excelentes resultados.

En palabras de Gómez y Montero (2015), debe concebirse la virtualidad como un componente necesario en los procesos formativos, desde una visión complementaria e integradora. Empero, en lo que respecta la cuestión pedagógica, es importante preguntarse qué es aquello que se quiere enseñar, para luego diseñar estrategias y elegir las herramientas y recursos que mejor se adapten a la modalidad mediada por tecnologías; pudiéndose considerar como un complemento y/o una extensión y/o apoyo de la clase presencial.

Hoy es el uso inteligente de los instrumentos tecnológicos y, por ende, el acceso a la cultura digital, y que le son propios de nuestros estudiantes, lo que marca la diferencia. Para lo cual, buscar estrategias con el uso de tecnología podría ser para aquellos estudiantes que no disponen de recursos tecnológicos y conectividad en su hogar; además, de estar basada en aptitudes, habilidades y en cómo integrar la tecnología en las aulas; docentes que puedan servir a las necesidades que plantea el aula, y no al revés. Intentando, en lo posible, no profundizar la brecha de desigualdad abierta entre quienes tienen conexión digital y pueden mantener su vínculo con la facultad y aquellos que carecen de conexión y pueden haber perdido el ancla educativa.

Asumiendo las tensiones y entre los retos que se tiene y debe hacer frente es trabajar con la modalidad mediada por tecnologías pudiendo, así, sacar aún más provecho de las herramientas y recursos tecnológicos y educativos; utilizar todas las herramientas disponibles para ampliar las oportunidades de conexión en pos de desarrollar competencias y habilidades en nuestros estudiantes que puedan aplicar en la vida. En virtud que, vamos hacia un sistema mixto donde lo presencial y lo virtual adquieren una nueva significación y nos tenemos que ir preparando para este nuevo escenario.

Teniendo en cuenta que, la calidad que tiene la presencia del docente en el aula se verá enriquecida por el uso de los recursos tecnológicos; como así, replantear el uso de la bimodalidad, ya que los recursos tecnológicos estarán presentes en nuestras aulas.

6 REFERENCIAS

- Borgobello, A., Madolesi, M., Espinosa A., Sartori, M. Uso de TIC en prácticas pedagógicas de docentes de la Facultad de Psicología de una universidad pública argentina. *Revista de Psicología*, Lima, v. 37, n. 1, p. 279-317, 2019. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-92472019000100011&lng=es&nrm=iso, accedido el 21 sept. 2020. <http://dx.doi.org/10.18800/psico.201901.010>.
- Buenader, A. El uso e integración de las TIC en la formación del Ingeniero en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. (Tesis de Maestría, FUNIBER - Universidad Internacional Iberoamericana - UNINI (México) y Universidad Europea del Atlántico (Santander, España)), 2020.
- Comoglio, M. et al. Determinación de factores estratégicos en la implementación de un modo blended learning en carreras de ingeniería orientado a mejorar los indicadores académicos. XII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (TE&ET), La Matanza, 2017.
- Gómez, S.M. y Montero Caicedo, L., Estudiar Carreras Universitarias en Modalidades E-learning y B-learning, *Revista Lasallista de Investigación*, 12(2), 94-104, 2015

- Henry, J., Meadows, J. Un curso virtual totalmente fascinante: nueve principios para la excelencia en la enseñanza en línea. *Revista Canadian Journal of Learning and Technology*, V34(1), 2008.
- Kap, M. Conmovidos por las tecnologías. Pensar las prácticas desde la subjetividad docente. Buenos Aires: Prometeo, 2014.
- Litwin, E. (comp). *La Educación a Distancia. Temas para el debate en una nueva agenda educativa*. Buenos Aires: Amorrortu, 2000.
- Maggio, M. Enriquecer la enseñanza: los ambientes con alta disposición tecnológica como oportunidad. 1º ed. Buenos Aires: Paidós, 2012.
- Tarasow, F. ¿De la educación a distancia a la educación en línea? ¿Continuidad o comienzo? en *Diseño de Intervenciones Educativas en Línea, Carrera de Especialización en Educación y Nuevas Tecnologías*. PENT, Flacso Argentina. Módulo: Diseño de intervenciones educativas en línea.
<http://www.pent.org.ar/institucional/publicaciones/educacion-distancia-educacion-linea-continuidad-comienzo>, 2010.

Rediseño del Programa de Probabilidad y Estadística de carreras de Ingeniería para potenciar el aprendizaje por competencias

Lazarte, Ivanna Maricruz¹ y Díaz, María Cristina¹

(1) *Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.*
ilazarte@tecno.unca.edu.ar; mcd.ing.agr@gmail.com

RESUMEN

Los sistemas de educación superior, en respuesta a las demandas sociales del siglo XXI, han fijado como prioridad estratégica elevar la calidad de su enseñanza. Se entiende por enseñanza de calidad aquella que logra un aprendizaje integral y profundo por parte de los estudiantes y alcanza las metas establecidas, donde ya no se apunta solo al conocimiento sino también a formar ciudadanos y profesionales que puedan actuar de manera inteligente, creativa, sensible, responsable y autónoma. Ello requiere contar con un modelo educativo centrado en la formación integral del estudiante, donde las disciplinas propicien la generación del conocimiento a partir de actividades de aprendizaje que tomen en cuenta la cotidianeidad a través de la búsqueda de soluciones a los problemas que ofrecen los contextos social y natural en que vive. En tal sentido, el CONFEDI propone un nuevo modelo de enseñanza de la ingeniería centrado en el estudiante. En el presente trabajo, se propone el rediseño del Programa de la asignatura Probabilidad y Estadística, basado en la potenciación del aprendizaje por competencias, integrando las mismas en los elementos curriculares para propiciar una renovación en la práctica docente y en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

ABSTRACT

Education systems, at University level, in response to 21st century social demands, have set as a strategic priority to improve their teaching quality. Quality teaching is understood as the one accomplishing comprehensive and deep learning by students and achieving established goals. The aim is not only to generate knowledge but also to train citizens and professionals, in order to act in an intelligent, creative, sensitive way, and to behave responsibly and autonomously. This requires having an educational model focused on the students' comprehensive training, where disciplines promote knowledge generation from learning activities that take into account daily life through the search for solutions to social and natural contextual problems. In this sense, CONFEDI proposes a new student-centered teaching model for engineering careers. In this work, the syllabus of the subject Probability and Statistics is redesigned, focused on the enhancement of learning by competencies, which are part of the curricula. The idea is to promote a renewal in the teaching practice and in the teaching and learning processes.

Palabras claves: Probabilidad y Estadística - Rediseño del programa - Enseñanza basada en competencias - Aprendizaje centrado en el estudiante

Keywords: Probability and statistics - Program redesign - Competency-based teaching - Student-centered learning

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los sistemas de educación superior del siglo XXI están siendo sometidos a fuertes presiones para elevar la calidad de su enseñanza hasta el punto que ésta se ha convertido en su prioridad estratégica. Guzmán (2011) describe a la enseñanza de calidad en la educación superior como aquella que logra un

aprendizaje profundo por parte de los estudiantes y alcanza las metas establecidas para este nivel. Para ello, como señala Del Regno (2011), es importante que los docentes puedan reflexionar y fundamentar didácticamente la selección y planteo de sus estrategias de enseñanza, con la necesaria coherencia y pertinencia entre los objetivos, contenidos, la metodología y los recursos que se emplean. Anijovich (2009) define

a las “estrategias de enseñanza como el conjunto de decisiones que toma el docente para orientar la enseñanza con el fin de promover el aprendizaje de sus estudiantes. Se trata de orientaciones generales acerca de cómo enseñar un contenido disciplinar considerando qué queremos que nuestros alumnos comprendan, por qué y para qué.”

Anijovich (2009) afirma además que las estrategias de enseñanza que un docente elige y utiliza inciden en: (a) los contenidos que transmite a los estudiantes; (b) el trabajo intelectual que estos realizan; (c) los hábitos de trabajo, los valores que se ponen en juego en la situación de clase; y (d) el modo de comprensión de los contenidos sociales, históricos, científicos, artísticos, culturales, entre otros.

Según Del Regno (2011), estas estrategias de enseñanza que desarrolla el docente también tienen un sustento en los objetivos y contenidos curriculares que se plantean en la enseñanza y se efectivizan en determinadas maneras de actuar, formas de seleccionar y presentar los contenidos de enseñanza, así como en modos de plantear determinadas metodologías didácticas, recursos y determinadas propuestas de actividades para los estudiantes, dentro de un contexto específico (institucional, áulico, social).

Por otro lado, además de la calidad educativa, en la escuela del siglo XXI, se demanda formar al ciudadano para que pueda actuar de manera inteligente, creativa, sensible, responsable y autónoma en esta sociedad del conocimiento. Esto conlleva a pensar en una educación auténtica, es decir, según lo expresa Ferreyra (2008), aquella que promueva *aprender a aprender, aprender a convivir y aprender a emprender*, a partir de una buena enseñanza.

De acuerdo con García Retana (2014), todo esto requiere de un modelo educativo que centre sus esfuerzos en la formación integral del estudiante partiendo de la realidad que ofrecen los contextos social y natural en que vive, de manera tal que las distintas disciplinas propicien la generación del conocimiento a partir de actividades de aprendizaje que tomen en cuenta la cotidianidad a través de la búsqueda de soluciones a los problemas que se enfrentan. Esto hizo que se debieran replantear el papel de todas las áreas de formación universitaria, incluyendo la Ingeniería. En tal sentido, desde la década del 90, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) viene trabajando en la Modernización de la

Enseñanza de la Ingeniería, definiendo el perfil del Ingeniero Argentino, el modelo de formación de ingenieros, un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante; y los estándares de acreditación para el aseguramiento de la calidad. Este nuevo modelo de enseñanza de la ingeniería propone un currículo con un balance equilibrado de competencias y conocimientos académicos, científicos, tecnológicos y de gestión, con formación humanística, como se expone en CONFEDI (2017, 2018).

2. MODELO DE APRENDIZAJE CENTRADO EN EL ESTUDIANTE

El modelo de aprendizaje centrado en el estudiante que propone CONFEDI (2017) está cimentada en un enfoque de enseñanza basada en competencias, la cual es una nueva orientación educativa que pretende dar respuestas a la sociedad de la información.

Según la definición dada por el CONFEDI (2017), una competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales.

La construcción de competencias no puede realizarse de manera aislada, sino a partir de una educación flexible y permanente, desde una teoría explícita de la cognición, dentro del marco conceptual de la institución, en un entorno cultural, social, político y económico. Las competencias, igual que las actitudes, no son potencialidades a desarrollar porque no son dadas por herencia ni se originan de manera congénita, sino que forman parte de la construcción persistente de cada persona, de su proyecto de vida, de lo que quiere realizar o edificar y de los compromisos que derivan del proyecto que va a realizar. La construcción de competencias, como señala Vázquez (2001), debe relacionarse con una comunidad específica, es decir, desde los otros y con los otros (entorno social), respondiendo a las necesidades de los demás y de acuerdo con las metas, requerimientos y expectativas cambiantes de una sociedad abierta.

Desde el currículum, la enseñanza basada en competencias se concentra en los conocimientos; las habilidades; las actitudes inherentes a una competencia (actitudes o comportamientos que respondan a la disciplina y a los valores) y la

evaluación de los logros mediante una demostración del desempeño o de la elaboración de un producto, según sostiene Vázquez (2001).

Por lo que, considerando lo que plantea Vázquez (2001), un currículo definido en términos de competencias debe tomar en cuenta: el diseño de la enseñanza y el aprendizaje; las competencias que se van a construir; las disciplinas como marco de referencia del aprendizaje; las habilidades a desarrollar; la promoción de actitudes relacionadas con los valores y con las disciplinas; los procesos; los programas de estudio orientados a los resultados; el diagnóstico; la evaluación inserta en el aprendizaje, en múltiples escenarios y en diversas situaciones, basada en el desempeño y como una experiencia acumulativa, la retroalimentación, la autoevaluación; los criterios que se utilicen para evaluar los desempeños o resultados; el seguimiento y la interacción social.

En la enseñanza basada en competencias, la evaluación de las competencias representa un importante punto de inflexión con respecto al funcionamiento actual de la evaluación de los estudiantes, ya que se requieren de sistemas que garanticen que ellos han alcanzado las competencias. La evaluación pasa a entenderse como un elemento que tiene que servir, sobre todo, para potenciar el aprendizaje del estudiante; ello implica darle un carácter eminentemente pedagógico y concebirla como estrategia de formación en sí misma. Así, se pasa de un modelo de formación en que la evaluación tiene un papel sumativo -con la consiguiente calificación del estudiante como indicador de superación o no de una asignatura-, a entender la evaluación como parte integrante del proceso de aprendizaje que, sin perder la función sumativa, tiene que servir también -y sobre todo- como herramienta para indicar al estudiante los puntos fuertes y débiles de su proceso de aprendizaje. Pallisera Díaz (2010) considera que sólo de esta manera el estudiante podrá reorientar o mejorar su aprendizaje.

Pallisera Díaz (2010) además sostiene que la evaluación debe ser auténtica. Para ello, debe ser una evaluación contextualizada, en la cual se observan las ejecuciones del estudiante en un contexto de prácticas, en una situación de resolución de problemas o de estudio de casos. Esta evaluación contextualizada permite evaluar el uso que el estudiante hace del conocimiento.

Por lo expresado, y teniendo en cuenta a Pallisera Díaz (2010), puede decirse que cambiar el

enfoque de enseñanza tradicional a una enseñanza basada en competencias representa un gran reto para el docente, ya que debe formular las competencias, traducirlas en contenidos de enseñanza (conocimientos, habilidades y actitudes); planificar la enseñanza de forma que se dirija específicamente a esta diversidad de contenidos y que prevea actividades no sólo de aprendizaje sino también de evaluación, tanto de los conocimientos como de las habilidades y las actitudes.

3. LAS COMPETENCIAS EN LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA EN ARGENTINA

La enseñanza basada en competencias en carreras de Ingeniería sigue los lineamientos definidos por el CONFEDI. El marco de formación del ingeniero argentino toma como base el documento del Perfil del Ingeniero Iberoamericano, aprobado por la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería, ASIBEI (2016).

En CONFEDI (2017) se manifiesta que el ingeniero argentino deberá formarse en diferentes etapas de aprendizaje, de modo de desarrollar las habilidades, destrezas y valores necesarios del nuevo profesional que requiere la sociedad y el mundo del trabajo en las primeras décadas del siglo XXI. Estas podrán desarrollarse en diferentes ámbitos y podrán ser certificadas y reconocidas por la institución en el marco de las actividades curriculares de la carrera.

De acuerdo con CONFEDI (2017, 2018), las competencias que el ingeniero deberá adquirir son: Genéricas; Específicas y Laborales

-Competencias genéricas (CG): estas 10 competencias deben desarrollarse a lo largo de todas las carreras de ingeniería, en todas las terminales.

o *Competencias tecnológicas*

CG1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

CG2. Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.

CG3. Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería.

CG4. Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.

CG5. Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas.

○ *Competencias sociales, políticas y actitudinales*

CG6. Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.

CG7. Comunicarse con efectividad.

CG8. Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.

CG9. Aprender en forma continua y autónoma.

CG10. Actuar con espíritu emprendedor.

- Competencias específicas (CE): el graduado deberá poseer los conocimientos especializados, las aptitudes y las actitudes necesarias para realizar labores concretas propias de una terminal. Las competencias específicas para cada carrera están definidas en CONFEDI (2018).
- Competencias laborales (CL): aquellas que son la articulación de conocimientos, aptitudes y actitudes para el mundo del trabajo. Forman parte de la dimensión profesional definida en el Perfil del Ingeniero Iberoamericano.

4. PROPUESTA DE ENSEÑANZA BASADA EN COMPETENCIAS DE LA ASIGNATURA PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA

Cambiar el enfoque de enseñanza basada en contenidos de la asignatura Probabilidad y Estadística a una enseñanza basada en competencias, conduce a considerar en la formación del estudiante los contenidos académicos, los procedimentales y los actitudinales que están relacionados con el desarrollo de las competencias. Significa planificar la enseñanza considerando la diversidad de contenidos y previendo actividades no sólo de aprendizaje sino también de evaluación. Esta propuesta abarca el rediseño del Programa de la asignatura, la determinación de las estrategias metodológicas a desarrollar y los correspondientes materiales y recursos didácticos. El rediseño del Programa de la asignatura para transitar a una enseñanza basada en competencias, pretende la potenciación del aprendizaje, integrando las competencias en los elementos curriculares, propiciando una renovación en la práctica docente y en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esto supone planteamientos metodológicos innovadores e

importantes cambios en las tareas que deberán desarrollar los estudiantes.

Para establecer la nueva estructura del Programa, se consideraron los componentes de la agenda didáctica para los procesos de enseñanza y aprendizaje: fundamentación; competencias; contenidos conceptuales, contenidos actitudinales y procedimentales; actividades; estrategias metodológicas; recursos; evaluación y bibliografía. Además, se analizaron varios programas de universidades europeas que tienen vasta experiencia en la enseñanza basada en competencias. En la tabla 1, se muestra la nueva estructura del Programa de la asignatura. En las siguientes secciones se describen las partes más importantes de esta estructura.

Tabla 1. Estructura propuesta del Programa siguiendo un enfoque de enseñanza basado en competencias

DATOS GENERALES DE LA ASIGNATURA Contiene información sobre el área, curso, plan, régimen, cuerpo docente, carga horaria, correlatividades.
PRESENTACIÓN Contiene la fundamentación, caracterización de la asignatura, intención didáctica, ubicación en el plan de estudios, relación con otras asignaturas. Prerrequisitos y recomendaciones.
COMPETENCIAS A DESARROLLAR Se especifican las competencias específicas y las competencias genéricas, que se agrupan en competencias sociales y actitudinales, competencias metodológicas, y competencias científico-técnicas. También se especifican los resultados de aprendizaje.
CONTENIDOS Se describen los bloques de contenido, la secuencia temática por bloque y total de horas por bloque.
METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA/ APRENDIZAJE. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE Se definen la distribución horaria, las actividades formativas de enseñanza y aprendizaje, materiales y recursos didácticos.
EVALUACIÓN Se establecen los criterios de evaluación, el sistema de evaluación con las competencias a evaluar y la relación entre bloques, actividades formativas y evaluación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Se detalla la bibliografía básica y complementaria utilizada por la cátedra.

RECURSOS EN RED Y OTROS RECURSOS

Se detallan los recursos utilizados por la cátedra.

4.1 Competencias a Desarrollar

En esta sección de la estructura propuesta (ver tabla 1) se especifican las competencias genéricas (Sección 3) a desarrollar en los estudiantes. Para la asignatura Probabilidad y Estadística son:

Competencias tecnológicas: CG1.

Competencias sociales, políticas y actitudinales: CG6, CG7 y CG9.

También se indican las competencias a desarrollar específicas de la asignatura establecidas por el CONFEDI (2005), a saber:

- CEA1: Planificar y ejecutar estrategias para la resolución de problemas relacionados con Estadística.
- CEA2: Utilizar, interpretar y elaborar diferentes representaciones utilizando distintos registros y lenguajes: tablas numéricas a partir de conjuntos de datos, gráficas o expresiones funcionales.
- CEA3: Utilizar tecnología informática para el análisis y la resolución de problemas vinculados con Estadística.

Para cada una de las competencias específicas, se identifican los conocimientos, habilidades, actitudes y valores relacionados que permiten la organización curricular de la asignatura y la planificación de la evaluación de las competencias.

En esta sección también se definen los resultados de aprendizaje de la asignatura, los cuales son:

- RA1: Resumir mediante distintas medidas, tablas y gráficos la información contenida en un conjunto de datos estadísticos.
- RA2: Describir las principales distribuciones de probabilidad y discernir en cada situación concreta cuál de ellas modela mejor un fenómeno aleatorio dado.
- RA3: Distinguir y ser capaz de medir y modelar las diferentes formas de relación entre dos variables aleatorias.
- RA4: Estimar y contrastar el valor de los diferentes parámetros que conforman un modelo probabilístico, así como obtener márgenes de error para dichas estimaciones.

- RA5: Aplicar las técnicas existentes de comparación y diseño de experimentos en la búsqueda de soluciones eficientes a diversos problemas propios de la ingeniería.
- RA6: Construir modelos probabilísticos que permitan predecir el comportamiento de una variable aleatoria a partir del estudio de un conjunto de indicadores.
- RA7: Evaluar la calidad de un producto o sistema de producción mediante técnicas estadísticas.

4.2 Contenidos

Para la estructuración de los contenidos (ver tabla 1) se deben considerar los contenidos curriculares prescriptos por el CONFEDI (2015). En este caso, los contenidos se organizaron en cinco bloques, cada uno con sus correspondientes secuencias temáticas, que se detallan a continuación:

Bloque I: Estadística Descriptiva

–Secuencia Temática 1: Introducción a la Estadística y Análisis de Datos.

Bloque II: Probabilidad y Variables Aleatorias

–Secuencia Temática 2: Probabilidad.

–Secuencia Temática 3: Variable Aleatoria y Distribuciones de Probabilidad.

–Secuencia Temática 4: Distribuciones de Probabilidad Conjunta.

Bloque III: Estadística Inferencial

–Secuencia Temática 5: Muestra Aleatoria y Distribuciones de Muestreo.

–Secuencia Temática 6: Estimación de Parámetros.

–Secuencia Temática 7: Prueba de Hipótesis.

Bloque IV: Modelos de Regresión

–Secuencia Temática 8: Análisis de Regresión Correlación.

Bloque V: Control Estadístico de Calidad

–Secuencia Temática 9: Control Estadístico de Calidad.

Además, en esta sección de la estructura propuesta del Programa (ver tabla 1) se especifica el total de horas teóricas/prácticas asignada a cada bloque.

4.3 Metodologías de Enseñanza y Aprendizaje. Actividades de Aprendizaje

Es importante que, al elaborar el diseño del Programa, además de los contenidos de la asignatura, se precisen las modalidades de enseñanza que se van a utilizar para organizar la

trayectoria curricular, junto con los métodos de enseñanza necesarios para que los estudiantes adquieran los aprendizajes establecidos.

Como se muestra en la tabla 2, en esta sección se indican las modalidades de enseñanza (clasificadas de acuerdo a su carácter presencial o no presencial) utilizados en la cátedra, que se consideran más adecuadas para la consecución de las competencias requeridas, junto con los métodos de enseñanza utilizados, sugeridas por De Miguel Díaz (2005) para el ámbito universitario (ver tabla 2).

4.4 Evaluación

En esta sección del Programa se planifican las actividades de evaluación por competencias que se llevarán a cabo a través de la constatación de los desempeños académicos logrados por el estudiante; serán continuas, formativas, contextualizadas e integradoras, considerando el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje.

Tabla 2. Modalidades de enseñanza y Métodos de enseñanza

Modalidades de enseñanza	Métodos de enseñanza
Presenciales	
Clases Teóricas	Método expositivo/Lección magistral
Clases Prácticas	Resolución de ejercicios y problemas, Aprendizaje basado en problemas, Estudio de casos
Talleres	Estudio de caso, Aprendizaje basado en problemas, Aprendizaje cooperativo.
Tutorías	Contrato de aprendizaje
No presenciales	

Estudio y trabajo en grupo	Aprendizaje orientado a proyectos, cooperativo Aprendizaje
Estudio y trabajo autónomo, individual	Resolución de ejercicios y problemas, Contrato de aprendizaje

Con el fin de observar el grado de adquisición de las competencias y resultados de aprendizaje de la asignatura, se establecen los siguientes criterios de evaluación:

- CE1: Muestra capacidad de utilizar con éxito los conceptos y técnicas de Probabilidad y Estadística.
- CE2: Modela, con suficiente soltura, situaciones y problemas concretos.
- CE3: Resuelve los problemas de modo satisfactorio, comprendiendo, razonando, argumentando y justificando los pasos que realiza en su resolución.
- CE4: Interpreta y utiliza correctamente los resultados obtenidos luego de un proceso de modelización.
- CE5: Identifica y discrimina las limitaciones y posibilidades del uso de la Estadística y del cálculo de Probabilidades.
- CE6: Aplica un sentido crítico durante el análisis de una situación o problema.
- CE7: Expone con claridad los procesos realizados durante las pruebas, ejercicios y trabajos.

En esta sección también se detallan los métodos de enseñanza y las actividades de enseñanza definidos para cada bloque. En la tabla 3, se muestra como ejemplo el bloque I.

En la tabla 4 se muestra un extracto del sistema de evaluación, donde se relacionan los instrumentos de evaluación con las competencias a evaluar, los resultados de aprendizaje y los criterios de evaluación, especificando el peso de cada instrumento de evaluación en la calificación final.

Tabla 3. Métodos de enseñanza y actividades de enseñanza definidos por bloque

Bloque	Métodos de enseñanza	Actividades de aprendizaje

I: Estadística Descriptiva	<ul style="list-style-type: none"> ● Método expositivo/Lección magistral ● Resolución de ejercicios y problemas ● Aprendizaje basado en problemas ● Estudio de casos ● Aprendizaje orientado a proyectos ● Aprendizaje cooperativo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Analizar y discutir en grupo los conceptos de estadística. ● Realizar un mapa conceptual de los principales conceptos. ● Determinar las medidas de tendencia central, de posición y de dispersión; investigar e identificar en grupo su aplicación en distintas áreas. ● Realizar un trabajo de investigación de campo para obtener datos estadísticos. ● Realizar tablas de distribución de frecuencias, calcular las medidas de tendencia central, de posición y de dispersión y presentar los resultados, junto a diferentes gráficas. ● Realizar un trabajo de investigación de campo para obtener datos estadísticos, utilizando el software InfoStat
----------------------------	--	---

Tabla 4. Relación entre algunos instrumentos de evaluación con las competencias a evaluar, los resultados de aprendizaje y los criterios de evaluación.

Instrumento de evaluación	Descripción	Competencia	Resultado Aprendizaje	Criterios de Evaluación	Peso en la calif.
<i>Evaluación continua</i>					
Evaluación Parcial	3 (tres) Pruebas de Evaluación Parcial (individual, escrita y presencial) en las que deberán resolver 4 problemas para evaluar las competencias asociadas a la adquisición de conocimientos fundamentales. La primera se realizará al terminar los bloques de contenido I y II, la segunda se realizará al finalizar el bloque III, y la tercera al finalizar los bloques IV y V Cada prueba se aprobará con nota mínima de 5 (cinco) y cada uno tendrá su correspondiente recuperatorio.	CEA1 y CEA2	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6 y RA7	CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6 y CE7	40%
Autoevaluación	10 (diez) Pruebas Autoevaluación Intermedia (individual, virtual). Estas pruebas se realizarán al finalizar cada secuencia temática usando la herramienta Cuestionario del aula virtual	CEA1 y CEA2	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6 y RA7	CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6 y CE7	10%
Proyecto de Uso de Software Estadístico	1 (un) proyecto (grupal, semipresencial) donde el grupo deberá realizar un análisis estadístico de datos de su campo mediante uso de software estadístico.	CG1, CG6, CG7, CG9, CEA1, CEA2 y CEA3	RA1	CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6 y CE7	15%
Participación Activa	Se evaluará la participación del estudiante a lo largo de la cursada, basada en la asistencia e implicación del estudiante en las clases, debates, ejercicios y trabajos que pudieran solicitarse.	CG6, CG7 y CG9	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6 y RA7	CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6 y CE7	10%

5. CONCLUSIONES

Desde su creación, CONFEDI ha trabajado para el aseguramiento de la calidad y mejora de la educación en ingeniería. En los últimos años, viene trabajando en un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante establecido en un enfoque de enseñanza basada en competencias.

Como un primer paso en la transición de una enseñanza basada en contenidos a una enseñanza basada en competencias, desde la cátedra Probabilidad y Estadística se ha planteado el rediseño del Programa. En virtud de ello se plantea:

a) Integrar las competencias ya definidas en los elementos curriculares, por lo que la estructura del programa propuesto, apunta a:

- más a la práctica que al contenido, facilitando en todo momento que los contenidos se integren a las prácticas y que se puedan aplicar a situaciones complejas
- a contenidos enseñables, aprendibles y sobre todo evaluables.
- a favorecer en el estudiante la autonomía de aprendizaje, el desarrollo de capacidades y la generación de actitudes concretas de transformación.
- a una evaluación que atraviesa los aspectos cognitivos, relacional, actitudinal, relacional y que se instalan en distintos momentos del desarrollo de la asignatura.

b) Una renovación en la práctica docente y en los procesos de enseñanza y aprendizaje, lo cual implica:

- incorporar nuevos paradigmas en el pensar y en el planificar.
- introducir radicales cambios en las metodologías de enseñanza y evaluación.
- concebir un docente facilitador del aprendizaje y mediador entre el saber y los estudiantes.
- conjugar “el saber y el hacer” e incorporar el desarrollo de las competencias transversales (genéricas), que se identifican como “aprender a aprender”, “aprender a comunicarse”, “aprender a hacer”, aprender los contenidos actitudinales y procedimentales comunes a distintas asignaturas.

En síntesis, este primer paso hacia la aplicación del enfoque de enseñanza basada en competencias, supone planteamientos metodológicos innovadores e importantes cambios en las tareas que deberán desarrollar los estudiantes.

Así mismo, representa un importante desafío: lograr una mayor coordinación entre las asignaturas y cursos, en relación a las competencias genéricas que deben desarrollarse a lo largo de todas las carreras de ingeniería.

Esta propuesta, por tanto, enriquece y retroalimenta considerablemente el actual programa y lejos de efectuar una contradicción de fondo, lo convierte en una motivación para la formación profesional docente, más actualizada y de mayor calidad.

Por otra parte, es importante resaltar que, con todo lo expuesto se advierte que, trabajar con un enfoque de enseñanza basado en competencias, exige una mayor implicación del docente en la docencia, lo cual podría disminuir su productividad en investigación y extensión.

6. REFERENCIAS

- Anijovich, R. & Mora, S. *Estrategias de enseñanza: otra mirada al quehacer en el aula*. Argentina: Aique, 128p, 2009.
- ASIBEI. *Competencias y Perfil del Ingeniero Iberoamericano, Formación de Profesores y Desarrollo Tecnológico e Innovación*. Documentos Plan Estratégico ASIBEI, 56p, 2016.
- CONFEDI. *Marco conceptual y definición de estándares de acreditación de las carreras de ingeniería*. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, 2017.
- CONFEDI. *Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina*. “Libro Rojo de CONFEDI”. Universidad FASTA Ediciones, Argentina, 2018.
- CONFEDI. *Proyecto Estratégico de Reforma Curricular de las Ingenierías 2005-2007*. XXXVII Reunión Plenaria, Santa Fe, Argentina, 35p, 2005.
- De Miguel Díaz, M. *Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias: orientaciones para promover el cambio metodológico en el espacio europeo de educación superior*. Oviedo (Asturias): Ediciones de la Universidad de Oviedo, 197p. 2005.
- Del Regno, P. M. *Estrategias de enseñanza del profesor en el aula de nivel superior. Desafíos para la didáctica y la formación docente de dicho nivel*. *Anuario de Investigaciones en*

- Ciencias de la Educación*, Argentina, 288-303, 2011.
- Ferreira, H. A., Orrego, S. A., Peretti, G. C., Fontana, M. Y., Pasut, M., Seara, R. D. C., & Millen, D. M. De aprendizajes, competencias y capacidades en la educación primaria. Desandando caminos para construir nuevos senderos... *Revista Iberoamericana de educación*, v.3, n.47, 1-13, 2008.
- García Retana, J. Á. Ingeniería, matemáticas y competencias. *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, v.14, n.1, 1-29, 2014.
- Guzmán, J. C. La calidad de la enseñanza en educación superior ¿Qué es una buena enseñanza en este nivel educativo? *Perfiles educativos*, México, v.33, 129-141, 2011.
- Pallisera Díaz, M., Fullana Noell, J., Planas Lladó, A., & Valle Gómez, A. D. La adaptación al espacio europeo de educación superior en España: los cambios/retos que implica la enseñanza basada en competencias y orientaciones para responder a ellos. *Revista Iberoamericana de Educación*, v.52, n. 4, 1-13, 2010.
- Vázquez, Y. A. Educación basada en competencias. *Educar: Revista de educación: nueva época*, v.16, n.1, 2001.

Repensando paradigmas educativos en tiempos de pandemia

Moraga, Norma^{1,2}; Aparicio, María Alejandra¹; Zacur, Sofía¹; Aramayo, Ignacio^{1,2}; Güizzo, María Virginia^{1,2}; Vargas, Milton René¹ y Moraga, Norma^{1,2}

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta (UNSa).

(2) INIQUI-CONICET.

normoraga@gmail.com

RESUMEN

En las últimas décadas, hubo significativos avances tecnológicos que tuvieron cierto impacto en la educación. Aún así, hace más de dos siglos que el sistema educativo universitario mantiene inmutables ciertas prácticas, fundamentalmente las relacionadas con la evaluación. Las situaciones límites imponen replanteos profundos de porqué, para qué, cómo hacemos lo que hacemos, y en el contexto de la pandemia por el COVID-19 el modelo educativo (en todos sus niveles), también fue interpelado. Nos invitó a repensar los paradigmas vigentes, replantearlos y formular nuevas alternativas, que aún cuando no resulten eficaces, son un cambio de rumbo hacia un nuevo modelo pero que se ajuste al nuevo contexto y brinde respuestas que no podrían darse con los paradigmas antiguos. En estas nuevas condiciones, la cátedra de Química General de la Facultad de Ingeniería de la UNSa, reformuló rápidamente sus prácticas y formas de evaluarlas, con las dificultades inherentes a una asignatura de primer año y basada en la experimentación. Los resultados de los cambios implementados, comparados con los del año anterior y considerando la respuesta de los estudiantes, son alentadores no sólo por habernos permitido continuar exitosamente con el dictado de la asignatura, sino para seguir profundizándolos a futuro.

ABSTRACT

In the last decades there have been significant technological advances which had some impact on education. Even so, for more than two centuries, university educational system has maintained constant certain practices, mainly those related to evaluation. The extreme situation imposed by the COVID-19 pandemic, took us to a deep rethinking of how, why, what for, and why we do what we do at all educational levels. It invited us to rethink current paradigms and formulate new alternatives, which even when they are not effective, means a course change towards a new model that adjusts to the new context and provides answers that could not be given with the old paradigms. In this context, General Chemistry Chair in the Engineering School in Salta National University, quickly reformulated its practices and ways of evaluating them, with the difficulties inherent to a first-year subject based on experimentation. Results of the implemented changes, compared to those of the previous year, and considering the students response, are encouraging not only because they have allowed us to continue teaching successfully the subject, but also to continue deepening them in the future.

Palabras claves: (Evaluación-Virtualidad-Experimentación-Química)

Keywords: (Evaluation-Virtuality-Experimentation-Chemistry)

1. INTRODUCCIÓN

En el sistema educativo en general, sin importar los niveles, existe una serie de ideas muy arraigadas que, en su conjunto, conforman *el paradigma* de la educación de los últimos siglos, aún cuando los contextos sean radicalmente diferentes, sobre todo en los últimos 50 años, tan

influenciados por los avances tecnológicos que trascienden disciplinas, culturas y fronteras. Esto probablemente tenga que ver con que los educadores actuales (en su mayoría formados en el siglo pasado), trabajamos con potentes herramientas de este siglo e intentamos formar

profesionales que se desarrollarán en los próximos 50 años.

El contexto de la pandemia por el COVID-19 nos llevó a los profesionales formados en el siglo pasado a replantearnos ideas profundamente arraigadas, prácticas que, inconscientemente, venimos repitiendo más allá de nuestro manejo tecnológico, de nuestra permanente capacitación, incluso de nuestras ganas y convicciones. Porque esto no se trata de cuestiones o creencias personales sino de acuerdos y convencimientos colectivos que permitan, faciliten, avalen y respalden los cambios de paradigmas.

Probablemente, el elemento más disruptivo de este contexto, más aún que el de la inclusión (Rueda Chuquillanqui, 2019) fue la evaluación y su validación (García-Peñalvo, 2020). Algunas ideas respecto a *evaluación presencial individual* que esta situación nos invitó a repensar fueron las siguientes:

1- *“Es la mejor forma (validada) de asegurarnos que nuestros alumnos aprendieron”*

¿Aprender es reproducir? Esta pregunta apunta a los docentes en sus formas de evaluar y también a lo que se les pide a los estudiantes en los exámenes. En general nuestros exámenes (aún sin quererlo), apelan más a la memoria que al razonamiento. Si bien la memoria es fundamental en los procesos de aprendizaje, también nos permite retener muchos conceptos, sin que necesariamente sepamos bien cómo aplicarlos (Moraga, 2018). Muchos animales pueden repetir y adquirir habilidades desde lingüísticas hasta motrices. Los loros por ejemplo pueden repetir sonidos e incluso saber en qué contexto reproducirlos, pero no entienden qué significan realmente. Los monos por su parte, pueden además adquirir destrezas motrices como las de utilizar armas, lo que no implica que sepan en qué contexto usarlas (Barrena, 2012). ¿No es mejor evaluar las destrezas y habilidades del aprendizaje autónomo? ¿De búsqueda de información académicamente confiable?

2- *“Las herramientas virtuales no permiten comprobar que los estudiantes resuelven solos”*

En general nuestros conocimientos y “creencias” sobre las posibilidades de las plataformas virtuales educativas (aun cuando las usemos desde hace tiempo) están desactualizados, no por falta de capacidad o ambición, sino porque la tecnología avanza más rápido que nuestras capacidades cognitivas y de consumo (Martínez,

2008). Actualmente la mayoría de las plataformas educativas (*Moodle, Edmodo*, entre otras) son realmente muy potentes y ofrecen múltiples formas de generar diversos instrumentos de evaluación fiables. Todo depende de lo que queramos evaluar y entonces configuremos en consecuencia, a sabiendas de todos los recursos de los que disponemos en ellas.

Probablemente, al principio, armar estas evaluaciones demande más tiempo del acostumbrado, porque más allá de conocer la versatilidad de las herramientas, implica fundamentalmente pensar ¿qué queremos evaluar? Cómo evaluar dependerá de qué competencias queremos corroborar que nuestros estudiantes adquirieron en cada instancia de nuestra asignatura.

3- *“No hay otra forma de asegurarnos que no se copian”*

Es increíble la habilidad que tienen los estudiantes para copiarse en situaciones aparentemente imposibles en la presencialidad. Así como es increíble ver cuantos profesionales plagian o inventan resultados (Cho y col, 2020). A esto debe sumarse que existe todo un desarrollo de logística de los profesores de asignaturas numerosas (al menos es nuestra experiencia en la cátedra de Química General), para evitar que los estudiantes se copien en instancias presenciales masivas.

¿Y si en vez de negar que esto sucede, pensamos, diseñamos y configuramos evaluaciones que contemplen situaciones colaborativas? O bien de búsqueda de información confiable que aporte a las competencias de búsqueda, de trabajo en equipo y de ética profesional. Claro que una u otra opción dependerá de la competencia a evaluar. No es lo mismo evaluar los conocimientos generales de la asignatura, de un tema o la adquisición de una habilidad motriz.

Estamos en un mundo híper conectado y nosotros como profesionales todo el tiempo consultamos con nuestros pares, buscamos información académicamente confiable (y *googleamos* para empezar esa búsqueda). De hecho, la comunidad científica avala esta interacción, al punto que para publicar debemos ser evaluados por pares y nuestros resultados deben contrastarse con demás científicos del área. El reconocimiento y aval de la comunidad científica permite que avancemos como sociedad más rápido y con más solidez (Fernández Aprile, 2020).

1.1 Contexto

Química General es una asignatura de primer año, común a todas las carreras de Ingeniería que se dictan en la Facultad y correspondiente al 2° cuatrimestre, con redictado en el primero. La química es una ciencia experimental, y en esta asignatura se pretende desarrollar habilidades motrices que aporten a las competencias específicas en la formación de los ingenieros. Si bien estas capacidades básicas se profundizan en asignaturas posteriores, constituyen un requisito para que los estudiantes promocionen la asignatura.

En el momento en el que la Universidad Nacional de Salta decretó la cuarentena (una semana antes del inicio de clases), la Facultad de Ingeniería estaba migrando su plataforma a un servidor de mayor capacidad, situación que las autoridades no sólo aceleraron sino mejoraron en varios aspectos, con el objetivo de continuar con el dictado de clases para mitigar la incertidumbre que el contexto mundial impuso tanto en docentes como alumnos.

Este contexto, en un análisis FODA implica:

-Fortalezas (atributos que permiten generar una ventaja competitiva en el contexto):

- Recursantes en su mayoría en el 1° cuatrimestre (70%).
- Sólo el 2% de los inscriptos no se matriculó en Moodle.
- El equipo docente está formado por una Profesora Adjunta, cinco jefes de trabajos prácticos con experiencia en la asignatura, compromiso, buena comunicación y excelente predisposición. Además cuenta con tres auxiliares estudiantiles.
- Los contenidos mínimos de la asignatura son transversales en las carreras (sobre todo IQ).

-Oportunidades (factores positivos que se generan en el entorno y que, pueden ser aprovechados). La Facultad de Ingeniería:

- Realizó una inversión inmediata para aumentar la capacidad del servidor, lo que permitió el uso simultáneo del MOODLE de múltiples materias y estudiantes
- Rápidamente generó y habilitó herramientas como *Zoom* para el dictado de clases multitudinarias sin límite de tiempo.

- Fomentó la generación de material audiovisual.
- Respetó y fomentó la libertad de cátedra, asegurando por Resolución a estudiantes y docentes que las actividades desarrolladas de manera virtual, incluso las evaluaciones, serían reconocidas.
- Puso a disposición libros electrónicos (UNSa: eLibros).

-Debilidades (elementos, recursos, habilidades y actitudes que constituyen barreras para lograr la buena marcha). Respecto de Química General:

- Es una asignatura numerosa (500 estudiantes aproximadamente por cuatrimestre).
- Tiene como requisito de promoción haber realizado y aprobado todas las prácticas de laboratorios, los cuestionarios referidos a las mismas (que se realizan previo a su desarrollo) y sus respectivos informes una vez finalizadas las prácticas.
- Los estudiantes necesitan el desarrollo paso a paso de los conceptos (tanto teóricos como prácticos), el acompañamiento y la práctica guiada por los docentes ya que aún no tienen la destreza del aprendizaje autónomo ni los criterios básicos que generan la confianza suficiente para adquirirlo. Es por esto que las clases se dan con desarrollos completos y detallados por parte de los docentes y sólo se usan herramientas informáticas (como *Power Point, Excel*, etc.) de forma ilustrativa.
- La plataforma *Moodle* se venía usando como repositorio de material y medio de comunicación asincrónico.
- La mayoría de los docentes no tenían formación específica en el uso eficiente de plataformas virtuales.

-Amenazas (situaciones negativas externas al proyecto, que pueden atentar contra éste, por lo que llegado al caso, puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearlas). Respecto de Química General:

- La virtualidad impide que los estudiantes desarrollen las habilidades motrices y tecnológicas propias de la asignatura,
- La tecnología facilita formas de copiar, colaborar, consultar y recurrir a fuentes *non-sanctas* para la resolución e interacción en instancias de evaluación.

- Las prácticas de laboratorio resultan esenciales para que los estudiantes fijen, “visualicen”, relacionen e integren los conceptos. El desarrollo de las mismas resulta imprescindible para la adquisición de competencias específicas que condicionan en la formación del ingeniero.

Respecto del contexto:

- La incertidumbre y desconfianza en el reconocimiento y acreditación de las actividades desarrolladas,
- La deficiente (o nula) conectividad (de docentes y estudiantes), eventual o cotidianamente.

A partir de los datos extraídos del análisis FODA se decidió

- Corregir las debilidades,
- Afrontar las amenazas,
- Mantener las fortalezas,
- Explotar las oportunidades.

Considerando que:

- Por tratarse de una asignatura de 1° año de contenidos transversales en la carrera, las competencias que no se hubieran adquirido en ella se lograrán en las asignaturas posteriores,
- Un cuatrimestre no puede condicionar la formación de un ingeniero (20 cuatrimestres de cursado por lo menos en su carrera), sobre todo considerando que una de las competencias que se deben desarrollar en la carrera es el aprendizaje autónomo,
- Se debía generar certidumbre y confianza a pesar del contexto para garantizar la participación de los estudiantes (es decir, que no diera lo mismo hacer que no),
- Asumir la hiper conectividad y diseñar estrategias que en lugar de negarla la aprovechen, apelando a generar actitudes de responsabilidad y compromiso en los estudiantes, aprovechando al máximo las posibilidades de seguimiento que brinda la tecnología bien utilizada,
- Diseñar a modo de prácticas de laboratorio, experiencias caseras que permitan la aplicación de conceptos teóricos vistos en la asignatura.

Por eso, nos planteamos los siguientes objetivos:

- Canalizar positivamente la situación,
- Abordar los contenidos mínimos establecidos,
- Garantizar la mayor y mejor participación posible,
- Fomentar el aprendizaje autónomo, acompañando y guiando desde la virtualidad,
- Cumplir la carga horaria de la asignatura, según el plan de estudios vigente y respetando horarios de las asignaturas paralelas,
- Legitimar todo lo realizado (en respeto a la dedicación de los estudiantes y a nuestro trabajo).

1.2 Modalidad de Dictado

El dictado y la evaluación de la asignatura se realizó completamente a través de la plataforma Moodle de la Facultad. Se desarrollaron contenidos únicos para todas las comisiones (y no contenidos diferentes por comisión), de manera de mantener la unicidad y homogeneidad necesarias para generar confianza en los estudiantes y agilizar el trabajo de los docentes. El curso se organizó de la siguiente forma:

1°) SECCIÓN

Información general y Novedades,
2 a 8°) SECCIONES POR TEMAS

- 1- Teorías de cada unidad (sincrónicas por Zoom y disponibles luego en el canal de YouTube de la Facultad para el trabajo asincrónico),
- 2- Power Point (PP) de las clases teóricas,
- 3- Ejercicios resueltos de los trabajos prácticos con diferentes recursos (videos o PP con audio, un docente de la cátedra lo realizó para todos).
- 4- Material Complementario de cada tema (links, videos, libros, ejercicios, etc.),
- 5- Laboratorios caseros propuestos y los tradicionales,
- 6- Foros de consultas de laboratorios,
- 7- Modelos de ET,
- 8- Foros de consulta del tema por comisión,
- 9- Cuestionarios.

1.3 Aspectos evaluados

En la normalidad del cursado presencial se consideran en la fórmula polinómica para la promoción, los siguientes criterios de evaluación:
-LABORATORIOS: es un requisito haber realizado el 100% de los mismos. Los cuestionarios previos y los informes presentados

se aprueban con 60 puntos y ponderan 0,15 en la fórmula.

-EVALUACIONES DE TEMA (ET): se aprueban con 60 puntos y ponderan el 0,25 en la fórmula.

-3 PARCIALES con sus recuperaciones: se aprueban con 40 puntos y ponderan el 0,60 en la fórmula.

-ASISTENCIA a las prácticas: es un requisito haber asistido en un 80% mínimo.

El cursado exclusivamente virtual nos llevó a pensar qué y cómo evaluar y entonces a generar nuevos recursos (sincrónicos y asincrónicos), configurar y reorganizar los diferentes aspectos de la asignatura.

1.4 Modalidades de Comunicación

Todas las actividades y modalidades de cada instancia, así como las novedades fueron informadas a través de todas las vías de comunicación disponibles: mail, Moodle, Whatsapp e Instagram. Las fechas y modalidades de cada instancia de evaluación se publicaron con una semana de anticipación como mínimo.

1.5 Encuesta

Al finalizar el examen integrador se les realizó a los estudiantes una encuesta para conocer sus opiniones acerca de cada uno de los aspectos de la materia.

2 RESULTADOS

2.1 Aspectos evaluados

Se reformularon los criterios y modalidades de evaluación, *no así su ponderación en la fórmula polinómica*, ya que esto no sólo hubiera estado por fuera de la reglamentación vigente, sino porque no queríamos cambiar las reglas sobre la marcha ya que para nuestros estudiantes, en su mayoría recursantes, esto hubiera generado más incertidumbre. Esto implica que cada instancia, aun cuando diferente, se computó de la forma tradicional en la fórmula polinómica.

Si bien la mayoría de los contenidos serán profundizados en materias superiores, fue nuestro compromiso NO TOCAR los contenidos mínimos y respetar en lo posible los contenidos del dictado normal, sobre todo aquellos que no se volverán a tratar en algunas carreras (como Ingeniería Civil).

2.2.1 Laboratorios

Si bien se les subieron los trabajos de laboratorio tradicionales de la presencialidad, se propusieron experiencias “caseras” para que vuelvan tangible la aplicación de los conceptos teóricos, partiendo de la base de que los materiales e instrumentos de medición fueran fáciles de conseguir y que los experimentos fueran seguros. La consigna en general fue que ellos se filmen realizando el experimento en videos de no más de 5 minutos y manden el video con su respectivo informe. Es destacable la participación y el empeño que pusieron en los laboratorios caseros propuestos (Figura 1).



Figura 1: Algunos resultados de la elaboración de un indicador de pH hecho con repollo colorado.

Se tomaron los cuestionarios de las experiencias propuestas a través de la plataforma Moodle.

2.2.2 Evaluaciones de Tema

Se tomaron a través de la plataforma Moodle en la misma instancia de los cuestionarios de laboratorios de cada tema, pero realizando dos cuestionarios.

Para poder rendir la ET (5 preguntas) debían marcar como finalizado el cuestionario de laboratorio (4 preguntas). La duración total de ambas instancias fue de 55 minutos una vez iniciadas. Se configuraron de la siguiente forma a fin de evitar la socialización de los resultados en esta instancia:

- Un ejercicio aleatorio del banco de preguntas por cada estudiante,
- En cada página que se muestra una sola pregunta,
- Preguntas de manera secuencial (no se puede volver hacia atrás),
- Con límite de tiempo total,
- Un solo intento permitido,

- Comportamiento de las preguntas ordenadas al azar,
- Con retroalimentación diferida (finalizado el cuestionario para todos y no individual),
- Envío automático una vez finalizados los 55 minutos con opción a que ellos lo enviaran antes si quisieran.

Cabe aclarar que todas las pautas sobre la modalidad, fechas, horarios y recomendaciones (tales como tener en cuenta las cifras significativas, responder con las unidades que se piden, tener a mano papel, lápiz, calculadora y Tabla periódica, así como que debían hacer una captura de pantalla (con fecha y hora) y enviar si se quedaban sin internet), fueron publicadas por todos los medios de comunicación con una semana de anticipación.

Aun cuando el contexto fuera radicalmente diferente, los resultados de este cuatrimestre respecto al mismo del año pasado muestran que la cantidad de estudiantes que llegan al final del cursado depende más de las condiciones y convicciones personales que de las restricciones propias al cursado de la asignatura (Figura 2).

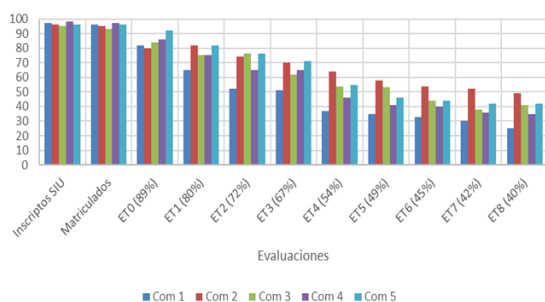


Figura 2: Cantidad de alumnos por comisión que rindieron las ET.

Hubo una alta matriculación (98%) y participación hasta la ET 3 (67%), aun habiendo superado los temas del primer parcial (que se corresponden con las ET 0, 1 y 2). Pero a la ET 8, sin el desgranamiento propio de los parciales, sólo llegó el 40%.

2.2.3 Examen Integrador

Como desde el principio de la pandemia la fecha de retorno a la presencialidad fue incierta, los parciales se fueron postergando hasta que se volvió impostergable. Entre otros factores, porque todas las asignaturas estábamos en la misma situación, y aún en el mejor de los escenarios, ni las fechas ni la infraestructura permitirían que

todos evaluemos tantas instancias simultáneamente en la presencialidad. Una vez que hubo un respaldo académico formal que reconoció esta instancia virtual, decidimos, en lugar de tomar tres parciales con sus recuperaciones, tomar un único examen integrador al final del dictado de la asignatura dividido en tres Bloques, cada uno de los cuales con los mismos temas que los previstos en cada parcial. Cada Bloque tuvo su recuperación también en una única instancia. Esto implicó que los estudiantes no fueron quedando libres por parciales sino todos tuvieron la posibilidad de llegar hasta el final del dictado (Tabla 1). Pensábamos que la modalidad virtual, en la que los estudiantes pudieron llegar al final del dictado de la materia sin rendir los primeros parciales, representaría una ventaja (además de reducir el desgranamiento) ya que la asignatura está organizada de forma que los conocimientos previos son la base de los posteriores, es decir que no podrían llegar al tema 8 sin manejar con fluidez los previos (no son temas aislados sino absolutamente concatenados y en orden creciente de complejidad).

Comparando los mismos cuatrimestres de 2019 y 2020 (Tabla 1), se puede apreciar que los porcentajes son bastante similares a pesar de los contextos radicalmente diferentes.

El 40% de los inscriptos rindió el examen integrador y el 14% promocionó en primera instancia la asignatura.

Tabla 1. Comparación porcentual

Situación	2019	2020
Inscriptos SIU	100	100
Recursantes	73,5	70,5
Ingresantes	26,5	29,5
AB + NC	58,3*	60,0
P1	11,4	13,9

*en 2019 se suman los L1 (libres en alguno de los parciales).

2.2.4 Asistencia y participación

La asistencia no se consideró como requisito en ninguna instancia debido a los problemas de conectividad. En su lugar si se tuvo en cuenta el concepto por participación (entrega en tiempo y forma de informes y consultas) al momento de redondear la nota final en caso de que hubiera sido necesario.

2.2.5 Encuesta

Los resultados fueron muy buenos en general (Figura 3). La valoración positiva por parte de los estudiantes de las diferentes instancias y modalidades implementadas en todos los casos superó el 50%.

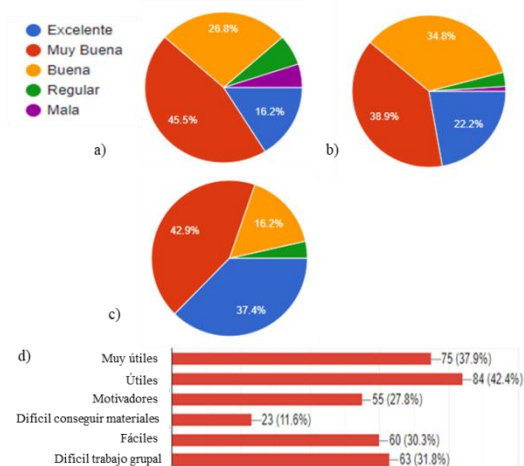


Figura 3: Opiniones acerca de: a) Organización general de la asignatura (clases, ET, comunicación, etc.), b) Tareas desarrolladas por los docentes, c) Modalidad de las evaluaciones de tema, d) Laboratorios caseros (utilidad, facilidad, dificultades, etc.).

Además resulta muy gratificante que los estudiantes manifiesten en su amplia mayoría que de sintieron contenidos y acompañados durante el cursado de este cuatrimestre (Figura 4).

Este fue sin duda un gran desafío para todos en este contexto.

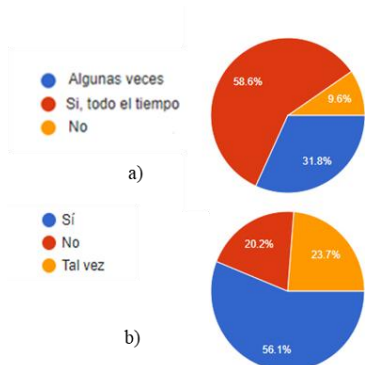


Figura 4: Respuestas a preguntas: a) ¿Te Sentiste acompañado por parte de los docentes?, b) ¿Te sentiste contenido académica y emocionalmente por la cátedra?

3 CONCLUSIONES

Aun cuando todos los inscriptos estuvieron en condiciones de llegar al final del cursado y rendir los tres parciales en una misma instancia, sólo el 40% llegó al Integrador. Esto nos permite concluir que:

-No es el resultado de los parciales el principal motivo de desgranamiento ya que en este contexto todos tuvieron la posibilidad de rendir el integrador (llegar a lo que hubiera sido el 3° parcial).

-No es cierto que la modalidad virtualidad facilite la Promoción.

Considerando estos resultados y lo manifestado en las encuestas, concluimos que hemos alcanzado los objetivos propuestos para cuatrimestre, y que si bien hubo inconvenientes y hay mucho por mejorar, avanzamos y logramos culminar con éxito el dictado virtual de la asignatura en este difícil contexto.

Es importante replantearnos nuestros conceptos de cómo, qué y para qué evaluar para poder desarrollar formas que incluyan la colaboración entre pares, la búsqueda de información confiable pero sobre todo que aporten a las competencias de búsqueda, del trabajo en equipo y de ética profesional.

Diseñemos, pensemos y configuremos evaluaciones de forma tal de evitar al máximo estas situaciones. Coincidimos con Neil DeGrasse Tyson (2014) en que “Si los estudiantes hacen trampa en los exámenes es porque nuestro sistema valora más las notas que el proceso de aprendizaje”.

4 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente el apoyo y soporte técnico permanente e incondicional brindado por Analía Tito, Orlando Vaca, Selva Guanuco y Enrique Morales (personal del centro de Cómputos Facultad de Ingeniería) y también al Dr. Ricardo D. Quinteros (Secretario Técnico del Consejo de Investigación Universidad Nacional de Salta).

También a las autoridades de la Facultad de Ingeniería (gestión 2019-2022) por escuchar, acompañar, fomentar, reconocer y respaldar el trabajo realizado por docentes y estudiantes.

5 REFERENCIAS

- Barrena, Paul Palmqvist. "Sobre el desarrollo de las capacidades cognitivas en el Reino Animal y el linaje humano: aspectos evolutivos, ecofisiológicos y tecnoculturales." *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental* 25 11-28, 2012.
- Cho, Inha; Zhi-Jun, Jia; Arnold, Frances H. "Retraction". *Science* 10 Jan 2020:Vol. 367, Issue 6474, pp. 155. DOI: 10.1126/science.aba6100.
- Fernández Aprile, Leonardo. "Educación Superior y Tecnología: evolución histórica en la argentina y el contexto social en tiempos de pandemia."
- García-Peñalvo, Francisco José, et al. "La evaluación online en la educación superior en tiempos de la COVID-19." (2020).
- Martínez, Pepe, and Pepe Martínez Rodríguez. *Cualitativa-mente: los secretos de la investigación cualitativa*. ESIC Editorial, 2008.
- Moraga, Norma B. *Articulación entre el nivel medio y la educación superior. Enseñanza de Ingenierías*". Orlovskaia. Editorial Académica Española (EAE). SIA OmniScriptum Publishing. Brivibas gatve 197, LV-1039, Riga Latvia, European Union. ISBN-13: 978-620-2-10217-9. ISBN-10: 6202102179. EAN: 9786202102179.
<https://www.eae-publishing.com/>. 2.3.2018.
- Neil DeGrasse Tyson. Tweet de @neiltyson 14/02/2013.
- Rueda Chuquillanqui, Yessica Liliana. "Estudio de los determinantes de la adopción y la intención de uso de las tecnologías de los pagos móviles por los consumidores." (2019).

Trabajo colaborativo virtual para simular la futura actividad profesional de los ingenieros

Romero-Dondiz, Estela M.^{1,2}; Vivas, Leticia A.^{1,2} y Almazán, Jorge E.^{1,2}

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*

eromerodondiz@gmail.com; leticia.vivas@gmail.com; emilioalmazan8787@gmail.com

(2) *Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI-CONICET-UNSa).*

RESUMEN

La presencia del COVID-19 afectó la vida de toda la humanidad y Argentina no quedó al margen de ello. A partir de marzo, las instituciones educativas de todos los niveles suspendieron sus clases presenciales y debieron “mudarse” a la metodología de educación virtual. La gran mayoría de los docentes no tenían experiencia en este tipo de educación pero rápidamente se adaptaron a la nueva situación y se pusieron a trabajar para planificar nuevas e innovadoras actividades pedagógicas para contener a los estudiantes y garantizar la continuidad de la educación. El presente trabajo pedagógico tiene como objetivo exponer y compartir, con los docentes de otras universidades, los logros obtenidos del diseño de una actividad innovadora de tipo colaborativa virtual, la cual intenta representar alguna de las futuras actividades que pueden llegar a desarrollar los estudiantes de las carreras de ingeniería en su vida profesional. Esta actividad pedagógica fue llevada a cabo, en medio de la pandemia por COVID-19, en la asignatura Servicios Auxiliares de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Salta.

ABSTRACT

The presence of COVID-19 affected the lives of all humanity and Argentina was not left out of it. As of March, educational institutions of all levels suspended their face-to-face classes and had to “move” to the virtual education methodology. The vast majority of teachers had no experience in this type of education but they quickly adapted to the new situation and went to work to plan new and innovative pedagogical activities to contain students and guarantee continuity of education. The present pedagogical work aims to expose and share, with teachers from other universities, the achievements obtained from the design of an innovative activity of a virtual collaborative type, which tries to represent some of the future activities that students of the engineering universities careers may develop in its professional life. This pedagogical activity was carried out, in the midst of the COVID-19 pandemic, in the Auxiliary Services subject of the Chemical Engineering career at the National University of Salta.

Palabras claves: pandemia - trabajo colaborativo – educación virtual

Keywords: pandemic – collaborative working – virtual teaching

1 INTRODUCCIÓN

Estamos atravesando un momento particular e inédito a nivel mundial, el cual era impensado hasta hace unos meses pero ahora es real y afecta la vida de toda la humanidad. La presencia del COVID-19 modificó la actividad económica, social, política y cultural de todos los países. Esto también afectó directamente la actividad docente y la vida cotidiana y familiar. A partir de marzo de 2020, el Gobierno Nacional tomó la decisión

de instalar el Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio (ASPO). Las instituciones educativas, públicas y privadas de todos los niveles, interrumpieron de forma abrupta sus clases presenciales. Los docentes tuvimos que rediseñar y planificar las actividades pedagógicas sin previo aviso. La gran mayoría de los estudiantes universitarios, frente a esta situación, se sintieron desorientados y ansiosos de saber cómo continuarían sus estudios.

Rápidamente, todos los miembros de las instituciones educativas se pusieron a trabajar para planificar las actividades académicas y

contener a los estudiantes, garantizando la continuidad de la educación. Los docentes debimos comenzar a enseñar de manera virtual. Esta situación, nos saca de nuestra zona de confort, a la cual estábamos acostumbrados, tanto alumnos como docentes. La gran mayoría de los docentes no tenía experiencia en la metodología de enseñanza virtual y debían enfrentarse a un nuevo mundo, el cual era desconocido. Sin embargo, resultó ser una oportunidad para reinventarnos y aprender a utilizar herramientas tecnológicas que estaban disponibles desde hace varios años y no habíamos aprovechado su potencialidad hasta antes de la pandemia.

La educación a distancia, existe desde tiempos remotos cuando nuestros antepasados estudiaban por correspondencia. Hoy el desarrollo de las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) nos permite impartir clases en forma virtual más interactivas e innovadoras. El uso de herramientas tecnológicas en el aula despierta un gran interés en la nueva generación de estudiantes que están deseosos de utilizar la tecnología como parte de su formación académica Basilotta (2013). Como docentes debemos conocer y manejar de forma correcta y adecuada las TIC para no perder de vista nuestro objetivo al proponer una nueva actividad a nuestros estudiantes. De acuerdo a Badia (2005), para que el aprendizaje a través de Internet sea efectivo es necesario que el alumno además de contar con una serie de conocimientos concretos, debe poseer habilidades o competencias que lo hagan capaz de autorregular su aprendizaje.

Las TIC ofrecen numerosas herramientas y recursos que ayudan a la educación virtual. Asimismo, posibilita la conexión permanente, más allá de las barreras del espacio y del tiempo. Badia (2015) indica que las TIC facilita la comunicación necesaria para el trabajo colaborativo en red de docentes y alumnos, de alumnos entre sí, y también de docentes entre sí. Según Roschelle (1995) la colaboración se trata de “una actividad coordinada, resultado del continuo intento por construir y mantener una concepción compartida acerca de un problema”. El éxito de un trabajo colaborativo se basa en una continua negociación que permita construir conocimientos y alcanzar objetivos comunes a todos los integrantes que conforman el equipo. Por su parte, Guiteret (2000), indica que el trabajo colaborativo se da cuando “existe una reciprocidad entre un conjunto de individuos que

saben diferenciar y contrastar puntos de vista de tal manera que llegan a generar un proceso de construcción de conocimiento. Es un proceso en el que cada individuo aprende más de lo que aprendería por sí solo, fruto de la interacción de los integrantes del equipo”. Es decir, que de un trabajo colaborativo se puede esperar un mejor resultado que de la suma del trabajo individual de cada uno de los miembros del equipo. Esto se debe a que cada miembro aporta su conocimiento, experiencia e intuición propia y contagia al resto de los integrantes del equipo para lograr un excelente resultado común a todos.

Para que el trabajo colaborativo sea exitoso, es muy importante que el docente realice una adecuada planificación de las actividades pedagógicas, es decir un correcto diseño de la secuencia didáctica. Sobre todo, en la educación en línea donde los distintos momentos de encuentros sincrónicos y asincrónicos deben estar muy bien definidos y tener muy claro cuál es el resultado que esperamos en cada uno de ellos.

González Baraja (2010) señala que uno de los pilares del modelo educativo Enfocado en el Aprendizaje y las Competencias del estudiante es la secuencia didáctica como herramienta pedagógica en la construcción de las competencias profesionales. La secuencia didáctica establece una cadena de actividades de aprendizaje con un orden interno determinado que parte de la intensión docente de recuperar aquellas nociones previas que tienen los estudiantes sobre un hecho, vincularlos a situaciones problemáticas y de contextos reales con el fin de que la información a la que va a acceder el estudiante en el desarrollo de la secuencia sea significativa. Como señala Díaz Barriga (2013), la secuencia demanda que el estudiante realice cosas, no ejercicios rutinarios y monótonos, sino acciones que vinculen sus conocimientos y experiencias previas, con algún interrogante que provenga de lo real y con información sobre un objeto de conocimiento.

2 OBJETIVO

El presente trabajo pedagógico tiene como objetivo exponer y compartir, con los docentes de otras universidades, los logros obtenidos del diseño de una actividad innovadora de tipo colaborativa virtual, la cual intenta representar alguna de las futuras actividades que pueden llegar a desarrollar los estudiantes en su vida

profesional. Este trabajo pretende inspirar a otros docentes para planificar actividades nuevas para sus estudiantes.

3 PROPUESTA

La presente propuesta pedagógica se desarrolló en la asignatura Servicios Auxiliares, del primer cuatrimestre de quinto año de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Salta, según el Plan de Estudio vigente (Res. CS N° 413/12). Este año tuvimos veintiocho alumnos en total, los cuales trabajaron durante todo el cuatrimestre de forma virtual exclusivamente, debido a la pandemia por COVID-19.

Nuestros alumnos se encuentran cursando las últimas materias para completar su formación académica de grado. Como docentes, siempre sentimos que es un gran desafío y compromiso acompañarlos en esta última etapa. Sobre todo, este año, tan particular que estamos viviendo, en el cual los estudiantes se ven imposibilitados de concurrir a las aulas. Es por ello, que nos vimos en la necesidad de pensar en nuevas actividades pedagógicas para impartir los contenidos referidos a la asignatura Servicios Auxiliares de manera virtual.

Es por todo ello, que diseñamos una propuesta pedagógica innovadora utilizando distintas herramientas tecnológicas para desarrollar un trabajo colaborativo virtual, que intenta representar alguna de las futuras actividades que pueden llegar a desarrollar nuestros estudiantes en su actividad profesional. Esta actividad fue pensada como cierre del Tema 4: Vapor de agua – Generadores de vapor, del Programa Analítico de la asignatura Servicios Auxiliares (Res. H.C.D. N° 556/02, Fac. de Ing., UNSa) de dicha carrera. Los estudiantes, durante el desarrollo del Tema 4, repasan los conceptos fundamentales referidos a la termodinámica del vapor de agua, estudian el funcionamiento de los generadores de vapor y los equipos fundamentales que lo componen, los tipos de calderas utilizadas en la industria, entre otras cuestiones. Finalizado este tema los alumnos deben ser capaces de seleccionar el generador de vapor más adecuado para distintas aplicaciones y conocer todas las cuestiones referidas a su correcto manejo y operación.

La presente propuesta pedagógica fue diseñada de acuerdo a una secuencia didáctica que involucra tres actividades ó momentos: apertura, desarrollo y cierre.

Dicha propuesta fue planificada para realizarse de forma colaborativa, debido a las bondades que tiene esta metodología de trabajo y a que la tendencia mundial apunta a trabajar en equipos interdisciplinarios. Asimismo, debido al contexto actual de pandemia por COVID-19 que estamos viviendo, las actividades fueron llevadas a cabo totalmente de forma virtual utilizando distintas herramientas tecnológicas y propiciando encuentros asincrónicos y sincrónicos con nuestros estudiantes y entre ellos. Sin embargo, es importante destacar que finalizada la pandemia, la presente propuesta podría llevarse a cabo de manera mixta (parte presencial – parte virtual).

A lo largo de toda la secuencia didáctica los docentes de la cátedra realizaron un acompañamiento, tutoría y asistencia técnica a los estudiantes mediante un Foro de Consulta disponible en el aula virtual, para dicha actividad. En algunos casos, por pedido de los estudiantes, se realizaron encuentros sincrónicos entre los docentes y los grupos utilizando herramientas digitales de comunicación en línea, como Zoom, Meet, entre otros, para despejar dudas y orientarlos en el desarrollo de la actividad propuesta.

3.1 *Objetivos de la propuesta*

El Objetivo General de la presente propuesta pedagógica es diseñar una actividad pedagógica innovadora que permita simular el futuro desempeño profesional que podrían tener los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química.

Durante la realización de la presente actividad pedagógica se pretende que los estudiantes alcancen los siguientes Objetivos Específicos:

- Reforzar los conceptos fundamentales aprendidos sobre los Generadores de vapor y los tipos de calderas que se utilizan en la industria.
- Propiciar el trabajo en forma colaborativa entre los estudiantes.
- Promover el análisis, la discusión grupal y la crítica constructiva entre pares y docentes.
- Generar y fortalecer la toma de decisión.
- Mejorar la expresión oral.

4 METODOLOGÍA

Los egresados de las carreras de ingeniería tienen un amplio espectro de puestos de trabajo en donde pueden desarrollar su actividad

profesional. Por ejemplo, algunos trabajan en grandes empresas nacionales o internacionales y tienen personal a su cargo el cual deben capacitar periódicamente. Otros trabajan en empresas proveedoras de servicios y/o equipamientos para la industria y deben realizar asesoramiento técnico, entre otras actividades. Es por eso que hemos planificado como actividad de cierre del Tema 4: Vapor de agua – Generadores de vapor, que los alumnos imaginen y simulen alguna de estas dos actividades laborales.

Para la actividad propuesta, los docentes de la cátedra dividieron, al azar, a los estudiantes en grupos de trabajo. Cada equipo estaba conformado por cuatro alumnos, los cuales debían trabajar de forma colaborativa comunicándose de manera virtual, escuchando y respetando el aporte y la opinión de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo. Para ello disponían, en el aula virtual, de un Foro de Consultas de cada grupo, para comunicarse entre ellos y con los docentes, comentar como van avanzando y dejar evidencias de su trabajo colaborativo. Para realizar esta actividad, los estudiantes disponían de 15 días corridos.

Durante el desarrollo del trabajo en equipo, debían investigar, planificar, diseñar y finalmente grabar un video. Para ello podían utilizar alguna herramienta digital con la cual se sientan cómodos, como por ejemplo: Camtasia Estudio, Screencast entre otros. El video debía tener una duración máxima de 7 minutos y plasmar el resultado de su trabajo colaborativo.

En el aula virtual, los estudiantes disponían de foros: “De consultas generales” y “Consultas de cada grupo”. También, podían solicitar reuniones online con los docentes para realizar consultas, asesoramiento y apoyo técnico. Además, en el aula virtual había un foro “Cierre del Trabajo colaborativo”, en el cual debían intervenir como actividad de cierre de la secuencia didáctica.

4.1 *Secuencia didáctica*

Cada grupo de trabajo desarrollo la secuencia didáctica, de la siguiente manera:

4.1.1 *Apertura*

Mediante un encuentro sincrónico, los docentes de la asignatura se reunieron con todos los estudiantes para presentar la actividad propuesta, comunicar los integrantes de cada equipo de trabajo y asignar la consigna para cada grupo.

Durante el encuentro sincrónico, también se aprovechó para compartir tutoriales sobre la edición de videos y presentar los distintos Foros, disponibles en el aula virtual, para el desarrollo y cierre de esta actividad.

Las consignas de trabajo entregadas a los estudiantes fueron las siguientes:

□ Tema A: Capacitación para operadores de caldera (foguistas)

Planificar y diseñar un video para capacitar y actualizar a los operadores de caldera (foguistas) sobre los principales parámetros a controlar durante la operación de las mismas para evitar accidentes o incidentes en su funcionamiento. Pueden investigar sobre distintas cuestiones como ser:

- Accidentes que hayan ocurrido en distintas plantas industriales debido al manejo u operación incorrecta de la caldera.
- Tareas de mantenimiento preventivo y correctivo en calderas.
- Parámetros más importantes para garantizar el correcto funcionamiento y vida útil de la caldera.

En base a toda la información recaudada, discernir sobre cuál es la más adecuada y apropiada para confeccionar el video, Sin perder de vista que, el video debe capacitar sobre la responsabilidad que implica operar una caldera y los parámetros más importantes a verificar durante su funcionamiento. Recordar que el video debe tener un lenguaje ameno y adecuado para los destinatarios, pero debe exponer toda la información relevante para cumplir con el objetivo propuesto.

□ Tema B: Asesoramiento técnico

Deben imaginar que son Ingenieros Junior del área técnica de una empresa proveedora de distintos equipos, entre ellos generadores de vapor. Cada grupo de trabajo tiene asignada una empresa distinta y puede consultar en la página web de la misma los productos que comercializan.

Un futuro cliente se contacta con ustedes y les solicita asesoramiento para comprar un generador de vapor para producir vapor de baja presión para diversos equipos de calefacción para su planta industrial. La información que posee el cliente es poco clara. Por último, el cliente le indica que la industria se dedica al rubro alimenticio.

Buscar entre las opciones de generadores de vapor y/o calderas que posee su empresa, la mejor alternativa para el cliente. Posteriormente,

confeccionar un video realizando una pequeña presentación de su empresa y la mejor alternativa que ustedes le pueden ofrecer al cliente, justificando la elección. El objetivo de su video, además de exponer la alternativa más adecuada, debe ser que el cliente elija su empresa en lugar de la competencia.

En caso que considere que la empresa para la cual ustedes trabajan no puede satisfacer las necesidades del cliente, su jefe los autoriza a buscar alternativas en otras empresas para no perder el comprador

4.1.2 *Desarrollo*

Cada estudiante analizó la consigna de trabajo asignada para la realización del trabajo colaborativo. Posteriormente cada alumno, de manera individual, recabo información relacionada con la temática asignada. De acuerdo a la disponibilidad horaria, conectividad, etc, cada equipo de trabajo se encontró de forma virtual para compartir información, debatir y buscar la mejor solución o alternativa para su trabajo.

Durante esta etapa, los estudiantes participaron en los Foros de Consultas Generales y Consultas por grupos. También dejaron evidencia de los encuentros virtuales y los avances que realizaron en cada uno de ellos.

Para plasmar su trabajo colaborativo confeccionaron su video y posteriormente compartieron el link de su producción audiovisual en la plataforma virtual, con los docentes y sus compañeros.

4.1.3 *Cierre*

Todos los estudiantes vieron los videos de los distintos grupos y participaron en el Foro Cierre del Trabajo colaborativo, para compartir su opinión personal sobre los mismos. Luego cada estudiante votó en el aula virtual, cuál sería la empresa ganadora de la licitación si ellos fueran los que deben realizar la selección. También votaron cuál fue el mejor video para capacitar a los operadores.

Posteriormente, mediante un encuentro sincrónico con los estudiantes, los docentes compartieron los resultados de las votaciones e invitaron a los alumnos a expresar su opinión y experiencia sobre el trabajo colaborativo realizado.

En la educación virtual, es importante tener presente que no todos nuestros estudiantes tienen buena conectividad. Es por eso que los encuentros

sincrónicos fueron grabados y estuvieron a disposición de los estudiantes en el aula virtual. Asimismo, la secuencia didáctica fue pensada para que los estudiantes pudieran desarrollarla de manera asincrónica, logrando los objetivos planteados.

4.2 *Evaluación*

La evaluación de la actividad fue de carácter formativa, con la finalidad de evaluar los conocimientos adquiridos relacionados al Tema 4 de la asignatura y la capacidad de los estudiantes en la toma de decisiones referida a dicha temática. Los criterios de evaluación fueron entregados a los estudiantes al inicio de la actividad:

- Presentación de la producción audiovisual en tiempo y forma, cumpliendo con la consigna solicitada.
- Participación activa, respetuosa y comprometida en los foros, tanto grupales como individuales.
- Evidencia del trabajo colaborativo, plasmado en el foro de cada grupo.
- También, se consideró los aportes creativos e innovadores de cada grupo.

Además, se comunicó a los estudiantes que el video ganador, de cada consigna de trabajo, recibiría diez puntos extra en su calificación final.

5 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de los momentos que componen la secuencia didáctica de la actividad propuesta.

5.1 *Apertura*

Durante el encuentro sincrónico, el cien por ciento de los estudiantes estuvieron presentes en la reunión online. Sin embargo, algunos no tenían buena conectividad por lo cual cuando trataron de expresar sus dudas lo tuvieron que realizar por medio del chat y con la cámara de sus dispositivos digitales apagada.

Los estudiantes mostraron un gran interés en desarrollar la actividad propuesta y trabajar de forma colaborativa. Es importante destacar, que los alumnos con los cuales se realizó la presente experiencia pedagógica se caracterizan por ser un grupo bastante homogéneo en cuanto a sus edades, desempeño académico y tiempo de

permanencia en la carrera. Esto facilitó mucho el desempeño de los distintos grupos, dado que ya se conocen desde hace varios años.

Al explicar a los estudiantes que el producto final de su trabajo colaborativo debía ser la confección de un video, un gran porcentaje de los mismos expresaron que ya tenían experiencia en el manejo de distintas herramientas tecnológicas para dicha finalidad. Y ofrecieron compartir en el foro: “De consultas generales”, distintos link de tutoriales y herramientas para confeccionar videos.

En cuanto a la metodología a utilizar para comunicarse durante el desarrollo del trabajo, los estudiantes expresaron que preferían armar, entre los integrantes de cada equipo de trabajo, un grupo de Whatsapp. Su pedido se fundamentó en que consideran que la comunicación es más rápida de esta manera, que a través de los foros disponibles en el aula virtual. A los docentes de la asignatura, nos pareció que el pedido de los estudiantes era razonable. Entonces, decidimos que utilicen este medio de comunicación y además vayan dejando, periódicamente, en el foro “Consultas de cada grupo” evidencias de cómo van avanzando en el trabajo colaborativo y si tienen alguna duda ó consulta que requiera apoyo por parte de los docentes.

5.2 Desarrollo

Los distintos grupos de trabajo se reunieron, en diversas oportunidades, de forma virtual mediante encuentros sincrónicos. También utilizaron Google Drive para compartir archivos y el avance de su video entre ellos y con los docentes.

Durante las dos semanas que los alumnos disponían para buscar información, revisar los conceptos aprendidos durante el desarrollo del Tema 4, evaluar alternativas y confeccionar el video, los mismos realizaron, en reiteradas ocasiones, consultas a los docentes. También se llevaron a cabo reuniones online entre docentes y alumnos, a través de Zoom u otros medios, para despejar dudas y ver los avances de los distintos equipos de trabajo.

Debido a que son alumnos del último año de la carrera de ingeniería y tienen varios excompañeros que ya están trabajando en la industria. Algunos grupos decidieron contactarse con ellos, para enriquecer su trabajo y pedirles su opinión y colaboración.

Durante todo el desarrollo de este trabajo, los docentes realizamos un acompañamiento, asesoramiento y apoyo a los estudiantes para que los mismos puedan alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo.

Los grupos de trabajo que tenían asignada la consigna “Capacitación para operadores de caldera (foguistas)”, confeccionaron su producción audiovisual intercalando imágenes y/o videos relacionados a la temática planteada. Por ejemplo, uno de los videos comenzó mostrando un accidente real ocurrido con una caldera. Mientras que otros prefirieron terminar su video con imágenes de cómo quedan la instalaciones industriales luego de los accidentes.

Los videos confeccionados por los grupos que tenían asignada “Asesoramiento técnico”, hicieron mucho énfasis en presentar su empresa y en algunos casos, no dieron gran información sobre los fundamentos para seleccionar el tipo de generador de vapor más adecuado para sus clientes. Todos los videos eran muy atractivos, por ejemplo contaban con música de fondo, gran cantidad de imágenes, entre otras herramientas audiovisuales.

Todos los grupos cumplieron con la entrega del video en tiempo y forma, respetando la duración estipulada para el video y la consigna asignada. Algunos grupos decidieron seleccionar a uno de los integrantes del equipo de trabajo para que sea la voz en el video, mientras que otros prefirieron que todos los miembros del equipo intervengan hablando en algún momento de la producción audiovisual. Es importante destacar que ninguno de los grupos decidió filmarse ó exponer su imagen durante el desarrollo del video.

5.3 Cierre

Todos los estudiantes participaron del encuentro sincrónico de cierre de dicha actividad. Durante el mismo, los estudiantes expresaron que la actividad propuesta les resultó muy interesante y real. Algunos indicaron: “por momentos me sentía que realmente trabajaba para una empresa”; “me resulto cómodo planificar, con mis compañeros, la capacitación para los operarios”; “prefiero este tipo de actividades a la resolución de los ejercicios prácticos habituales que siempre hacemos”, entre otras opiniones.

Particularmente, los estudiantes que tenían asignada la consigna “Asesoramiento técnico”, indicaron que se sentían un poco desorientados al

inicio de la actividad porque no disponían de mucha información técnica. Pero después de realizar algunos cálculos y estimaciones, se embarcaron en la búsqueda de la mejor alternativa para sus clientes, con mayor seguridad. Posiblemente esta sensación que los estudiantes indicaron tener, se puede deber al hecho que están más acostumbrados a la resolución de ejercicios rutinarios con todos los datos proporcionados en la consigna de trabajo que a la resolución de ejercicios abiertos.

La actividad pedagógica propuesta tuvo mucha aceptación por parte de todos los estudiantes. Los resultados de la votación mostraron claramente cuáles eran los mejores videos en cuanto a claridad técnica, ya sea para capacitar a los operadores o asesorar técnicamente a un futuro cliente. Todos los videos tenían buena edición y producción audiovisual. Durante el encuentro sincrónico todos los estudiantes felicitaron a los ganadores e incluso hicieron bromas al respecto. Finalmente, los estudiantes fueron felicitados por su excelente trabajo colaborativo. Se observó un gran crecimiento del conocimiento a lo largo de la secuencia didáctica y realmente se notó el compromiso y responsabilidad con el cual cada uno de los miembros del equipo de trabajo se desempeñó durante esta actividad.

6 CONCLUSIONES

La actividad pedagógica virtual propuesta, resultó ser exitosa para que los estudiantes simulen dos de las posibles actividades laborales que puedan llegar a desarrollar en su vida profesional. Asimismo permitió fortalecer el trabajo colaborativo entre los estudiantes, a pesar del contexto de virtualidad con el cual debieron trabajar.

Este tiempo de pandemia, nos obliga a replantear las propuestas educativas y rediseñar las actividades pedagógicas incorporando las herramientas tecnológicas e innovando en el diseño de las actividades propuestas a nuestros estudiantes.

7 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta, por su apoyo y confianza en estos tiempos de pandemia de COVID-19 para seguir transfiriendo conocimiento y apoyo a nuestros estudiantes.

8 REFERENCIAS

- Badía, A., Aprender a colaborar con Internet en el aula. En C. Monereo (Coord.), *Internet y competencias básicas. Aprender a colaborar, comunicarse, a participar, a aprender*, Editorial Graó, Barcelona – España, 2005.
- Badía, A., Tendencias de la investigación en el aprendizaje favorecido por la tecnología, *Infancia y Aprendizaje*, 38(2), 253-278, 2015.
- Basilotta, V., Herrada, G., Aprendizaje a través de proyectos colaborativos con TIC. Análisis de dos experiencias en el contexto educativo, *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 44, 1-13, 2013.
- Díaz Barriga, A. Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. Comunidad de conocimiento Universidad Nacional Autónoma de México.
- González Barajas, M. T., Kaplan Navarro, J. C., Reyes Osua, G., Reyes Osua, M. A., La secuencia didáctica, herramienta pedagógica del modelo educativo, *ENFACE Universidades*, 46, 27-33, 2010.
- Guitert, M., Gimenez, F., El trabajo cooperativo en entornos virtuales de aprendizaje, *Aprender en la virtualidad*, 113-134, 2000.
http://www.setse.org.mx/ReformaEducativa/Rumbo%20a%20la%20Primera%20Evaluaci%C3%B3n/Factores%20de%20Evaluaci%C3%B3n/Pr%C3%A1ctica%20Profesional/Gu%C3%ADa-secuencias-didacticas_Angel%20D%C3%ADaz.pdf . 12.9.2020.
- Resolución Honorable Consejo Directivo, UNSA N° 556/02, *Programa Analítico de la asignatura Servicios Auxiliares de la carrera de Ingeniería Química*, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta, 2002.
- Resolución Honorable Consejo Superior, UNSA N° 413/12. *Plan de estudios 1999 modificado de la Carrera de Ingeniería Química*, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta, 2012.
- Roschelle, J., Teasley, S. D., The construction of shared knowledge in collaborative problem solving, *Computer-Supported Collaborative Learning*, 197, 69-97, 1995.

La competencia comunicativa en laboratorio en tiempos de pandemia

Ruggeri, Ana I.¹; Anriquez, Claudia B.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. aruggeri@unse.edu.ar; claudiabanriquez@gmail.com*

RESUMEN

El trabajo forma parte de un proyecto de investigación sobre la implementación de la formación por competencias en carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE. En esta oportunidad fue la implementación de la evaluación por rúbricas sobre los informes de laboratorio remoto presentados por los alumnos de primer año, dentro del cursado virtual de la cátedra de Física I-2020, para trabajar la competencia de comunicación y argumentación. Los resultados son promisorios y alientan a seguir en este camino.

ABSTRACT

The work is part of a research project on the implementation of competences formation in engineering careers of the Faculty of Exact Sciences and Technologies of the UNSE. This time it was the implementation of an evaluation rubric on the remote laboratory reports presented by the first-year students, within the virtual course of the Physics I-2020 chair, to work on the communication and argumentation competence. The results are promising and encourage us to continue on this path.

Palabras claves: Laboratorio Remoto - rúbricas de evaluación - competencia en comunicación

Keywords: Remote Laboratory - evaluation rubrics - communication competence.

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado se enmarca dentro de un Proyecto de Investigación “La formación por competencias en carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Santiago del Estero”. El desarrollo de la propuesta fue llevado a cabo por integrantes del citado proyecto en el Departamento Académico de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (FCEyT-UNSE), en la cátedra de Física I, en el afán y con el objetivo de modificar las prácticas adecuándolas a la formación por competencias en el Laboratorio de Física I. La investigación persigue como objetivo indagar sobre la evaluación por competencias. Se usaron rúbricas como instrumento de evaluación en actividad experimental, definiendo conocimientos conceptuales, procedimentales que hacen a las competencias de comunicación y argumentación logradas por los estudiantes, aplicadas en la realización de laboratorios remotos y redacción de informes.

La UNSE responde al trabajo realizado por CONFEDI donde se aprobó, en junio de 2018, la propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de las carreras de ingeniería compilada bajo el nombre de “Libro Rojo”. Dicha propuesta fue elevada el 6 de junio de 2018, día de la Ingeniería Argentina, al Consejo de Universidades. Estos estándares contemplan el marco conceptual definido en la Reunión Plenaria de Oro Verde (mayo 2017) y el detalle de competencias específicas y contenidos mínimos por terminal, desarrollado por las redes de carreras y aprobado en la Reunión Plenaria de Mar del Plata (octubre 2017) y ajustado a las directrices propuestas por el Ministerio de Educación mediante Resolución 989/18 respecto de los procesos de acreditación de carreras. Esta propuesta de “estándares de segunda generación” constituye un avance sustantivo, proponiendo un cambio paradigmático en la formación de ingenieros, en tanto ponen su foco en el estudiante y en el proceso de enseñanza y aprendizaje, con la expectativa de desarrollar y

fortalecer las competencias genéricas y específicas esperadas en el graduado.

Por otro lado, complementando el desarrollo de nuevos estándares y pensando ya en la implementación de este nuevo paradigma, se lanzó el Proyecto de Capacitación de Docentes para el desarrollo de un aprendizaje centrado en el estudiante en las carreras de ingeniería, con el objetivo de “desarrollar actividades de sensibilización, capacitación y asistencia para docentes y gestores académicos de las carreras de Ingeniería, para que el diseño y el desarrollo curricular de los programas de ingeniería tengan en cuenta un enfoque centrado en el estudiante y contribuyan al mejor desempeño académico y al desarrollo de las competencias profesionales requeridas de sus graduados”.

Si bien el trabajo que aquí se presenta no es el desarrollo de un plan curricular completo resulta importante, porque el cambio comienza dentro de cada “célula” académica, dentro de las mismas disciplinas. Puntualmente la idea original era trabajar con rúbricas de evaluación en el laboratorio que pertenece a la Cátedra de Física I, con las clases experimentales presenciales propuestas a los alumnos, pero el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO) posibilitó el uso de dichas rúbricas, usando un solo LR (Laboratorio Remoto), con la presentación de su correspondiente informe al que se lo toma como unidad de análisis. Se destaca además el gran esfuerzo de coordinación e integración entre los equipos docentes de la parte teórico-práctica con el equipo de laboratorio, desarrollando el dictado en una misma aula virtual de la plataforma Moodle del CUV (Centro Universitario Virtual).

El Laboratorio Remoto (LR) según Ruggeri (2019) será la herramienta para aplicar la formación por competencias, implementando la rúbrica con los resultados de aprendizaje esperados para evaluar las habilidades de comunicación y argumentación. Como dichas habilidades no se generan espontáneamente, se necesita generar espacios con objetivos explícitos para que los estudiantes las construyan gradualmente, máxime siendo alumnos de 1° año de universidad. El laboratorio es un ámbito propicio para el desarrollo de estas competencias mediante la elaboración grupal de informes, por la potencialidad cognitiva, epistémica y social de esta actividad, en cuanto implica, por un lado, abordar situaciones y generar operaciones

complejas de diferenciación e integración conceptual (Moreira, 2006), y por otro, desarrollar un proceso dialéctico entre los conocimientos construidos y el texto específico a desarrollar (Carlino, 2006); (Bravo, 2018) afirma que la capacidad de desarrollar por escrito ideas y conceptos implica comprenderlos con un nivel de profundidad mayor que cuando simplemente se los estudia. Por otro lado, el desarrollo de una competencia involucra un “saber de conceptos”, saber “hacer” (procedimientos) y un saber “ser” (actitudes), que genera una “actuación competente”. Si bien, nuestro plan original era poner en práctica durante el primer cuatrimestre de una manera presencial, la emergencia de la pandemia nos obligó a repensar la práctica con el LR, como única forma posible de desarrollar la clase experimental propiamente dicha.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 *La clase experimental y las competencias*

La Física es una ciencia eminentemente experimental. La observación, la medición y el diseño experimental tienen especial importancia, por lo que la convierten en una de las Ciencias Básicas en las carreras de ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE y de casi todas las universidades.

Idoyaga (2017) diferencia entre experimento y actividad experimental. El experimento es un procedimiento por el cual se trata de corroborar una o varias hipótesis relacionadas con un determinado fenómeno, mediante la manipulación y el estudio de las correlaciones de las variables que presumiblemente son su causa. El resultado de un experimento aporta validez a una teoría, y este es el objetivo que persigue y constituye uno de los elementos claves de la investigación en Física. Mientras que la actividad experimental es una acción planificada didácticamente cuyo objetivo es generar condiciones propicias para que se produzcan aprendizajes de conceptos, procedimientos y actitudes. Su diseño y puesta en práctica es responsabilidad de los profesores de Física. Estas actividades experimentales son acciones en base a una teoría ampliamente aceptada en la comunidad de los físicos y que son en muchos casos transposiciones didácticas, a la luz de las competencias.

Según Zabala (2008) cualquier acción competente implica un “saber hacer” en el que se hace necesario el dominio de sucesivas habilidades. Es por tanto necesario establecer una secuencia de actividades de enseñanza que cumplan con las pautas de significatividad, actividades guiadas, modelizadas, sistemáticas, para dar luego espacio para el trabajo independiente del alumno, donde se lo pondrá en situación para evaluar su “actuación competente”.

- Las actividades deben partir de situaciones significativas y funcionales. Como hemos visto cualquier acción competente implica un “saber hacer” en el que se hace necesario el dominio de sucesivas habilidades. Podemos decir que es un procedimiento de procedimientos al constatar que es un proceso en el que es necesario dominar unas habilidades previas de interpretación/compreensión de la situación objeto de estudio en toda su complejidad: identificación de los problemas o cuestiones que plantean una intervención eficaz, reconocimiento de la información relevante para la resolución de las cuestiones planteadas, revisión de los distintos esquemas de actuación aprendidos que pueden dar respuesta a cada una de las cuestiones o problemas planteados, análisis de la información disponible en función de cada uno de los esquemas, valoración de las variables reales y su incidencia en los esquemas aprendidos, y finalmente aplicación del esquema de actuación de forma adecuada e integrando los conceptos, procedimientos y actitudes que conforman la competencia. Bravo (2018), habla de que estos planteos guardan coherencia con los aportes de las teorías psicológicas cognitivistas de aprendizaje que ponen de manifiesto la importancia del lenguaje y la negociación de significados durante el proceso de aprendizaje significativo de conceptos. Según Vygotsky (1991), “el lenguaje es ante todo un medio de comunicación social, un medio de expresión y de comprensión que combina la función comunicativa con la de pensar”.

Es por eso que todas las secuencias de acciones de enseñanza se realizan en forma virtual, incluso fue una decisión del equipo incluir la parte de laboratorio dentro del cursado virtual de Física I. Se realizó un LR, donde se integran contenidos propios de laboratorio como la teoría de errores en las mediciones como la parte de Mecánica de la partícula. En particular se buscó evaluar la competencia en comunicación con los resultados

de aprendizaje que se explicitan en la rúbrica de evaluación del informe de laboratorio. Cabe destacar que la competencia de comunicación en el ASPO, implica competencias digitales ya que todo es virtual. Para analizar los procesos de comunicación y argumentación que siguen los estudiantes en la elaboración de reportes escritos, se usaron rúbricas, las cuales por su versatilidad y su potencialidad didáctica constituyen un conjunto de criterios de calidad relacionados con las competencias a evaluar, determinados por descriptores o indicadores que suponen distintos niveles de logro o desempeño (García Sanz, 2014). La aplicación para la rúbrica estuvo acompañada e integrada por otras actividades de enseñanza. Por lo que se diseñaron:

- Actividades y prácticas guiadas de diferente grado de dificultad.

- Actividades de trabajo independiente, ligadas a la enseñanza de contenidos procedimentales, exige que los alumnos tengan la oportunidad de llevar a cabo realizaciones independientes en las que puedan demostrar su competencia en el dominio del contenido aprendido.

En este sentido los Laboratorios Remotos (LR) imponen condiciones propicias y pertinentes para ensayar una actuación competente.

En el diseño de la actividad experimental, como parte del proceso de enseñanza se deben distinguir los objetivos de la clase experimental, por otro lado tenemos los objetivos de la investigación, que si bien estos últimos tienen que ver con la enseñanza, se busca trabajar para lograr competencias de comunicación (que incluye la digital) y argumentación, utilizando distintas herramientas como el LR, evaluando los resultados de aprendizaje con las rúbricas, todos dentro de un dictado virtual de Laboratorio de Física I.

Idoyaga (2017); habla de comprender que quizás no se trata de que la actividad experimental sea necesaria para adquirir ciertas habilidades, sino que ciertas habilidades se requieren para llevar adelante la actividad experimental, y en este sentido y en esta circunstancia para llevar adelante la actividad experimental, debe haber una habilidad digital. La simpleza del LR, de sus procedimientos, los cortos tiempos requeridos y su potencial ubicuidad permiten incluirlo en secuencias didácticas donde coexistan con explicaciones y demostraciones. Las actitudes científicas y técnicas pueden desarrollarse en este tipo de secuencias, las ideas sobre naturaleza de

la ciencia pueden quedar suficientemente clarificadas y las implicaciones que las ideas trabajadas tienen en la evolución tecnológica y en el desarrollo social podrán contextualizar las actividades.

El LR es una actividad experimental simple sorteó con éxito el obstáculo del ASPO, permitiendo lograr objetivos de la enseñanza y de la investigación: la comunicación y la argumentación. Diseñando las actividades de tal manera, convocar a nuestros estudiantes a defender sus interpretaciones y comunicarlas recurriendo a los distintos sistemas representacionales de la Física, el lenguaje natural, las expresiones matemáticas y las representaciones gráficas. Toda actividad experimental es una buena oportunidad no solo para el análisis, la reflexión y el debate, sino para trabajar estos dos aspectos: argumentación y comunicación, los aprendizajes en estas dimensiones sin duda serán transferibles a cualquier otra área del conocimiento.

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo originalmente fue pensado para implementar la evaluación por rúbricas en todas las experiencias realizadas en el laboratorio de Física I, como una forma de trabajar la competencia comunicación efectiva, tomando como unidades de análisis los informes de laboratorio, presentados por los alumnos, a partir de clases grupales. Debido al ASPO, se implementó la evaluación por rúbricas sólo en el LR en la cátedra de Física I de la FCEyT-UNSE. Teniendo como objetivos trabajar: la evaluación por rúbrica de la competencia en la comunicación y argumentación, plasmada en el informe del LR. Toda la experiencia se realiza con la totalidad de alumnos matriculados en el aula virtual de FísicaI-2020 dentro del CUV (Centro universitario Virtual), usando plataforma Moodle en el marco del aislamiento por la pandemia. Los alumnos (150) son de distintas carreras, pero que tienen Física I como disciplina básica, siendo de 1° año.

La metodología de la investigación incluyó el diseño de las actividades de laboratorio dentro del Aula virtual de Física I, dictada en el primer cuatrimestre que incluye los temas: Mecánica de la Partícula (Cinemática – Dinámica -Trabajo y Energía y Sistemas de Partículas), mientras que

los temas de Laboratorio son: Mediciones directas e indirectas - Lectura en instrumentos de medición - Acotación de la medida - Teoría de errores y Propagación del error. La enseñanza de estos temas para alumnos de 1° año, fue utilizando videos pregrabados, clases de consulta por WhatsApp, cuestionario en Moodle y presentación de tareas, además de la presentación del Informe del LR. Las tareas llevadas a cabo en el laboratorio aportan el 50% para la regularidad de la materia.

La competencia digital quedó probada usando la plataforma Moodle, y otros dispositivos virtuales para el desarrollo de las clases. Competencia digital lograda tanto por los docentes como por los alumnos, ambos paulatinamente fueron afianzando las destrezas digitales, para lograr también aportar a la comunicación.

Se seleccionan como unidades de análisis los informes digitales individuales del LR seleccionado: se trata del Laboratorio Remoto Cinemática - Plano Inclinado, de LabsLand, plataforma con la cual se ha trabajado anteriormente (Ruggeri, 2019).

Para el análisis de los informes se empleó una rúbrica, que contempla dos dimensiones de análisis de las competencias (de comunicación y de argumentación) y sus correspondientes sub-dimensiones:

1. Dimensión Competencias Comunicativas a) Formato de informe; b) Carátula; c) Explicitación de objetivos; d) Explicitación del Marco Teórico; e) Diseño y planificación de la experiencia; f) Presentación de gráficos de datos y procesamiento; e) Elaboración de conclusiones; f) Referencias bibliográficas; h) Estructura y coherencia de la presentación.

2. Dimensión Competencias de Argumentación: a) Comprensión de la teoría, y relación de ésta con la metodología y con la obtención de los resultados de la medición; b) Comprensión de la teoría y uso de gráficos explicativos e ilustrativos como sustento y justificación de la teoría; c) Identificación de medidas directas y su acotación correspondiente, en relación con el instrumento de medición presentado en el LR disponible; d) La medición indirecta, que implica el cálculo y supone también la teoría y el manejo de la propagación del error; e) la conclusión mirando los resultados, si tienen relación con el objetivo del trabajo, y si son coherentes con la metodología empleada.

Rúbrica para la evaluación del Informe de TP de Laboratorio

	NIVEL INSUFICIENTE	NIVEL SUFICIENTE	NIVEL COMPETENTE
1	No respeta el formato del Informe	Respeto el formato del Informe pero con detalles a mejorar	Respeto el formato del Informe
2	No presenta carátula	Presenta carátula incompleta pero con datos esenciales (Grupo, integrantes y Nombre TP)	Presenta carátula completa
3	No presenta teoría	Presenta teoría, pero no es original o no está completa	Presenta teoría original y completa
4	No identifica el objetivo de la práctica	Identifica el objetivo de la práctica pero no lo especifica correctamente	Identifica el objetivo de la práctica y lo especifica correctamente
5	No comprende la metodología	Comprende la metodología pero no la explica correctamente	Comprende la metodología y la explica correctamente
6	No presenta gráficos o esquemas, que ayuden a la teoría	Presenta gráficos o esquemas pero no están completos	Presenta gráficos y esquemas pertinentes y completos, que ayuden a la teoría
7	No presenta valores medidos directamente con su respectiva acotación	Presenta valores medidos directamente con su respectiva acotación, aunque no está expresada	Presenta valores medidos directamente con su respectiva acotación expresada correctamente
8	No sabe propagar errores	Propaga expresiones simples, pero tiene dificultades con expresiones complejas	Sabe propagar errores
9	No presenta valores medidos indirectamente con su respectiva acotación	Presenta valores medidos indirectamente con su acotación, aunque está expresada incorrectamente	Presenta valores medidos indirectamente con su acotación expresada correctamente
10	La conclusión no se relaciona con la teoría, objetivo, ni con la experimentación	La conclusión se relaciona con la teoría, pero no se desprende del objetivo, ni de la experimentación	La conclusión se relaciona con la teoría, objetivo y se desprende de la experimentación

Figura 1. Rúbrica implementada para la evaluación de los informes de TP de Laboratorio

3.1 El Laboratorio Remoto

El LR seleccionado fue el denominado Plano Inclinado, de LabsLand (<https://labsland.com/es>), si bien son laboratorios pagos, debido a la pandemia por COVID-19 sus autoridades decidieron hacer gratuito su uso durante el verano europeo del 2020. Para evitar inconvenientes de falla de dispositivos, y otros, es que muchos laboratorios remotos han puesto a disposición grabaciones de las experiencias reales, estos se denominan Laboratorios Remotos Diferidos (LRD), el usuario no percibe la diferencia entre estar accediendo a un Laboratorio Remoto (un laboratorio real accionado remotamente) y las grabaciones de este LR (un Laboratorio Remoto Diferido). Este LRD en particular posee varias grabaciones disponibles con los mismos parámetros de partida (ángulo, en este caso), con lo cual la experiencia tiene muchos más datos a los cuales acceder, y estos no se repiten, prácticamente.

Se trata de un laboratorio donde se observa un plano que puede variar su inclinación, y es atravesado por un móvil. Se dispone de sensores

cada cierta distancia, los cuales detectan el paso del móvil e informan el tiempo transcurrido desde que se soltó el mismo. Una cualidad que se notó en este laboratorio en particular, es que para cada ángulo seleccionado había varias experiencias grabadas, de manera que ningún valor se repetía.



Figura 2. LR Plano Inclinado antes del experimento



Figura 3. LR Plano Inclinado luego del experimento

3.2 Tareas previas a la experiencia de LR

Las tareas previas a la realización del LR fueron las siguientes:

- Selección del LR, que tenga relación con la teoría dictada virtualmente.
- Capacitación y seguimiento al equipo docente en la implementación de la rúbrica de evaluación.
- Instrucciones a los alumnos que tienen que ver con la realización de la práctica. En la plataforma Moodle se agregaron textos, en donde se explicaban cómo realizar un informe y las partes de las cuales debía estar compuesto.
- Modelo de informe donde, diferenciando las partes del mismo, se adjuntó un archivo con un modelo de informe, como así también un resumen de las partes por las que debe estar constituido el mismo.
- Modelo de Carátula.
- Elaboración de la rúbrica, adecuándola a la plataforma Moodle
- Difusión de la rúbrica de evaluación, dentro del aula virtual. Se estableció como criterio mínimo

de aprobación, que el alumno no tenga más de 3 criterios de evaluación en el nivel Insuficiente, por ser la primera vez que el alumno realiza este tipo de tareas.

¿Cómo realizar el informe del TP de Laboratorio?

Para realizar el informe deben seguir un modelo que debe incluir los siguientes ítems:

- Carátula (no debe faltar)
- Objetivos (no debe faltar)
- Fundamentos teóricos (no debe faltar), Debe ser ORIGINAL, no se aceptará una copia de la guía de TP que se proporciona.
- Materiales y Métodos (no debe faltar)
- Resultados (no debe faltar)
- Discusión (no debe faltar)
- Conclusión (no debe faltar)
- Cuestionario
- Referencias Bibliográficas
- Reconocimientos
- Apéndice

Como ayuda publicamos un MODELO DE INFORME, del cual pueden guiarse.

Figura 4. Resumen de modelo de informe de TP de Laboratorio, publicada en la plataforma Moodle



Figura 5. Carátula de modelo de informe de TP de Laboratorio, publicada en la plataforma Moodle

¿Cómo se evalúa el informe del TP de Laboratorio?

Se evaluará por medio de una rúbrica de evaluación, la cual presentamos a continuación. Para cada criterio tienen 3 niveles de logro, **se puede corregir hasta 2 veces**. En total **no deben tener más de 3 insuficientes para aprobar el informe**. Entre la presentación y la corrección no deben pasar más de 2 días, estén atentos.

	NIVEL INSUFICIENTE	NIVEL SUFICIENTE	NIVEL COMPETENTE
1	No presento el TP en fecha	Presento el TP en fecha o antes	Presento el TP en fecha o antes
2	No respeta el formato del informe	Respeto el formato del informe pero con detalles a mejorar	Respeto el formato del informe
3	No presenta carátula	Presenta carátula incompleta pero con datos esenciales (Grupo, Integrantes y Nombre TP)	Presenta carátula completa
4	No presenta teoría	Presenta teoría, pero no es original o no está completa	Presenta teoría original y completa
5	No identifica el objetivo de la práctica	Identifica el objetivo de la práctica pero no lo especifica correctamente	Identifica el objetivo de la práctica y lo especifica correctamente
6	No comprende la metodología	Comprende la metodología pero no la explica correctamente	Comprende la metodología y la explica correctamente
7	No presenta gráficos o esquemas que ayuden a la teoría.	Presenta gráficos o esquemas pero no están completos	Presenta gráficos y esquemas pertinentes y completos, que ayuden a la teoría
8	No presenta valores medidos directamente con su respectiva acotación	Presenta valores medidos directamente con su respectiva acotación, aunque no está expresada correctamente	Presenta valores medidos directamente con su respectiva acotación expresada correctamente
9	No sabe propagar errores	Propaga expresiones simples, pero tiene dificultades con expresiones complejas	Sabe propagar errores
10	No presenta valores medidos indirectamente con su respectiva acotación	Presenta valores medidos indirectamente con su respectiva acotación, aunque no está expresada correctamente	Presenta valores medidos indirectamente con su respectiva acotación expresada correctamente
11	La conclusión no se relaciona con la teoría, objetivo, ni con la experimentación.	La conclusión se relaciona con la teoría, pero no se desprende del objetivo, ni de la experimentación.	La conclusión se relaciona con la teoría, objetivo y se desprende de la experimentación.

Figura 6. Evaluación de los informes de TP de Laboratorio, publicada en la plataforma Moodle

3.3 Tareas durante la realización de la experiencia

Durante los días en que los alumnos debían realizar la experiencia de LR, se realizaron las siguientes tareas:

- Se habilitó el LR. Hubo dos clases de consultas a través de la plataforma WhatsApp, donde se guió a los alumnos en el acceso, realización del experimento y realización del informe.

3.4 Tareas después de la realización del LR

- Las tareas posteriores a la realización de la experiencia del LR fueron las siguientes:
- Se dio a los alumnos después de la realización una semana para la presentación del informe individual, ya teniendo conocimiento de la rúbrica de evaluación.
- Evaluación de los informes con la rúbrica por parte de los docentes. Se permitieron hasta dos correcciones para alcanzar los niveles mínimos de aprobación, las cuales debían ser presentadas hasta 48 hs después de vista por el docente.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se desprenden del análisis de la experiencia son:

- De los 150 alumnos en condiciones de realizar el TP de Laboratorio Remoto con su respectivo informe, se presentaron 128 informes (85,3%).
- Se observó que el porcentaje de alumnos aprobados en la primera corrección alcanzó un 83,6% (107 informes).
- De la evaluación de los informes de laboratorio se desprende que en general estos informes estaban redactados con un buen nivel académico, considerando que este grupo de alumnos está cursando el primer semestre de sus respectivas carreras.
- A pedido de los alumnos, se amplió el plazo de presentación de los informes a 10 días, sin embargo 37 alumnos enviaron la tarea con retraso (28,9%). Se vió la necesidad de ampliar el plazo de presentación del informe a unas dos semanas.
- No se reportó ningún tipo de problemas para acceder a la plataforma LabsLand.
- Se observaron interconsultas entre los alumnos en el grupo de WhatsApp, si bien los trabajos eran individuales hubo un acercamiento a un trabajo colaborativo entre los mismos.
- En cuanto al Laboratorio Remoto en sí, el equipo docente quedó satisfecho porque permitía una amplia exploración del tema, aunque se abordó de manera muy simple, también permitía que cada alumno hiciera una experiencia individual (con distintos datos para cada uno).

5 CONCLUSIONES

La evaluación por competencias resultó totalmente aplicable. Para la redacción de los resultados de aprendizaje plasmados en la rúbrica, se necesitó unificar los criterios de evaluación de los docentes, integrando con actividades de enseñanza en una misma aula virtual.

Los resultados obtenidos, fueron ampliamente satisfactorios, ya que los alumnos, en un alto porcentaje, cumplieron con la presentación de informes del laboratorio remoto y observando trabajos de muy buena calidad a la luz de la rúbrica.

Al ser una tarea individual la redacción del informe, permitió que cada uno de los alumnos realice una “actuación competente”, poniendo en práctica, saberes conceptuales, procedimentales y actitudinales y comience a adquirir las competencias de comunicación y argumentación. El resultado de esto fue la presentación de informes originales, siguiendo las pautas de la rúbrica, pero también ayudados por el tipo de

laboratorio (LR), que permitió flexibilizar a la hora de tomar datos, manejar los tiempos repitiéndolo cuantas veces quisieran los alumnos. Esto mostró la utilidad de las rúbricas como tipo de evaluación formativa, es decir siempre acompañando a las actividades de enseñanza. Es una experiencia extrapolable tanto a otros niveles dentro de la carrera, como a otras carreras en otros lugares de dictado.

6 REFERENCIAS

- Carlino, P. *Escribir, leer y aprender en la universidad*. Fondo de Cultura Económica de Argentina. Buenos Aires, 2005.
- Bravo, S, Pesa, M. Desarrollo de competencias de comunicación y argumentación mediante informes de laboratorio. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 30, 323-331, No. Extra, Nov, 2018.
- Idoyaga, I, Maeyoshimoto, J. Capítulo IV Las actividades experimentales simples: una alternativa para la enseñanza de la física. En Lorenzo, M.G. y otros, *Comunicando la ciencia: Avances en investigación en didáctica de las actividades experimentales simples: una alternativa para la enseñanza de la física*. (55-68). Santa Fe, Argentina: Ediciones UNL, 2017.
- Libro Rojo de CONFEDI. Propuesta De Estándares De Segunda Generación Para La Acreditación De Carreras De Ingeniería En La República Argentina, 2018.
- Moreira, M. A. *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Fundação Universidade de Brasília, 2006.
- Ruggeri, A.I., Anriquez, C.B. Implementación de un Laboratorio Remoto en Física. *Revista de Enseñanza de la Física*. N° 31, 639-646, No. Extra, Nov. 2019.
- Vigotsky, L. (Traduc. J. Nieto). *A Formação social da mente*. Brasil: Martins Fontes. 1991.
- Zabala, A, Arnau, L. 11 ideas clave. *Como aprender y enseñar competencias*, Barcelona. España: GRAÓ. ISBN: 978-84-7827-500-7, 2008.

Dictado virtual de una materia del ciclo superior de Ingeniería Química

Tarifa, Enrique E.^{1,2}; Martínez, Sergio L.¹ y Argañaraz, Jorgelina F.³

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*

eetarifa@fi.unju.edu.ar; smartinez@fi.unju.edu.ar

(2) *CONICET*

(3) *Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Jujuy.*

jfarganaraz@hotmail.com

RESUMEN

La emergencia sanitaria causada por la COVID-19 obligó a las universidades a adaptarse rápidamente al dictado remoto de emergencia. De por sí este cambio plantea serios desafíos, los cuales se vieron intensificados por lo inesperado de la pandemia y por la instalación de una cuarentena al inicio del primer cuatrimestre del ciclo lectivo 2020. En este contexto, la materia “Simulación y Optimización”, del último año de la carrera Ingeniería Química que se dicta en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy, debió adaptarse al nuevo escenario. En este trabajo, se presenta la experiencia de esa cátedra. Se analizan todas las decisiones tomadas para implementar el dictado virtual de la materia, como así también el impacto que tuvieron esas decisiones en los resultados del dictado de la materia.

ABSTRACT

The health emergency caused by COVID-19 forced universities to quickly adapt to remote emergency teaching. In itself, this change poses serious challenges, which were intensified by the unexpectedness of the pandemic and by the installation of a quarantine at the beginning of the first half of the 2020 academic year. In this context, the subject “Simulation and Optimization”, of the last year of the Chemical Engineering career that is taught at the Faculty of Engineering of the National University of Jujuy, had to adapt itself to the new scenario. In this work, the experience of this chair is presented. All the decisions made to implement the virtual teaching of the subject are analyzed, as well as the impact that these decisions had on the results of the subject teaching.

Palabras claves: educación virtual – videoconferencia – aula virtual

Keywords: virtual education – videoconference – virtual classroom

1 INTRODUCCIÓN

A fines de 2019, se registraron en China los primeros casos de la enfermedad infecciosa denominada COVID-19. El 11 de marzo de 2020, preocupada por la rápida propagación de la epidemia, la OMS (Organización Mundial de la Salud) la declaró pandemia (*COVID-19*, 2020). Ante la grave situación, el 11 de marzo, el Gobierno de Jujuy tomó medidas para restringir la circulación de personas y, el 20 de marzo, el Gobierno argentino inició una cuarentena (Gutiérrez, 2020).

Ante el inminente inicio del primer cuatrimestre, las universidades adoptaron políticas diferentes. Varias anunciaron la apertura de centenas de aulas virtuales. Otras, siendo la UBA

(Universidad de Buenos Aires) la más notable, decidieron postergar el inicio del cuatrimestre (Fernandez, 2020).

Algunas universidades estaban preparadas gracias a que ya contaban con un SIED (Sistema Institucional de Educación a Distancia) en pleno funcionamiento. Tal fue el caso de la UCA (Universidad Católica Argentina). La plataforma EVA-UCA aloja las aulas virtuales de todas las cátedras, incluye una aplicación para tablets y teléfonos celulares. Además, está enlazada con la biblioteca digital de la universidad. La infraestructura de la plataforma fue ampliada para soportar a la totalidad de los estudiantes en línea. Asimismo, incrementó el número de licencias de software para el dictado de clases sincrónicas. Por otro lado, cada aula física tiene un aula con

tecnología Zoom homónima. Docentes y alumnos se encuentran en la plataforma en el mismo día y horario que el de las clases físicas. Además, la universidad realizó una ampliación a su centro de atención integral para los estudiantes. El SIED de la universidad se compone de tres áreas de trabajo: el área pedagógica, encargada de asesorar en el diseño pedagógico y en la implementación y evaluación de prácticas educativas mediadas por tecnologías; el área de producción multimodal, que colabora con el planteo y diseño de materiales multimediales e interactivos; y el área de tecnología, la cual se encarga de la administración de la plataforma (*Universidades y cursos*, 2020).

El calendario académico de la Facultad de Ingeniería de la UNJu (Universidad Nacional de Jujuy) tenía programado el inicio de clases el 16 de marzo. Frente a la declaración de cuarentena, el 15 de marzo, el Decano de esa facultad emitió la Res. FI 150/20, que resuelve:

REQUERIR al personal Docente a cargo de Asignaturas que adopten las medidas necesarias procurando garantizar el desarrollo del calendario académico, los contenidos mínimos de las asignaturas y su calidad, habilitando la implementación transitoria de modalidades de enseñanza a través de los campus virtuales, medios de comunicación o cualquier otro entorno digital de que dispongan tanto para el desarrollo del aprendizaje como para atender las consultas de las Alumnas y los Alumnos.

Muy poco de lo que ofrecía la UCA a sus docentes en recursos y organización estaba disponible en la Facultad de Ingeniería de la UNJu para cumplir con el requerimiento planteado en la citada resolución.

En este contexto, el presente trabajo expone la experiencia de la cátedra “Simulación y Optimización” del 5° año de Ingeniería Química. Se describen las decisiones que se tomaron y sus fundamentos. Se exponen las dificultades que se presentaron y la forma en que se resolvieron. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos.

2 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA

Como ya se adelantó, la materia en cuestión es “Simulación y Optimización”, una materia del primer cuatrimestre del 5° año de Ingeniería Química. La cátedra cuenta con un profesor

titular dedicación exclusiva y un ayudante de primera dedicación simple. La carga horaria total es de 90 horas, distribuidas en 6 horas semanales (3 clases de 2 horas) a lo largo de las 15 semanas del primer cuatrimestre. En promedio, la cantidad de estudiantes es 15. Es una materia eminentemente práctica pero que requiere una sólida base teórica.

En 2013, se implementó un cambio de modalidad de dictado de la materia hacia una modalidad *b-learning* (Area Moreira, 2009). En esa modalidad, se mantenían las clases teórico-prácticas presenciales; pero la parte de resolución de problemas se realizaba exclusivamente a través de un aula virtual, la cual empleaba casi todas las herramientas que ofrece Moodle (*Moodle*, 2020): encuestas, bases de datos, cuestionarios, tabla de calificaciones. Si bien, se mantenía un horario de consulta presencial, la mayoría de las consultas se realizaban en el aula virtual.

Cabe destacar que, para implementar el cambio de modalidad, la cátedra no se limitó simplemente a introducir una herramienta tecnológica, como lo es el aula virtual, sino que debió dar un nuevo formato al contenido propuesto, adaptar el dictado presencial y modificar totalmente el sistema de evaluación. Estos cambios fueron graduales, y aún continúan realizándose en cada ciclo lectivo (Tarifa et al., 2015).

3 MODALIDAD VIRTUAL

La resolución por la cual el Decano de la Facultad de Ingeniería de la UNJu requirió el paso a la modalidad virtual fue emitida un día antes del inicio del cuatrimestre. El cambio requerido implicaba la consideración de varios factores, y la toma de decisiones adecuadas para no perjudicar a los estudiantes. A continuación, se analizan los factores que demostraron ser los más importantes en este cambio de modalidad.

3.1 Tiempo

La primera decisión que se tomó fue postergar el inicio de clases de la materia por una semana. En esa semana, se tomaron varias decisiones en base a la experiencia de otras universidades.

El primer problema que se presentó fue cómo comunicar a los estudiantes la nueva fecha de inicio de clases y la plataforma a emplear. Se intentó enviar un mensaje a todos los estudiantes inscriptos en la materia a través del servicio de

mensajería del SIU Guaraní (sistema de información universitario). El sistema reportó un error, y el mensaje no pudo enviarse. Entonces, se publicó un aviso por Facebook, incluyendo una dirección de mail para que los estudiantes se comunicaran con la cátedra.

Desde el principio, se sabía que la cátedra no estaba preparada para cumplir con todos los estándares de un curso diseñado para ser dictado en forma remota. No contaba con material específico de esa modalidad: unidades de aprendizaje en SCORM (*¿Qué es el estándar SCORM?*, 2020), videos propios, materiales didácticos propios. A esto, se sumaba que los estudiantes no podrían acceder a la bibliografía de la materia por estar cerrada la biblioteca de la facultad. Por estos motivos, se decidió optar por un dictado remoto de emergencia, en el cual se replicaría lo que se hacía en forma presencial, dentro de las restricciones impuestas por el tiempo y la falta de recursos. Es importante el reconocimiento de estas limitaciones para evitar luego atribuir injustamente a la modalidad virtual los posibles fracasos de una pobre imitación impuesta por la pandemia. A falta de este reconocimiento, no pocas personas y medios de comunicación están sentenciando el fracaso de la educación virtual, sin entender que lo que están viendo, en su gran mayoría, no es educación virtual.

Una vez decidido que se optaría por una educación remota de emergencia, se decidió también que las videoconferencias fueran en los días y horarios que estaban reservados para las clases presenciales. Esta decisión estaba también destinada a no alterar más de lo que ya estaba la vida de los estudiantes. Además, se consideró que sería bueno mantener un contacto fluido con los estudiantes en un escenario incierto y distante.

3.2 Recursos

La falta de recursos apropiados para la modalidad virtual fue común a todas las universidades. Hasta la UBA reconoció que no contaba con los recursos necesarios (Nuñez, 2020).

En ese marco, se decidió continuar con el uso del aula virtual que la materia tenía en la plataforma UNJu Virtual, la plataforma oficial de la UNJu (*UNJu Virtual*, 2020). Para la realización de las videoconferencias, se probaron varios programas: BigBlueButton, Zoom, Google Meet, Jitsi Meet. Todos mostraron problemas debido a la

saturación que sufrió Internet por el aumento drástico de la demanda causado por el teletrabajo y la educación virtual (*Enacom recomienda*, 2020). Si bien BigBlueButton está integrado al aula virtual, y está especialmente diseñado para dar clases, no fue elegido porque a la saturación de Internet se sumó la saturación de UNJu Virtual. Entonces, se eligió Google Meet por la calidad de la conexión y porque no exigía que los estudiantes instalaran una aplicación o tuvieran que abrir una cuenta en otra plataforma. Sin embargo, en la segunda semana de clase, se debió abandonar Google Meet porque varios estudiantes reportaron bloqueos de sus navegadores. Entonces, se cambió a FreeConferenceCall, una aplicación gratuita, sin límite de tiempo de conexión, con capacidad para 1000 asistentes, con aplicaciones para celulares y 1 GB de espacio de almacenamiento para guardar las grabaciones de las videoconferencias (*FreeConferenceCall.com*, 2020). Para realizar el cambio, fue necesario preparar un tutorial sobre la instalación, configuración y el uso de la aplicación. A esto se sumó, el tiempo destinado a consultas para resolver problemas técnicos que algunos estudiantes tuvieron con la aplicación. Un tiempo adicional fue dedicado para que los estudiantes completaran sus perfiles en esta aplicación para poder identificarlos correctamente durante la clase.

En cuanto a cómo realizar las videoconferencias, se estudiaron las modalidades que emplean los docentes que dictan clases virtuales, cuyos videos están disponibles en YouTube. Al no tener una tableta digitalizadora, se descartó el ir escribiendo y dibujando a medida que se presentaba un tema. Tampoco se contaba con una pizarra, ni con una cámara con trípode, ni con un micrófono inalámbrico para transmitir una emulación de la clase presencial. Por motivos similares, se descartó también tener un bloc de notas tradicional en reemplazo de la pizarra. Pretzi fue descartado porque implicaba una carga adicional a la conexión. Al cabo de analizar estas y otras alternativas, se concluyó que lo único que podía implementarse en el tiempo que se tenía eran presentaciones con PowerPoint.

En el dictado presencial de la materia, no se empleaban este tipo de presentaciones, así que se debían crear completamente. Además, por las características de los temas desarrollados, las diapositivas debían ser animadas para mostrar gradualmente la información y destacar los

aspectos importantes. Esto exigía un cuidadoso diseño de cada diapositiva y un laborioso trabajo de animación. Para varias diapositivas, se debieron elaborar diagramas y dibujos usando otras aplicaciones. Otras imágenes fueron conseguidas a través de largas búsquedas por Internet. Para el diseño gráfico de las diapositivas, se consultaron sitios y tutoriales disponibles en Internet.

Por último, estaba el tema de la conexión a Internet. Para contar con una conexión confiable, se contrató un servicio de 100 Mbps de bajada y 20 Mbps de subida. Aun así, existieron problemas de saturación de la conexión, con pérdidas importantes de velocidad de conexión, las cuales obligaron a tomar medidas drásticas como la de apagar las cámaras de todos los asistentes y del docente, quedando todo el ancho de banda para la presentación y el audio. Debido a estos problemas y a la inestabilidad del aula virtual, se decidió dejar sin efecto la toma de asistencia, y se puso a disposición de los estudiantes las grabaciones de las videoconferencias para que pudieran verlas en los horarios que la conexión mejoraba. Además, los estudiantes solicitaron que se permitiera la descarga de las grabaciones, a lo cual se accedió.

3.3 Pedagogía

Hasta este punto, sólo se trató el componente tecnológico y de gestión. Sin embargo, Rozo Sandoval (2010, p. 37) plantea:

el uso de Tecnología de Información y Comunicación en sí mismo no resuelve ningún problema educativo, ni mejora la calidad, ni representa ninguna innovación; en especial si, asociado a ello, no existe una comprensión de las transformaciones estructurales que se dan en la red y, en consecuencia, de propuestas pedagógicas que atiendan tales desafíos.

Si bien la materia ya se dictaba con una modalidad *b-learning*, haciendo uso intensivo del aula virtual, se debía reemplazar totalmente el dictado de las clases presenciales. Esto implicaba un cambio del modelo pedagógico de la materia.

La saturación de Internet obligó a reducir al mínimo las tareas grupales. De este modo, todos los trabajos prácticos pasaron de ser trabajos grupales a ser trabajos individuales, dejando solo el trabajo final como trabajo grupal. Por el mismo motivo, se anuló la obligatoriedad de contestar los cuestionarios teóricos de cada módulo.

A pesar de que la función primaria de las aplicaciones para videoconferencias es la transmisión de la imagen de la persona que habla, por la saturación de Internet, también se debió renunciar a esta funcionalidad. Así que, durante las clases, ni los estudiantes podía ver al docente, ni el docente a los estudiantes. Por lo tanto, no existía una retroalimentación visual de cómo estaban recibiendo los estudiantes la clase. La imposibilidad de poder comunicarse con lenguaje no verbal, hizo que la eficacia de las videoconferencias dependiera exclusivamente de la presentación y del audio. Por otra parte, al exigir la presentación la atención total del docente, el chat quedaba desatendido. Por ambos motivos, se alentó a los estudiantes a que intervinieran abriendo sus micrófonos cuando tuvieran dudas o algún aporte.

Se realizaron prácticas en las que los estudiantes debían compartir sus pantallas y explicar a sus compañeros lo que habían realizado. Esto es algo difícil de hacer en las clases presenciales, y es un punto positivo de la modalidad virtual.

Una modificación importante que impuso la videoconferencia a la dinámica de las clases teórico-prácticas fue la forma de llevar a cabo la parte práctica. En las clases presenciales, mientras el docente explicaba los pasos a seguir para resolver un problema, los estudiantes iban ejecutando esos pasos en sus computadoras. Esto no era posible en las videoconferencias debido a la dificultad que planteaba la necesidad de estar alternando continuamente ente la aplicación de la videoconferencia y la aplicación que se estaba usando para resolver el problema. Entonces, se solicitó a los estudiantes que no intentaran reproducir los pasos mientras el docente estuviera explicando la actividad. Luego, deberían ver la grabación de la clase y, ante cualquier dificultad, podrían realizar consultas en el aula virtual. También, se les sugirió que copiaran la pantalla mientras se realizaba la explicación. Para ello, se recomendó el programa gratuito ShareX (ShareX Team, 2020).

Al diseñar la presentación, se tuvo en cuenta que no era conveniente mostrar toda la información de una diapositiva simultáneamente, sino que debía realizarse en forma gradual y sincronizada con la explicación del docente, tal como ocurre cuando se utiliza una pizarra. De no procederse de esta forma, los estudiantes se verían abrumados por la cantidad de información presente en la diapositiva, y no sabrían a qué

parte de la misma se está refiriendo la explicación.

Otra dificultad que vino aparejada con la videoconferencia fue la necesidad de realizar anotaciones en la pantalla, destacar cierta parte con recuadros o flechas, y realizar la ampliación de alguna parte de la pantalla. Si bien, en algunos casos, esto se hacía programando la animación en Microsoft PowerPoint, la dificultad aparecía cuando algún estudiante preguntaba algo cuya respuesta no había sido contemplada en la presentación. Luego de probar un par de aplicaciones, se decantó por una aplicación gratuita que ofrece todas las funcionalidades necesarias: ZoomIt (Russovich, 2019). Para realizar, anotaciones más largas, se utilizó el programa gratuito Notepad++, un bloc de notas que permite hacer zoom, y abrir varios archivos y compararlos (Ho, 2020). Para realizar cálculos durante alguna explicación, se utilizó la aplicación gratuita SpeQ Mathematics, una calculadora avanzada que consume pocos recursos y ofrece varias funcionalidades: mantiene en pantalla los cálculos realizados, permite hacer zoom, grafica y permite definir funciones y variables (de Jong, 2010). Para gráficos 2D y 3D más avanzados, se empleó GeoGebra (*GeoGebra*, 2020).

Para el último trabajo práctico, se probó el modelo de aula invertida. En este modelo, los estudiantes reciben material diseñado para que estudien en forma autónoma la parte teórica; por lo general, videos de 3 a 7 min, complementados con otras fuentes. Luego, en la clase presencial, se proponen actividades para que los estudiantes apliquen el conocimiento adquirido. El docente selecciona el material para la parte virtual, y actúa como guía en la parte presencial (López Moreno, 2014).

Se les comunicó a los estudiantes que el último módulo de la materia se iba a realizar empleando aula invertida, y se le explicó en qué consiste ese modelo. La complejidad del tema a tratar en el último trabajo práctico, no permitía resumir la presentación de la parte teórica en un video de 7 min como se recomienda en este modelo, aun considerando la incorporación de material complementario. Entonces, se decidió continuar utilizando la videoconferencia para dar la parte teórica. Las clases fueron grabadas, así que los estudiantes podían ver las grabaciones para repasar el tema. De este modo, se estaba permitiendo que el estudiante aún regulara en

forma autónoma el aprendizaje de la parte teórica, siempre con la posibilidad de realizar consultas por medio del aula virtual.

Para la parte práctica, habiendo verificado que la saturación de Internet ya había pasado, se decidió emplear la aplicación BigBlueButton. Esta aplicación ofrece varias ventajas: está integrada al aula virtual, los estudiantes ya están registrados en la aplicación, tiene un bloc de notas y una pizarra interactiva; además, permite realizar encuestas, crear salas grupales de videoconferencias, guardar el registro de asistentes, compartir videos. Esta última funcionalidad destaca a BigBlueButton por sobre las otras aplicaciones de videoconferencia, y hace posible otra dinámica de la clase.

Durante la clase práctica en sí, se les solicitó a los estudiantes que resolvieran los problemas de la última guía de trabajos prácticos. Para ello, se comenzó analizando el enunciado del primer punto, y se alentó a que algún voluntario comenzara a plantear la solución en el bloc de notas compartido. Esto sería el equivalente a que un estudiante pase al pizarrón en una clase presencial. Mientras el estudiante planteaba la solución, se pidió a los otros estudiantes que hicieran aportes y ayudaran al compañero que estaba planteando la solución. Para esta parte, también se empleó la funcionalidad de encuestas que ofrece la aplicación. Con esta función, es posible presentar opciones a los estudiantes para que elijan, la aplicación informa la opción elegida por cada estudiante, y calcula los porcentajes de votos que recibió cada opción. De esta manera, se puede conocer en qué medida los estudiantes están participando y comprendiendo la clase. Dada la complejidad de los puntos del práctico, no pudieron resolverse en forma completa cada uno de ellos; pero sí pudo avanzarse en el planteo, quedando para los estudiantes completar la resolución y elaborar el informe fuera de clase.

En definitiva, la implementación que se realizó de la clase invertida fue una adaptación a las características de la materia. Fue necesario destinar una clase adicional para desarrollar la clase práctica. Los estudiantes participaron a pesar de no estar acostumbrados al modelo. Puede ser una interesante opción a explorar.

La única actividad grupal que se realizó fue el trabajo final. Para ello, se formaron grupos de cinco estudiantes, y se les dio un problema abierto para resolver. Todos los grupos recibieron el mismo enunciado. Luego de algunas semanas,

debían presentar el informe de avance. Para la presentación de este informe, se destinó parte de una clase. Cada grupo debía presentar en 10 min cómo había avanzado en la resolución del problema. Para alentar la participación activa de todos los integrantes de los grupos, la persona encargada de hacer la presentación fue elegida al azar, justo antes de hacer la presentación. Para ello, se empleó un generador de números aleatorios que mostraba en pantalla el sorteo realizado (el generador de Google). Al finalizar la presentación de cada grupo, se solicitó que los otros estudiantes realizaran preguntas o aportes. Debido a que todos estaban trabajando sobre el mismo problema, pero con diferentes enfoques, hubo varias preguntas y aportes. Algunas semanas después, se realizó la presentación del informe final. Esta vez, las preguntas y aportes fueron nulos. Para cerrar el trabajo final, se solicitó que los estudiantes completaran una rúbrica de autoevaluación y coevaluación de sus compañeros de grupo. En general, las evaluaciones que realizaron asignaron el máximo puntaje.

3.4 Evaluación

La evaluación siempre es un tema difícil, y más aún cuando se combina con la virtualidad. Este aspecto fue el que condujo a que varias materias dejaran sin efecto el régimen de promoción. En la virtualidad, se plantea el problema de la verificación de la identidad de los estudiantes, de evitar que copien y de recolectar suficiente evidencia del aprendizaje. Cada uno de estos problemas constituye un desafío para los cuales existen algunas guías (*Sugerencias para los exámenes finales y parciales a distancia*, 2020).

Las guías publicadas sugieren priorizar la evaluación formativa, que evalúa el proceso de aprendizaje del estudiante, por sobre la sumativa, que evalúa los resultados de ese proceso. La evaluación formativa se realizó principalmente a través de los trabajos prácticos y de los cuestionarios teóricos que se publicaron semanalmente.

Tres días antes del vencimiento del plazo para presentar el informe de cada trabajo práctico, la cátedra publicaba un documento con las respuestas correctas. Los estudiantes debían comparar estas respuestas con las que habían obtenido; y de encontrar diferencias, debían realizar una consulta. Con este método, las

consultas aumentaron significativamente en comparación a años anteriores.

En cuanto a la evaluación sumativa, la misma se realizó con dos parciales. Para la identificación de los estudiantes, se solicitó que enviaran copias escaneadas de sus documentos de identidad. Quienes no disponían de un escáner, debían instalar una aplicación en el celular que emulara un escáner, para lo cual se recomendó un listado de aplicaciones gratuitas (Ruíz, 2020).

En el primer parcial, se solicitó que los estudiantes tuvieran encendidas las cámaras y los micrófonos todo el tiempo. Sin embargo, luego de analizar el debate que se inició por la potencial invasión de la privacidad de los estudiantes (Swauger, 2020), se decidió que el encendido de las cámaras y de los micrófonos fuera voluntario para el segundo parcial. Con esta opción, ningún estudiante encendió esos dispositivos.

Ante la posibilidad de que los estudiantes se conectan entre ellos para compartir la resolución de los puntos, se decidió elaborar un parcial diferente para cada estudiante. Se elaboró un enunciado patrón, y se generaron datos diferentes para cada estudiante. La diferencia en los datos no solo alteraba los resultados, sino también el procedimiento a seguir. Para generar los datos y calcular los correspondientes resultados, se empleó una planilla de Microsoft Excel. Usando el entorno de Visual Basic para Aplicaciones incluido en Excel, se programaron los algoritmos para calcular la solución de cada enunciado. De este modo, se elaboró una planilla que contenía los datos y los resultados correspondientes al enunciado de cada estudiante. Esta planilla se utilizó para la corrección de los parciales.

En cada parcial, los estudiantes debían hacer el desarrollo de los puntos en forma manuscrita, y emplear el software que fuera necesario. También, debían elaborar un documento Microsoft Word que contuviera la respuesta de cada punto del parcial. Al finalizar el parcial, debían escanear las hojas manuscritas, y enviarlas junto con el documento Word y los archivos generados por el software que hubieran empleado.

4 RESULTADOS OBTENIDOS

Todos los estudiantes que registraron su inscripción en la materia participaron del dictado virtual. Lo cual dispuso el primer problema de esta modalidad: la falta de conexión de los

estudiantes. Para conocer en qué condiciones estaban participando los estudiantes en las clases virtuales, se realizó una encuesta. De 16 estudiantes, 13 respondieron la encuesta. La encuesta fue anónima.

La Fig. 1 presenta las respuestas que los estudiantes dieron a la pregunta acerca de la calidad de la conexión de Internet que disponían. Solo un estudiante declaró tener una mala conexión.

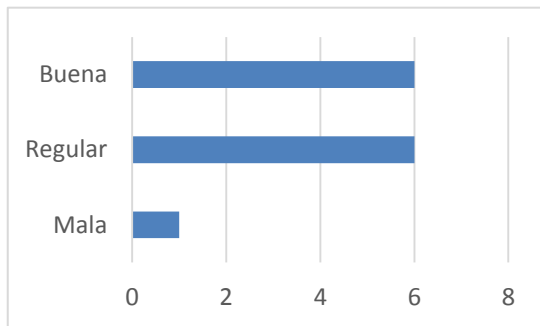


Figura 1. Calidad de la conexión a Internet.

La Fig. 2 muestra las respuestas sobre la calidad de la transmisión de la imagen de las videoconferencias. Como puede apreciarse, no hubo problema con ese aspecto; posiblemente porque la presentación no requería gran cantidad de ancho de banda. Sin embargo, cuando se intentó compartir un video usando la función de compartir pantalla de FreeConferenceCall, los estudiantes no pudieron escuchar el audio del video, el movimiento no era fluido y la voz del docente se entrecortaba. En este caso, al consumir el video una gran porción del ancho de banda, se produjo la degradación de la calidad de la transmisión. Lo mismo ocurrió con Google Meet. En cambio, cuando se empleó la aplicación BigBlueButton, no se presentó ningún problema. Esto es debido a que la aplicación emplea un enfoque diferente para realizar la transmisión. En lugar de compartir la pantalla, se comparte un link de un video de YouTube. De esta manera, el video se reproduce en la computadora de cada estudiante; pero es el docente quien controla la reproducción.

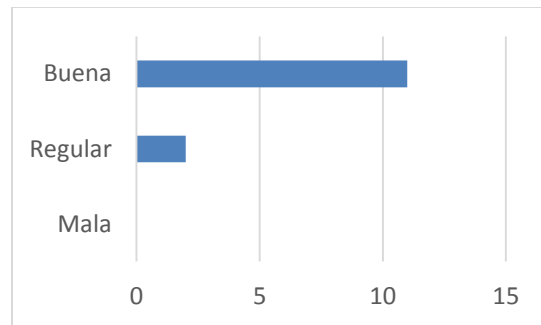


Figura 2. Calidad de la imagen.

La Fig. 3 brinda la opinión de los estudiantes con respecto a la calidad de la transmisión del sonido. Las repuestas marcan que la mitad de los estudiantes no recibieron la mejor calidad de sonido. Se descarta problemas en la emisión por parte del docente porque se utilizó un micrófono incorporado a un auricular de alta calidad, y como ya se dijo, se dispuso de una conexión de alta velocidad. Posiblemente, la pérdida de calidad se debió a la calidad de conexión de los estudiantes. Esta posibilidad se ve reforzada por la correlación que existe entre la cantidad de estudiantes que declararon tener una conexión regular de Internet (Fig. 1) con los que afirmaron recibir una calidad regular en la transmisión del sonido.

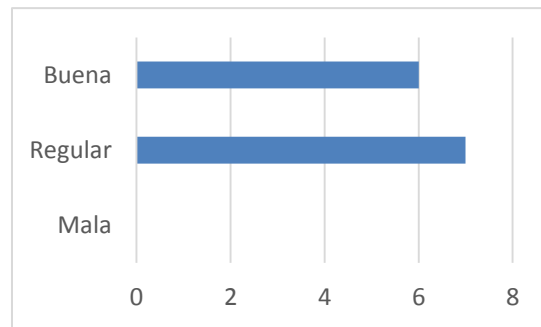


Figura 3. Calidad del sonido.

La Fig. 4 detalla los dispositivos utilizados por los estudiantes para participar en las videoconferencias. Se puede inferir que el único estudiante que declaró tener una mala conexión (Fig. 1) es también el único que se conecta con celular. La encuesta incluía la opción de tablet y otros dispositivos; pero ningún estudiante la eligió. La mayoría de los estudiantes participó de las videoconferencias con dispositivos que poseen pantallas pequeñas; por lo tanto, fue muy importante diseñar las presentaciones teniendo en cuenta ese factor. Por el mismo motivo, cobró especial relevancia el empleo de aplicaciones

como ZoomIt para ampliar determinados sectores de la pantalla.

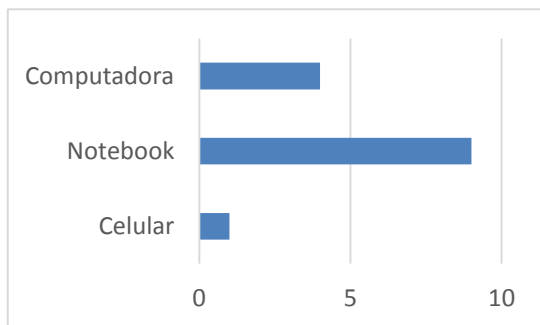


Figura 4. Dispositivos utilizados.

La Fig. 5 muestra que los estudiantes prefieren la aplicación FreeConferenceCall por sobre Google Meet para la realización de las videoconferencias. La principal diferencia entre estas aplicaciones es que FreeConferenceCall emplea un programa dedicado en lugar de un navegador. Posiblemente, eso contribuya a aumentar su estabilidad. Además, permite compartir archivos, lo que no es posible con Google Meet.

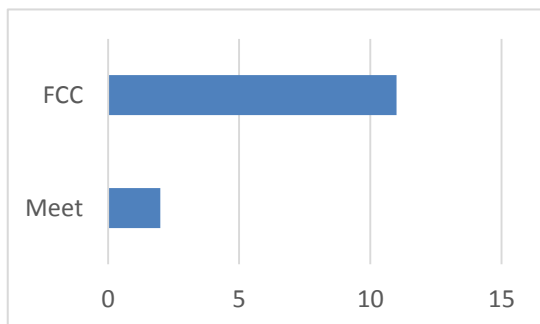


Figura 5. Aplicación preferida.

Por último, la Fig. 6 refleja que los estudiantes están empatados en cuanto a la modalidad que prefieren, virtual o presencial. Por lo tanto, se considera que las clases virtuales estuvieron a la altura de las clases presenciales.

Al finalizar el cuatrimestre, todos los estudiantes regularizaron la materia, como generalmente ocurre en la modalidad presencial de la materia. Uno de estos estudiantes ya se presentó a rendir el examen final, también en modalidad virtual, y aprobó la materia.

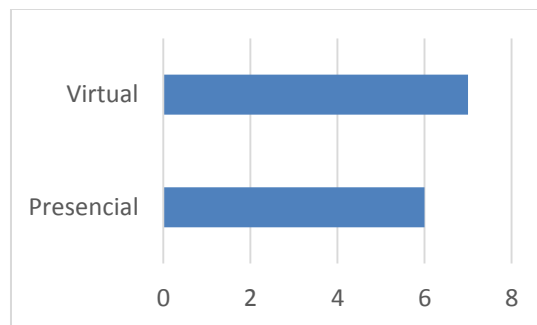


Figura 6. Modalidad preferida.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la experiencia del dictado virtual de una materia del último año de la carrera Ingeniería Química que se dicta en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Se analizó cada una de las decisiones tomadas, y se presentaron los resultados obtenidos.

Se considera que el dictado virtual fue exitoso. Sin embargo, ante la falta de un marco institucional adecuado, la cátedra tuvo que resolver por cuenta propia los numerosos problemas que presentó el dictado virtual de urgencia.

Considerando que aún no está definido cuándo finalizará la pandemia, es importante capitalizar la experiencia acumulada en el primer cuatrimestre para estar preparados para lo que sigue. Se puede comprender la improvisación que hubo en el primer cuatrimestre porque fue una adaptación a un contexto inesperado; pero en adelante, la universidad debe dar una respuesta bien planificada e implementada.

6 REFERENCIAS

- Area Moreira, M. *Introducción a la Tecnología Educativa. Manual electrónico*. Universidad de La Laguna. <https://campusvirtual.ull.es/ocw/file.php/4/ebookte.pdf>, 2009.
- COVID-19: *Cronología de la actuación de la OMS*. (2020, abril 27). [Organización Mundial de la Salud]. <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-04-2020-who-timeline---covid-19>, 2020.
- de Jong, J. (2010, abril 5). *SpeQ Mathematics*. <https://www.speqmath.com/>, 2010.
- Fernandez, M. (2020, abril 6). *Tras la decisión de la UBA, ¿cómo continuarán las clases en otras*

- universidades? Infobae. <https://www.infobae.com/educacion/2020/04/06/tras-la-decision-de-la-uba-como-continuara-las-clases-en-otras-universidades/>, 2020.
- FreeConferenceCall.com. FreeConferenceCall.com. <https://www.freeconferencecall.com/>, 2020.
- GeoGebra. GeoGebra. <https://www.geogebra.org/>, 2020.
- Gutiérrez, S. (2020, junio 27). *100 días de cuarentena en Argentina: Así fue la cronología del aislamiento* [Periódico]. TodoJujuy.com. <https://www.todojujuy.com/jujuy/100-dias-cuarentena-argentina-asi-fue-la-cronologia-del-aislamiento-n136022>, 2020.
- Ho, D. (2020, julio 16). *Notepad++*. <https://notepad-plus-plus.org/>, 2020.
- López Moreno, M. (2014, julio 7). *Aula invertida: Otra forma de enseñar y aprender*. nubemia. <https://www.nubemia.com/aula-invertida-otra-forma-de-aprender/>, 2014.
- Moodle—Open-source learning platform | Moodle.org. Moodle. <https://moodle.org/>, 2020.
- Núñez, S. (2020, abril 5). *El Rectorado de la UBA confiesa el fracaso virtual y decreta un “sálvese quien pueda”*. *Prensa Obrera*. <http://64.225.51.112/universidad/el-rectorado-de-la-uba-confiesa-el-fracaso-virtual-y-decreta-un-salvese-quien-pueda/>, 2020.
- Por la explosión del consumo casero, Enacom recomienda un uso racional de internet*. (2020, marzo 22). infobae. [/economia/2020/03/22/por-la-explosion-del-consumo-casero-enacom-recomienda-un-uso-racional-de-internet/](https://www.infobae.com/economia/2020/03/22/por-la-explosion-del-consumo-casero-enacom-recomienda-un-uso-racional-de-internet/), 2020.
- ¿Qué es el estándar SCORM? (2020). e-ABC Learning. <https://www.e-abclearning.com/queesscorm/>, 2020.
- Rozo Sandoval, A. C. *Dimensión pedagógica de la Educación Virtual: Una reflexión pendiente*. *Pedagogía y Saberes*, 32, 33-44. <https://doi.org/10.17227/01212494.32pys33.44>, 2010.
- Ruíz, C. (2020, marzo 23). *Las mejores apps para escanear documentos en Android*. AndroidAyuda. <https://androidayuda.com/aplicaciones/listas/apps-escanear-documentos/>, 2020.
- Russinovich, M. (2019, diciembre 11). *ZoomIt—Windows Sysinternals*. Microsoft. <https://docs.microsoft.com/en-us/sysinternals/downloads/zoomit>, 2019.
- ShareX Team. (2020, marzo 1). *ShareX—Screen capture, file sharing and productivity tool*. ShareX. <https://getsharex.com/>, 2020.
- Sugerencias para los exámenes finales y parciales a distancia en las universidades nacionales en el contexto del COVID-19* (p. 8). RUEDA. <https://www.frc.utn.edu.ar/prensa/pub/file/2020/Sugerencias%20Ex%C3%A1menes%20RUEDA-CIN.pdf>, 2020.
- Swauger, S. (2020, agosto 13). *El lado oscuro del software que vigila a los alumnos para que no copien*. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.es/s/12498/el-lado-oscuro-del-software-que-vigila-los-alumnos-para-que-no-copien>, 2020.
- Tarifa, E. E., Núñez, Á. F., Martínez, S. L., & Argañaraz, J. F. *Aula Virtual en Moodle: Cambio de Paradigma Educativo. X Tecnología en Educación en Tecnología*, 153-158. <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/445/411/1482-1>, 2015.
- Universidades y cursos: Cómo se dictan las clases virtuales durante la cuarentena*. (2020, marzo 31). Infobae. <https://www.infobae.com/inhouse/2020/04/01/universidades-y-cursos-como-se-dictan-las-clases-de-manera-virtual-durante-la-cuarentena/>, 2020.
- UNJu Virtual. UNJu Virtual. <https://virtual.unju.edu.ar>, 2020.

El desafío de la Educación remota de Emergencia: análisis de experiencias en la FACET

Torres Auad, Lía F.¹; Guzmán, Ma. Fernanda¹; Auvieux, Nicolás G.¹; José, Gustavo A.² y Martel José Eduardo.¹

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*

(2) *Facultad de Artes, Universidad Nacional de Tucumán*

ltorresauad@herrera.unt.edu.ar; mferguzman@herrera.unt.edu.ar; nauvieux@herrera.unt.edu.ar; gaj_484@yahoo.com; emartel@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El aislamiento social, preventivo y obligatorio derivado de la pandemia del Covid-19 impuso una imprevista y drástica adaptación, sobre la marcha, de los procesos de enseñanza-aprendizaje establecidos en la universidad. De un día para otro, a dos semanas del inicio presencial, el profesorado se vio en la necesidad de impartir sus asignaturas de forma no presencial, y el alumnado tuvo que seguir con sus estudios sin salir de casa.

Este trabajo tiene por objetivo elaborar un análisis reflexivo del desarrollo de las asignaturas en el primer semestre, a partir de las experiencias de las distintas cátedras de nuestra unidad académica, con un enfoque enmarcado en las particularidades propias de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán. Es menester reflexionar sobre el valor de la experiencia de la enseñanza presencial, capitalizando lo que se descubrió en las experiencias remotas, para integrar lo mejor de ambos mundos y acrecentar y/o profundizar la competencia digital docente del profesorado universitario de todas las áreas del saber.

ABSTRACT

The preventive and compulsory social isolation derived from the Covid-19 pandemic imposed an unforeseen and drastic adaptation, on the fly, of the teaching-learning processes established at the university. From one day to another, two weeks before the on-site start, the teaching staff found it necessary to teach their subjects in a non-face-to-face way, and the students had to continue with their studies without leaving home.

The objective of this work is to develop a reflective analysis of the development of the subjects in the first semester, based on the experiences of the different chairs of our academic unit, with an approach framed in the particularities of the Faculty of Exact Sciences and Technology of the Universidad Nacional de Tucumán. It is necessary to reflect on the value of the experience of face-to-face teaching, capitalizing on what was discovered in remote experiences, to integrate the best of both worlds and increase and/or deepen the digital teaching competence of university teachers in all areas of knowledge.

Palabras claves: Educación Remota de Emergencia - Modalidad Virtual – Aula Virtual – Tutoría Virtual

Keywords: Remote Emergency Education – Virtual Mode – Virtual Classroom – Virtual Tutoring

1. INTRODUCCIÓN

Hace ya muchos años que las características y las potencialidades de la Educación mediada o a distancia (EAD), han hecho de ella uno de los instrumentos estratégicos más apropiados para repensar la educación superior.

Los centros universitarios nacionales han incursionado en la EAD con diferentes motivaciones y por diferentes caminos. En un primer momento, las universidades argentinas se inclinaron a la modalidad virtual para la implementación de posgrados, en especial maestrías y especializaciones, puesto que estaban

orientadas a un público condicionado por actividades laborales que requerían flexibilidad horaria. Con el correr de los años, y con la experiencia adquirida y los antecedentes brindados por la educación superior en Europa, la oferta, aunque todavía escasa, comenzó a incluir carreras de grado, con determinadas características.

La Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán con la creación del Centro de Educación a Distancia e Investigación en Tecnologías Educativas en el año 2010, trabajó en la temática con un horizonte que parecía lejano y se fue alcanzando poco a poco.

Nuestra facultad, *“una de las pioneras en la UNT en la incorporación de las TIC en procesos de enseñanza-aprendizaje, delegó en el Centro de Educación a Distancia e Investigación en Tecnologías Educativas -CEDITE, la creación de un Entorno Virtual, que se concretó en el mes de agosto de 2011. Dicha gestión, enmarcada en el Plan Estratégico para la inserción de TIC en procesos educativos y la implementación de la Educación a Distancia en la FACET, implicó una serie de pasos y decisiones”*. (Guzmán, 2015)

Entre los ejes del mencionado Plan, estaba aquel vinculado a la formación y capacitación docente, que se desarrolló por 10 años y puso a disposición de toda la comunidad docente de la unidad académica, y de toda la UNT, una gran cantidad de Talleres y Cursos de Posgrado, con varias cohortes de dictado cada uno de ellos. Esta concepción de la necesidad de instrucción de los docentes en los principios de la modalidad virtual fue muy clara para los responsables del CEDITE: *“Es por eso que la enseñanza universitaria deberá acelerar los procesos que le permitan adecuarse al paradigma emergente -casi siempre resistido-, e implementar la formación del plantel docente”*. (Torres Auad, 2011)

Paralelamente comenzaron a realizarse esfuerzos en los diferentes departamentos para abordar experiencias de educación virtual, e implementación de herramientas TIC como soporte a la actividad presencial, prácticas que convergen en estrategias de “Extended-learning” implementadas en las Aulas de FACETVirtual.

Hacia finales del pasado 2019, el entorno contaba con 150 aulas extendidas que complementaban el dictado presencial de asignaturas de grado y posgrado, y que contaban con el soporte permanente del CEDITE. Es así que, a comienzos

del 2020 el Centro se planteó nuevos objetivos, y en el marco del proyecto PIUNT “Investigación y Desarrollos para el fortalecimiento de la Educación a distancia en la FACET”, pensó que era momento de implementar propuestas totalmente virtuales, para ampliar el espectro de destinatarios y extender la oferta académica.

2. IMPACTO MARZO 2020

Sin embargo, en el mes de marzo las planificaciones y proyecciones se vieron perturbadas. Las condiciones globales con la aparición de una enfermedad producida por un virus dieron un cimbronazo en la vida del planeta. El aislamiento social, preventivo y obligatorio derivado de la pandemia del Covid-19 impuso una imprevista y drástica adaptación, sobre la marcha, de los procesos de enseñanza-aprendizaje establecidos en la universidad. De un día para otro, a dos semanas del inicio presencial, el profesorado se vio en la necesidad de impartir sus asignaturas de forma no presencial, y el alumnado tuvo que seguir con sus estudios sin salir de casa.

No todos reaccionaron igual, y el nuevo escenario supuso un gran reto para todos los agentes implicados. En la Introducción quisimos describir el contexto en el cual se enmarcaba el trabajo del CEDITE, y las circunstancias en las que estaba inmersa la FACET al momento del asumir el reto. Este trabajo tiene por objetivo elaborar un análisis reflexivo del desarrollo de las asignaturas en el primer semestre, a partir de las experiencias de las distintas cátedras de nuestra unidad académica, con un enfoque enmarcado en las particularidades propias de la FACET y las trayectorias del CEDITE y de la modalidad virtual.

Entre los aspectos a analizar, mencionamos especialmente aquellos relacionados con el uso de la tecnología para la gestión educativa y, más concretamente, con el uso de lo digital para los procesos de enseñanza y aprendizaje en la educación superior.

Más allá de los docentes y el alumnado, los equipos directivos y el CEDITE, tuvieron que trabajar contrarreloj para dar respuesta, con requisitos de calidad y equidad a una situación sobrevenida. No se podía asumir la conectividad como servicio básico con el que todos ya contaban, puesto que tanto profesores como estudiantes iniciaron el proceso, que preferimos llamar “Educación remota de Emergencia”

(ERE), con disímiles condiciones de acceso a Internet. Es importante tener en cuenta que inicialmente muchos pensaron que el período de confinamiento sería acotado y que el regreso iba a ser inminente. Lo cual no sucedió.

Por otro lado, si bien el CEDITE ofreció a través de los años capacitaciones en la temática, sin la aplicación en tiempo y forma y sin la urgencia de la implementación, muchos docentes comenzaron a tientas a pensar estrategias para el dictado no presencial de sus asignaturas.

FACETVirtual vio incrementada su cantidad de Aulas Extendidas, con un número inusitado de solicitudes de creación de aulas en el período de dos semanas. A las 221 existentes, se sumaron ochenta y una aulas nuevas. El soporte técnico del CEDITE tuvo un trabajo exhaustivo, en orden a solucionar una gran gama de inconvenientes de distinto origen, además de brindar asesoramiento general.

Al finalizar el dictado, el pasado mes de agosto, se elaboró una encuesta anónima, dirigida a los docentes, que permitió el análisis de los aspectos fundamentales de las experiencias de las asignaturas. También participamos de la organización de un seminario web que ofreció a las cátedras, la oportunidad de exponer, de forma voluntaria, el trabajo realizado.

3. EDUCACIÓN REMOTA DE EMERGENCIA

Antes de comenzar el análisis de la información obtenida en ambos eventos, nos es preciso ofrecer un marco teórico de referencia. Hablamos de Educación remota de Emergencia para hacer especial diferenciación con la Educación a Distancia en su conceptualización más cabal (Hodges, 2020).

La educación a distancia o plantea una nueva forma de relación pedagógica entre quienes enseñan y quienes aprenden, a través de diferentes medios. El ministerio de Educación de la Nación en su resolución 2641-E/2017 la define como: *Opción pedagógica y didáctica donde la relación docente/alumno está separada en el tiempo y/o uso del espacio durante todo o gran parte del proceso educativo, en el marco de una estrategia pedagógica integral. Utiliza soportes materiales y recursos tecnológicos, tecnologías de la información y la comunicación diseñados especialmente.*

La EAD requiere de planificación, de diseño instruccional, de equipos interdisciplinarios que permitan la elaboración de materiales didácticos previa y especialmente diseñados. Marta Mena sostiene que los materiales didácticos consisten en “el conjunto de informaciones, orientaciones, actividades y propuestas que el sistema a distancia elabora ad-hoc para guiar al alumno en su proceso de aprendizaje, contenidos en un determinado soporte o en varios y que se ponen a disposición de los alumnos por diferentes vías.” (Mena, 2005).

Por ello podemos afirmar, junto a Pardo Kuklinski, que la ERE es un modo forzado y fugaz de la educación a distancia, y para algunas instituciones y docentes es una exigencia con la que no se sienten cómodos. Bien entendida, debe servir como punto de partida para cambios que deberían haberse realizado hace mucho tiempo y que hoy se están haciendo en tiempo real, con un mayor nivel de tolerancia hacia el error por parte de los estudiantes. Cualquier diseño instruccional riguroso conlleva a buenas prácticas docentes, especialmente en la distancia, donde el margen de improvisación debe ser menor para no afectar la experiencia de usuario (Pardo Kuklinski, 2000).

En resumen, a diferencia de las experiencias planificadas desde su origen y diseñadas para la modalidad virtual, la ERE es un cambio temporal de la entrega de instrucción a un modo de entrega alternativo debido a circunstancias de crisis.

A modo de síntesis, queremos dejar explícito un pensamiento al que adherimos profundamente, propuesto por el Banco Mundial durante la pandemia, refiriéndose a la educación básica (World Bank Group. 2000):

“Ya sea si se enseña en una universidad presencial o en una virtual, parte de la solución sería eliminar definitivamente la barrera entre la formación presencial y virtual, y diseñar la experiencia académica como una única línea de tiempo narrativa multimedia expandida donde el docente y los estudiantes puedan servirse de modo colaborativo de lo mejor de ambos mundos, con un inventario de contenidos propios y externos surgidos de una intensa búsqueda y ajustados a una secuencia de aprendizaje”

4. DE LAS ENCUESTAS

La encuesta elaborada por el CEDITE consta de 35 preguntas distribuidas en los siguientes ítems: recursos, conocimientos previos, dictado

propiamente dicho, los contenidos, los estudiantes y Tutorías y seguimiento de alumnos.

Sobre una cantidad aproximada de 400 docentes en la unidad académica y con un período menor a una semana para completar la encuesta, se obtuvo un total de *noventa y cinco* respuestas enviadas. Considerando el nivel de ocupación y el estrés evidenciado en la mayoría de los docentes por la vivencia de una coyuntura impensada, el porcentaje de 25% fue mayor del esperado. Como se mencionó anteriormente, fue necesario indagar, en un primer instante, los recursos con los que los docentes contaron para el desarrollo de su actividad una vez decretado el aislamiento. De los 95 encuestados, casi el 72% cuenta con una computadora de escritorio o portátil de uso exclusivo, y casi el 89% tiene Internet en su hogar, y sólo un 4% utiliza datos del celular.

Un 24% de los docentes comparten el uso de la computadora, dato muy revelador ya que limita la cantidad de horas y la franja horaria de su actividad. Otro dato preocupante es que sólo el 41% cuenta con un espacio de trabajo de uso exclusivo y el 35% debe compartirlo con otros miembros del hogar. Por otro lado, hay un 16% de docentes que comparten el ámbito de laboral sólo en algunas franjas horarias, sumado al 41% mencionado, permite suponer más del 50%.

Luego de la información referida a los recursos, se indagó a los docentes respecto de los conocimientos previos referidos a las herramientas tecnológicas al momento de asumir la educación remota de emergencia. Llamados a cuantificar numéricamente del 1 al 5 (menos a más), un 37% estimaron un nivel medio y otro 35% en un nivel superior, aunque no máximo, lo cual ofrece un porcentaje de más del 70%, muy aceptable. Lo que es muy importante destacar es que consultados acerca del interés por aprender nuevas herramientas alcanza al 70% de los docentes encuestados en su cuantificación máxima (también del 1 al 5), cifra que, sumada al 19% de la cuantificación inmediata anterior, podemos suponer, augura una evolución favorable de estas prácticas, con un 90% de educadores ávidos de conocer nuevas herramientas.

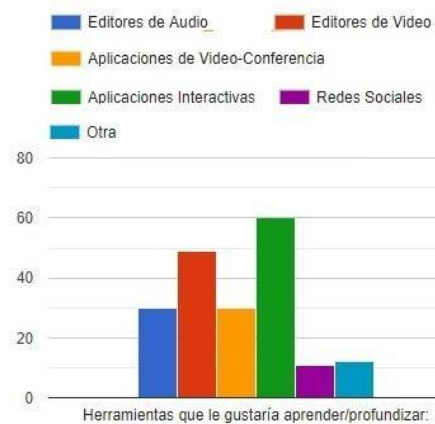
Nos detenemos en este punto. Aun cuando las circunstancias han promovido en los docentes la necesidad de utilizar cuanto dispositivo tuviese a mano, las motivaciones no resultan tan sustanciales a la hora de reflexionar sobre la enorme ventaja que significa la predisposición de

los agentes docentes a la hora de activarse en esta modalidad en la que muchos no habían incursionado. Acerca de las herramientas, el 88% aseguró que tuvo que aprender a usar herramientas para videoconferencias, y la mitad de los encuestados aseguró haber tenido que aprender a utilizar editores de videos. *Fig. 1*

La modalidad virtual, como se detalló en el apartado anterior, no consiste en trasladar las clases teóricas o prácticas presenciales a conferencias on-line. Sin embargo, se comprende y se verifica por la encuesta, que fue una decisión asumida por muchos docentes. La planificación de una propuesta virtual involucra diseño instruccional y materiales multiformato que requieren muchas veces de mano de obra especializada: los docentes no tenían ni el tiempo ni, en muchos casos, la formación suficiente para enfrentar con mínimo margen temporal y casi sorpresivamente, tal labor.

FIG. 1

Luego de implementar este dictado no



convencional un cuatrimestre, los docentes parecen haber interpretado de alguna manera el requerimiento puntual y significativo de la producción de material propio, este puesto que los temas que demostraron tener mayor urgencia y/o necesidad de aprender fueron precisamente aplicaciones para la edición de videos (64%) y aplicaciones interactivas (53%). *Fig. 2*

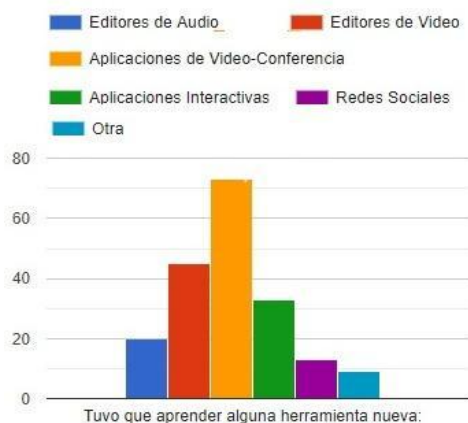


FIG. 2

Como administradores de FACETVirtual, incluimos entre las preguntas de la encuesta, cuestiones referidas a la experiencia de los agentes en Entornos Virtuales, tanto en el rol de alumnos (13%), como en el de docentes (28%). Varios de ellos afirmaron tener experiencia en ambos roles (32%), lo cual permitía deducir que la mitad de los encuestados habían participado con anterioridad en plataformas educativas virtuales. No es un dato menor, puesto que a la incertidumbre inicial se sumó el miedo a lo no conocido en un alto porcentaje de docentes. No obstante, entre los que afirmaron haber participado como docentes, más del 70% calificó dicha participación como una buena experiencia. Otro punto a favor. Fig. 3



FIG. 3

Respecto de la cantidad de alumnos, es preciso diferenciar varios grupos de asignaturas. Los

docentes de asignaturas del ciclo básico, que cuentan con más de mil alumnos (10% de los encuestados), han utilizado el entorno virtual con todas sus herramientas, junto a clases por videoconferencias. Y evaluaron exámenes parciales a través de una herramienta denominada Cuestionario incluido en la aplicación para soporte de aulas virtuales de software libre más usada globalmente, la plataforma Moodle. Se detallan luego algunos aspectos más significativos expuestos en la experiencia presentada en video conferencia.

Otra información obtenida de la encuesta está referida al desgranamiento promedio a partir de la cantidad de alumnos que comenzaron y la cantidad que finalizaron el cursado, que alcanzó el 17,60%. Este porcentaje, muy cercano al obtenido en promedio en instancias presenciales permite inferir que la ERE fue asumida por los estudiantes sin connotaciones diferenciales al cursado tradicional.

En este sentido, otros datos recabados a los docentes en la encuesta estuvieron referidos al porcentaje de alumnos aprobados sobre los inscriptos en la asignatura, teniendo en cuenta el último cursado presencial, 2019 y el cursado en el ciclo 2020. Si bien hay muchos factores que intervienen en estos parámetros, y un poco menos del 50% no contaba todavía con la información, lo llamativo fue que en un 30% de los casos el número no varió significativamente, mientras que el 24,46% de los encuestados afirmaron que se acrecentó en esta modalidad.

Respecto del dictado de los contenidos de las asignaturas, el 83% de los docentes afirmó que en cantidad de unidades o capítulos se dictaron los mismos contenidos que en la modalidad presencial, mientras que el 72,30% dictaron con la misma profundidad conceptual. Y el 62,60% de los encuestados utilizó distintos formatos para la presentación de los contenidos, dato que queremos visibilizar especialmente, ya que el material que el profesor hace disponible al estudiante en un marco no presencial es de vital importancia.

“Los materiales didácticos tienen una participación protagónica en la educación virtual. Entre otras funciones, organizan curricularmente los contenidos teóricos y prácticos de la asignatura; brindan los recursos metodológicos más idóneos para favorecer la construcción activa del conocimiento y sustituyen las exposiciones conceptuales que el docente explicaría en una

clase presencial. En este sentido, redefinen las funciones del educador, como facilitador del aprendizaje” (Aceituno, 2010).

Y en ese marco, utilizar diferentes medios para exponer los contenidos permite abarcar un espectro más amplio en referencia a los diferentes canales comunicativos y a la heterogeneidad de los estudiantes, como afirma Prieto Castillo (1999): “se logra una mayor relación de aprendizaje cuando un material es elaborado jugando al máximo las posibilidades comunicacionales del lenguaje en que está armado el mensaje y del medio a través del cual se lo ofrece” (Prieto Castillo, 1999). Ese 62,60% de docentes que incursionaron en nuevos formatos han logrado superar las resistencias iniciales. La mayoría de los docentes y autores se han formado en universidades presenciales; aprendieron y enseñaron con materiales impresos, están acostumbrados a la exposición oral de sus clases magistrales, utilizan pocos materiales multimedia, y algunos nunca habían dictado clases en la modalidad virtual. Además, en el ámbito académico, existen aún algunos prejuicios que impiden el desarrollo de materiales didácticos caracterizados por un uso más intensivo de la multimodalidad; muchas veces predomina una idea del conocimiento restringida al discurso verbal escrito como único medio que permite desarrollar habilidades intelectuales.

Otro aspecto preponderante en el nuevo rol del profesor en la modalidad no presencial, además de los materiales, está referido al acompañamiento e interacción con el estudiante de modo que la sensación de aislamiento y soledad no llegue al alumno.

“El Tutor virtual es el responsable de preparar los andamiajes para que el alumno desarrolle aprendizajes en un ambiente virtual, entendiéndose por andamiajes, los recursos, las estrategias, los medios de interacción y la mediación en sí misma. Sin su activa y decisiva acción, sin su guía, sin su planificación, sin su motivación, sin su amplio conocimiento sobre el curso y sobre los procesos que se deben desarrollar para que el estudiante aprenda, no sucede nada en un espacio virtual”. (Torres Auad et al, 2012)

Por ello, analizando las respuestas en la encuesta, el 62,8% de los docentes asegura haber realizado siempre retroalimentación de las ejercitaciones de modo que los estudiantes pudieron recibir el detalle de sus aciertos y errores, mientras que el

24,5% de los encuestados afirmó hacerlo regularmente. Para ampliar un poco más, ya que el tiempo de respuesta también es un aspecto que permite la interacción fluida con el estudiante potenciando los aprendizajes, 38,3% respondió dentro de las 24 horas, 28,7% dentro de las 8 horas, y casi el 15% dentro de la hora de la consulta, datos significativos. El sólo 10% no aseguró un tiempo de respuesta.

Respecto del seguimiento de los alumnos, específicamente, no se utilizaron las herramientas de seguimiento de la plataforma virtual, salvo el 12% de los encuestados y descontando al 11% que afirmaron no usar aula virtual. Algunos usaron “a veces” los informes (24%). Mientras que sólo un 16% los utilizaron regularmente. Finalmente, sólo el 66% realizó una encuesta a los estudiantes al finalizar el cursado. Fig. 4

Si utilizó un Aula Virtual, ¿utilizó las herramientas (“informes”) de seguimiento disponible?

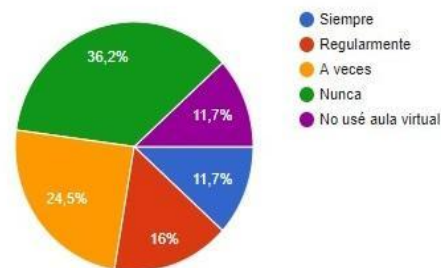


FIG. 4

4.1 De las Evaluaciones Parciales

Cuando la facultad comenzó el ciclo lectivo, se trabajó sobre la idea del pronto retorno, considerando que la no asistencia presencial era una medida transitoria. Con el transcurso de los meses y los acontecimientos relacionados a la pandemia, finalmente se asumió que es poco probable el retorno a las aulas físicas por este año. En un primer momento, muchos docentes mostraron sus motivaciones y razonamientos para no evaluar a sus estudiantes, y luego, según los encuestados, el 77,9% realizaron evaluaciones parciales, adecuando la modalidad a las características propias de la asignatura que dictan. El 40% utilizaron los cuestionarios de Moodle mencionados anteriormente, 28,4% utilizaron la

herramienta denominada “Tarea” que permite al alumno, a partir de un enunciado con consignas, subir un o varios archivos con la actividad desarrollada y el 29.5% utilizaron herramientas de Google. Lo interesante de esta pregunta es que, además de estos tres grandes métodos para hacer evaluaciones, rescatamos algunos mencionados en respuestas individuales únicas como: “Un enunciado por alumno” (se trata de una asignatura del ciclo superior), aprobación de trabajos prácticos y exposiciones por videoconferencia, enunciados enviados por correo electrónico o bien utilizando otras aplicaciones de mensajería.

Respecto a este punto, la Secretaría Académica de la UNT ofreció a la comunidad docente dos documentos: “Recomendaciones para los procesos de Evaluación en Entornos Virtuales” y “Aportes para el desarrollo de evaluaciones en entornos virtuales”, como marco de referencia para apoyar las decisiones de los profesores en sus cátedras.

Es este punto, conviene remarcar que se trata de ERE, y no de propuestas específicas a distancia, ya que en la modalidad virtual *“es fundamental que la evaluación sea continua en base a diferentes instrumentos que permitan apreciar el avance de cada estudiante en los distintos niveles y ejes temáticos por los que transita al construir su conocimiento”* (Quesada Castillo, 2006). Y para ello, los entornos virtuales son el principal soporte: *“Las plataformas de e-learning ofrecen diversidad de herramientas y propician la adopción de distintos tipos de estrategias docentes, tanto para el desarrollo de los contenidos como para las propuestas de actividades que favorecen la construcción del aprendizaje y su evaluación”*. (Lescano, 2017)

Una de las últimas preguntas realizadas en la encuesta consultó si se hicieron planteos de los estudiantes sobre la propuesta ERE diseñada por la cátedra y qué actitud tuvieron respecto de los mismos. El 43,6% de los docentes respondió que no hubo planteos de los estudiantes.

El mismo porcentaje 43,6% de los encuestados mencionó que sí los hubo y que la asignatura realizó replanteos de la propuesta, siendo el mismo muy provechoso. El 6,4 aseguró que no creyó necesario realizar cambios en la propuesta, y el 5,3% modificó su propuesta, sin obtener mejores resultados. Fig.5

¿Hubo replanteos en la propuesta de enseñanza a partir de planteos de los estudiantes?Escribe la tercera pregunta.

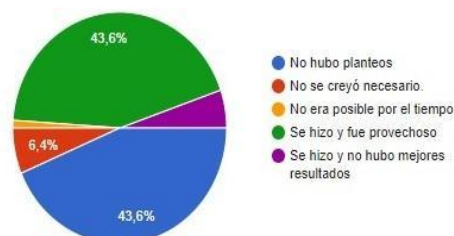


FIG. 5

En el análisis de la encuesta dejamos para el final dos preguntas personales hacia los docentes, para poder analizar la percepción y las sensaciones de los encuestados acerca de las particularidades de este ciclo lectivo y de las responsabilidades que tuvieron que asumir/enfrentar.

Respecto de la primera sensación al decretarse la Cuarentena en el mes de marzo, ganó el “desconcierto” con un 39,4%, mientras que un 12% mencionaron “angustia y temor a lo desconocido”, cifra que roda ya el 50%. Sólo el 21% de los docentes encuestados mostraron “entusiasmo por los desafíos”, mientras que el 14,9% no se mostró inclinado a ninguna de opciones. De forma individual, algunos se explayaron con expresiones como “Preocupación por no saber cómo lidiar con la virtualidad...”, “No tuve tiempo de pensar ya que urgía adecuarse a la nueva realidad...”, etc.

La segunda pregunta fue cómo se sentían luego del dictado ERE. El 58,5% se mostró “satisfecho”, mientras que el 16% dijo estar “disconforme”. El 5,4% de los encuestados eligió “indiferente”, y el 4,3% prefirió no responder.

5. DE LAS EXPERIENCIAS PARTICULARES

Vamos a rescatar de las variadas y valiosas exposiciones realizadas en el seminario web denominado “¿Cómo dictar de manera presencial una asignatura (y no morir en el intento)? Casos de éxito en la FACET durante el 1er Cuatrimestre 2020” que se llevó a cabo los días 3 y 4 de setiembre, dos aspectos centrales en nuestra unidad académica: el manejo de grandes volúmenes de estudiantes en el ciclo básico y la implementación de contenidos prácticos, hecho que preocupó y ocupó a muchos de neutros

docentes que dictan materias para las 10 carreras de ingenierías ofrecidas.

Nuestro primer caso es la asignatura Álgebra y Geometría Analítica, que manejó 1052 alumnos de 1er año de las ingenierías y otras tecnicaturas. Se preparó la distribución de contenidos a través de material teórico en formato de documento, ejercicios resueltos como guía de procedimientos en el mismo formato, producción de videos de ejercicios resueltos, además de las clases teóricas, prácticas y de consultas por videoconferencias a través de aplicaciones conocidas. Se habilitaron cuestionarios de Moodle, a modo de evaluación de diagnóstico, para los contenidos de cada capítulo. Sin lugar a dudas, uno de los factores determinantes del éxito del dictado remoto fue el seguimiento/acompañamiento de los alumnos a través del aula virtual. *“Utilizamos todas las herramientas a nuestra disposición para fortalecer vínculos y comunicarnos con los estudiantes”*. La encuesta realizada a los alumnos al finalizar el cursado -que obtuvo más del 60% de aprobados- confirmó la sensación de éxito, en esta primera experiencia ERE, de todos los docentes de la cátedra. Otro caso exitoso, fue de la cátedra Probabilidad y Estadística, cuyos docentes remarcaron la importancia del seguimiento constante y la evaluación continua.

En el segundo aspecto a destacar, vamos a mencionar a la asignatura Física Nuclear que “virtualizó” tres de sus prácticas de laboratorio, con simulaciones programadas por personal de la cátedra, con diferentes herramientas informáticas, como Jclick, Power Point, isPring, hasta Geogebra por nombrar una de ellas: “Evaluación de un campo de radiación alrededor de una muestra de uranio natural”, de modo que los estudiantes no se vieron privados de la carga experimental. Es decir, encontraron en la dificultad, una oportunidad para concretar estos simuladores que estaban pensados desde hacía un tiempo. Otras asignaturas también reportaron el uso de simuladores, ya existentes en la web, muchos de ellos de software libre y de código abierto, como, por ejemplo, el GNS3 para el diseño de topologías de red complejas, entre otros para las más diversas asignaturas.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido, a partir de toda la información obtenida con la Encuesta y de las exposiciones realizadas por las distintas cátedras,

tener un panorama general del desarrollo de la ERE en nuestra unidad académica y realizar un análisis que permita orientar los pasos a seguir y los aspectos a tener en cuenta al planificar nuevas estrategias de acompañamiento.

Es posible remarcar que se ha sabido dar respuesta a una situación de alarma de forma rápida. Sin embargo, esto no significa que se haya realizado con el enfoque propio de la modalidad virtual; muchos han volcado la enseñanza presencial a un formato virtual. Se ha llevado a cabo una enseñanza remota de emergencia, exitosa por cierto, que aún carece de ciertas características y criterios de calidad que supone una enseñanza online o semipresencial. Lo fundamental y punto de partida seguro es que muchos de los agentes implicados han comprendido la diferencia y tiene presente la necesidad de diseñar nuevas estrategias.

Es importante reflexionar acerca del valor de la enseñanza presencial, capitalizando lo que se descubrió en las experiencias remotas para integrar lo mejor de ambos mundos. También se confirma la necesidad de acrecentar y profundizar la competencia digital docente del profesorado universitario de todas las áreas del saber.

Repensar el papel del docente, su nuevo rol dentro de una versión de enseñanza híbrida en la que toman especial relevancia las competencias de autorregulación y trabajo autónomo del alumnado, junto con la inclusión de metodologías activas para el desarrollo de las competencias básicas y transversales necesarias (trabajo en equipo, iniciativa, competencia comunicativa y capacidad crítica) para formar profesionales preparados para insertarse en un mercado laboral cambiante.

Finalmente mencionar la perspectiva que se corresponde con la otra vía de aproximación a la formación docente necesaria: el enfoque multimodal; el de la integración de texto, imagen, sonido, audiovisuales e interactividad. Conocer las características exclusivas de cada medio tiene una importancia significativa como método de aproximación a la temática, imprescindible para la producción de materiales propios y específicos. Mirando al futuro y parafraseando a Marta Mena (2005): *“Cuando una institución educativa hoy decide reconfigurarse para ofrecer otras modalidades y tecnologías para la enseñanza, en general ha comprobado su utilidad y tiene mucho más claros los objetivos que persigue. Parece que la fascinación va dando paso a una actitud más*

racional.” Esperamos que así sea la evolución de estas experiencias en nuestra unidad académica.

7 REFERENCIAS

- Aceituno, Marcelo Luis “Didáctica integral del multimedia y diseño de hipermedias para entornos virtuales de aprendizaje”. Innovaciones didácticas en contexto. Univ. Nacional de Quilmes. 2010
- Guzmán, María Fernanda, Torres Auad, Lía et al. Pautas para la actualización de la Plataforma Moodle entre versiones distantes. CACIC 2015. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/50236>
- Hodges, Charles; Moore, Stephanie; Lockee, Barb; Trust, Torrey; Bond, Aaron. The Difference Between Emergency Remote Teaching and Online Learning. Educause. March 27,2020
- Lescano L., Vilanova G., (2017) “Instrumentos de evaluación de aprendizaje en entornos virtuales.”. Univ. de la Patagonia Austral. 2017
- Mena, M.; Rodriguez, L.; Diez M.L. El diseño de proyectos de educación a distancia. La crujía. 2005
- Pardo Kuklinski H., Cobo C., Expandir la universidad más allá de la enseñanza remota de emergencia. Ideas hacia un modelo híbrido post-pandemia. Outliers School. Barcelona. 2000
- Prieto Castillo, Daniel. “La comunicación en la educación” (1999). Ed. Ciccus, La Crujía
- Quesada Castillo, R. Evaluación del aprendizaje en la educación a distancia. Univ. A. México. 2006
- Torres Auad, L.; García, R. (2011) - Hacia una deconstrucción del paradigma educativo tradicional: la modalidad virtual en la FACET, rev. CET. 23, 2011.
- Torres Auad L.F., Guzmán M. F., et al., Eficacia en la Función Tutorial en Entornos Mediados de Aprendizaje”, TEYET 2012- REDUNCI. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18317>
- World Bank. Guidance Note on Remote Learning and COVID-19 (English). Washington, D.C. : World Bank Group. 2000

Diseño de propuestas pedagógicas virtuales en tiempos de pandemia.

Vivas, Leticia A.¹; Vega, Judith M.¹; Romero Dondiz, Estela M.^{1,2} y Domínguez, Orlando J.¹

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*

leticia@ing.unsa.edu.ar, maju.iq@gmail.com, odominguez@ing.unsa.edu.ar

(2) *Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI-CONICET-UNSa).*

eromerondiz@yahoo.com.ar

RESUMEN

La Pandemia de COVID-19, un virus que se transmite por vía aérea con un alto índice de contagio, ha llevado a que los gobiernos de muchos países del mundo, incluida Argentina, suspendan las clases presenciales en todos los niveles educativos, debiendo adaptar la enseñanza a la modalidad virtual. Este cambio representó para los docentes un gran desafío, ya que implicó rediseñar las estrategias pedagógicas para los procesos de enseñanza y aprendizaje y desarrollar un amplio dominio de muchas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Las propuestas pedagógicas virtuales en tiempo de pandemia deben ser innovadoras y motivadoras para los estudiantes, estar mediadas por la tecnología, ser flexibles debido a las limitaciones de conectividad y estar debidamente planificadas y organizadas, con objetivos definidos, metodologías, consignas y criterios de evaluación claros. Es por todo esto, que la pandemia puso en evidencia la importancia y la necesidad de la formación pedagógica. El presente trabajo tiene como principal objetivo compartir con docentes de otras universidades la experiencia adquirida durante la pandemia de COVID-19, en el diseño de estrategias pedagógicas virtuales desde la cátedra de Instrumentación y Control de Procesos de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Salta.

ABSTRACT

The COVID-19 Pandemic, a virus that is transmitted by air with a high contagion rate, has led the governments of many countries around the world, including Argentina, to suspend face-to-face classes at all educational levels, having to adapt the teaching to the virtual modality. This change represented a great challenge for teachers, since it implied redesigning the pedagogical strategies for the teaching and learning process and developing a broad domain of many Information and Communication Technologies. Pedagogical proposals in times of pandemic must be innovative and motivating for students, be mediated by technology, be flexible due to connectivity limitations, and be properly planned and organized, with defined objectives, methodologies, slogans and clear evaluation criteria. It is for all this, that the pandemic highlighted the importance and need for pedagogical training. The main objective of this work is to share with teachers from other universities the experience acquired during the COVID-19 pandemic, in the design of virtual pedagogical strategies from the Instrumentation and Process Control chair of Chemical Engineering at Universidad Nacional de Salta.

Palabras claves: pandemia – propuestas pedagógicas – enseñanza virtual

Keywords: pandemic – pedagogical proposals – virtual teaching

1. INTRODUCCIÓN

El paso obligado de la presencialidad a la virtualidad, cuando se inició el Aislamiento Preventivo, Social y Obligatorio (APSO) como consecuencia de la pandemia de COVID-19 que

atravesamos, representó para todos los actores de los procesos de enseñanza y aprendizaje, un importante desafío. Afrontar este desafío implicó un gran compromiso y una demanda significativa de tiempo extra dedicado a la labor educativa.

Son muchas las dificultades experimentadas, tales como: problemas de conectividad, manejo de nuevas tecnologías, diversificación de tareas en el hogar, agotamiento emocional, entre otras. Sin embargo, esta crisis se presenta como una posibilidad de cambio en la educación, en este caso la oportunidad de desarrollar competencias para diversificar la didáctica y fortalecer el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Según Henry (2008) los nueve principios para la excelencia en la enseñanza en línea son:

- Primer principio: El mundo virtual es un medio en sí mismo.
- Segundo principio: en el mundo virtual, "contenido" es un verbo.
- Tercer principio: La tecnología es un vehículo y no el destino.
- Cuarto principio: Los buenos cursos virtuales son definidos por la enseñanza, no por la tecnología.
- Quinto principio: El sentido de comunidad y presencia social son esenciales para alcanzar la excelencia en línea.
- Sexto principio: La excelencia requiere múltiples áreas de experiencia.
- Séptimo principio: Una interfaz magnífica no salvará un curso pobre, pero una interfaz pobre podrá destruir un curso potencialmente magnífico.
- Octavo principio: la excelencia es el resultado de la evaluación y el refinamiento continuos.
- Noveno principio: a veces pequeños extras tienen un gran impacto.

Esta no pretende ser una lista exhaustiva excluyente de principios sino una lista de ideas y sugerencias relevantes en la búsqueda de la excelencia virtual.

En los ambientes virtuales de enseñanza, el estudiante es más autónomo y adquiere el rol de gerente de su propio aprendizaje, ya que debe gestionar el manejo de su tiempo y dar cumplimiento a las actividades planteadas. El éxito de las propuestas educativas virtuales en esta pandemia, dependió en gran medida del grado de madurez del estudiante. El estudiante de años avanzados posee un estilo de aprendizaje ya definido y ha desarrollado habilidades necesarias para tener éxito en el estudio. Por lo que la realización de muchas propuestas pedagógicas está limitada a esta condicionante: la ubicación de la asignatura en el plan de estudios de la carrera.

La comunicación desempeña un papel fundamental en la enseñanza virtual, y es posible que la misma ocurra de manera fluida y constante. Las nuevas tecnologías de la Información y Comunicación comienzan a superar la utopía de la comunicación humana como exclusiva de la enseñanza presencial, tal como menciona Salinas (1997). En muchos casos un diálogo mediante computadoras interconectadas, en tiempo real o en cualquier otro proceso interactivo, pueden proporcionar una comunicación próxima y cálida.

En base a los principios establecidos por Henry (2008), algunas recomendaciones de Mena (2005) sobre adoptar una actitud flexible y fomentar el trabajo colaborativo durante la enseñanza virtual, sumado a la empatía que despertó esta pandemia y la creatividad e innovación que demandan la generación de jóvenes que formamos, es posible rediseñar un aula donde el conocimiento significativo se construya de manera activa entre docentes y alumnos.

1.1 Contexto

Las propuestas descritas en el presente trabajo se desarrollaron en la asignatura Instrumentación y Control de Procesos, primer cuatrimestre de quinto año de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Salta, de acuerdo al Plan de Estudios vigente (Res. CS N° 413/12). Durante el presente año se trabajó con veinticuatro alumnos en total, que cursaron la asignatura de manera virtual exclusivamente, debido a la pandemia de COVID-19, la cual imposibilitó la asistencia a clases presenciales.

1.2 Fundamentación

Si bien durante el desarrollo de la asignatura, en años anteriores, se realizaron muchas innovaciones pedagógicas mediadas por las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y algunas de ellas se realizaban en forma virtual, como por ejemplo cuestionarios de Moodle, el pasaje a la modalidad exclusivamente virtual representó un gran desafío para todos los docentes de la cátedra. Como todo desafío, al principio generó incertidumbre y un poco de temor, pero se asumió con la firme convicción de que los estudiantes merecían que se hiciera el mejor esfuerzo posible. Esta pandemia, a pesar de los incontables impactos negativos, presentó la posibilidad de mejorar en muchos aspectos las

prácticas docentes. Es por ello que se comparten en este trabajo dos de las actividades más relevantes en cuanto a innovación que se realizaron durante el cursado 2020.

Cabe destacar, que la asignatura se rediseñó para adaptarla al dictado virtual durante la pandemia de COVID-19 en el primer cuatrimestre del presente año, teniendo en cuenta cuatro reglas fundamentales:

- Conocer a los estudiantes, su situación y condición social y familiar y su estilo de aprendizaje.
- Diseñar actividades que despierten el interés y la motivación por aprender Instrumentación y Control de Procesos.
- Hacer uso apropiado de TIC que favorezcan y faciliten el proceso de enseñanza y aprendizaje.
- Realizar una evaluación formativa y continua a lo largo de todo el cursado, con una retroalimentación clara y pública.

Estas reglas marcaron el rumbo a seguir. Con la premisa de que la flexibilidad y la contención eran fundamentales durante el desafío de la enseñanza virtual.

1.3 *Objetivo general*

El presente trabajo tiene como principal objetivo compartir con docentes de otras universidades la experiencia adquirida durante esta pandemia, en el diseño de estrategias pedagógicas virtuales desde la cátedra de Instrumentación y Control de Procesos de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Salta.

2 PROPUESTAS PEDAGÓGICAS

2.1 *Actividad 1: “Quedate en casa aprendiendo Control de Procesos”*

2.1.1 *Propuesta*

Viendo la imposibilidad de realizar visitas a plantas industriales, actividad que se realiza normalmente durante el cursado presencial y que resulta un disparador para comprender la importancia del Control de Procesos industriales, se propuso la siguiente actividad a modo de desafío. Se denominó: “*Quedáte en casa aprendiendo Control de Procesos*” y consistió en contactar un Ingeniero con experiencia en la

industria que resuma en un breve video la importancia del Control de Procesos.

2.1.2 *Objetivos*

Los principales objetivos que se trazaron al diseñar esta propuesta fueron:

- Fomentar la capacidad del estudiante de lograr una comunicación formal y eficaz con profesionales del medio.
- Concientizar sobre la importancia del Control de Procesos en la Industria.
- Despertar el interés y la motivación por aprender Control de Procesos.

2.1.3 *Metodología de trabajo*

La actividad se realizó de manera individual y consistió en contactar un profesional Ingeniero (Químico, Industrial, Electromecánico, etc.), vía mail o telefónicamente, que trabaje o haya trabajado en la industria, es decir, que posea experiencia en el medio laboral. Lograr que el ingeniero cuente brevemente, en un video de aproximadamente 2 minutos, su experiencia y opinión respecto de la importancia del Control de Procesos en la industria.

En el caso de no conocer ningún profesional para contactar, la cátedra le proveyó los datos de alguno. El video fue compartido con todos los compañeros en un Foro del Aula Virtual Moodle (AVM), denominado “Galería de Experiencias Profesionales”, donde intercambiaron opiniones sobre cada experiencia narrada por los profesionales.

2.1.4 *Evaluación*

En este caso, solo se evaluó el desafío como logrado o no logrado, ya que la actividad tiene como fin último despertar el interés y la motivación para aprender Control de Procesos.

Sin embargo, se supervisó la intervención de cada estudiante en la “Galería de Experiencia Profesionales”, tomando como criterio que las mismas sean respetuosas y denotando un interés real en los videos comentados.

2.2 *Actividad 2: “Sistemas de Control en la vida cotidiana”*

2.2.1 *Propuesta*

Partiendo de la siguiente ley de Control de Procesos: “*El proceso debe ser comprendido antes de intentar controlarlo*”, enunciada por Luyben (1989), se diseñó esta propuesta. La actividad consistió en la observación, relevamiento y análisis de los sistemas de control automático que están presentes en la vida cotidiana, en el hogar. A partir del relevamiento realizado se seleccionó un equipo, aparato o instrumento y se analizó su sistema de control. Se elaboró un video corto para presentar las respuestas a las consignas.

2.2.2 *Objetivos*

Los principales objetivos que se plantearon al diseñar la actividad fueron:

- Indagar sobre los conocimientos previos sobre Sistemas de Control Automático que tienen los estudiantes al inicio del cursado.
- Identificar los aspectos básicos de los sistemas de control en sistemas simples de uso cotidiano.
- Fomentar el aprendizaje continuo y autónomo.
- Desarrollar un espíritu crítico, con capacidad de observación e indagación.
- Desarrollar un trabajo colaborativo, potenciando sus ventajas.

2.2.3 *Metodología de trabajo*

La actividad se realizó en dos etapas: la primera, previa al dictado del tema 1 del programa analítico de la asignatura (Res. CD 548/16): “Introducción al Control de Procesos”. Este tema abarca los conocimientos básicos del Control de Procesos, a partir de los cuales se puede construir el conocimiento más complejo que se desarrolla a lo largo del cursado de la asignatura. Se incorporan los conceptos generales empleados en Control de Procesos: objetivo de control, variables del sistema de control, sistemas, lazo abierto y lazo cerrado, entre otros y se destaca la importancia y necesidad del control automático en los procesos industriales. De esta manera, se procuró indagar sobre los saberes previos que tienen los estudiantes al iniciar el cursado de la asignatura. La segunda etapa, luego del dictado del tema mencionado, donde se abordan las estructuras de control básicas y una breve descripción de las mismas y se diferencia entre lazo abierto y lazo cerrado de control.

En la primera etapa se conformaron grupos de tres integrantes al azar. Cada grupo realizó un

relevamiento de los equipos y aparatos con los que interactúan en su vida cotidiana desde su casa y que, a su entender, cuentan con un sistema de control automático. También, debían observar los sensores- medidores de los que disponen estos equipos, intentando identificar la variable medida. Una vez realizado el relevamiento y volcado el mismo en una Wiki en el AVM para cada grupo, debían seleccionar uno de los sistemas observados y responder a la siguiente consigna: ¿Cómo creían que funciona el sistema de control del equipo elegido?, con el pedido explícito de no buscar información en internet ni en libros, contando sólo con sus conocimientos previos e imaginación. La respuesta fue plasmada en un Foro de Preguntas y Respuestas en el AVM, para que los docentes pudiéramos analizar los saberes previos con los que contaban.

En una segunda etapa, luego de las clases teóricas y prácticas del primer tema, debían responder a las siguientes consignas sobre el equipo seleccionado:

- Identificar el objetivo de control y las variables del sistema.
- Indicar cuál es la estrategia de control del equipo y proponer una estrategia de control alternativa.

Finalmente debían preparar un video “casero” corto, de aproximadamente tres minutos como máximo, donde respondieran a las consignas planteadas en la segunda etapa. Para la realización del video podían hacer uso de las herramientas tecnológicas que consideraran necesarias y tuvieran a disposición. El video se compartió en un Foro en la plataforma de trabajo denominada “Galería de observaciones cotidianas”, donde pudieron intercambiar opiniones y comentarios sobre cada equipo analizado y votar por el video que más les haya gustado o llamado la atención. Luego, se seleccionaron los tres videos más votados para ser discutidos en una clase seminario web, fomentando un debate entre estudiantes mediado por los docentes.

2.2.4 *Evaluación*

La evaluación de la actividad fue de carácter formativa, con una finalidad diagnóstica sobre saberes previos de Control de Procesos. Los criterios de evaluación fueron compartidos con los estudiantes al inicio de la actividad:

- Resolución de las consignas en tiempo y forma.
- Intervención respetuosa y comentarios constructivos durante los debates, ya sean en webinar como en foros.
- Evidencia del trabajo colaborativo, volcada en la Wiki de cada grupo.

Durante el webinar se siguió la intervención de los estudiantes con una lista de cotejo. Finalmente, se elaboró una tabla comparativa con los saberes previos y posteriores al dictado del tema 1 del programa de la asignatura, que fue compartida con todos los estudiantes en la “Galería de observaciones cotidianas”.

3 RESULTADOS

Los resultados de las actividades propuestas fueron ampliamente satisfactorios, ya que cumplieron con los objetivos planteados al momento de diseñarlas. A continuación, se describen los resultados obtenidos en cada una de las propuestas planteadas.

3.1 *Resultados de la Actividad 1*

El aprendizaje basado en desafíos es una mediación pedagógica de aprendizaje activo que sirvió para motivar a los estudiantes e impulsarlos a una sana competencia. La totalidad de los estudiantes logró cumplir con el desafío, es decir, contactó un profesional del medio, en su mayoría Ingenieros Químicos o Industriales, recibidos en Universidades Nacionales como la de Salta, Jujuy, Tucumán, Córdoba, La Plata, etc. Muchos de ellos trabajando en industrias regionales y algunos en empresas nacionales e internacionales del resto del país.

Los videos fueron compartidos en la “Galería de Experiencias Profesionales” en el AVM, cuya portada realizada con imágenes de cada uno de los profesionales contactados, puede observarse en la Fig. 1. En todos los videos se destacó claramente lo indispensable y vital de controlar los procesos industriales, desde el punto de vista productivo, de calidad, medio ambiente y seguridad de los equipos y las personas que los operan.

En esta primera propuesta se trabajó de manera individual, de esta forma fue posible asegurar que cada estudiante logró cumplir con el desafío por sus propios méritos. La gran mayoría de los

estudiantes destacó lo importante de vencer la timidez o el miedo que les provoca tener que establecer un contacto con un profesional, logrando así fomentar la comunicación formal eficaz, competencia tan necesaria al momento de insertarse en el medio laboral.

3.2 *Resultados de la Actividad 2*

La indagación de saberes previos resultó muy importante, tanto para los docentes como para los estudiantes, ya que permitió conocer los aprendizajes que han alcanzado en asignaturas anteriores y, también, el conocimiento e interés que presentan respecto del ambiente con el que interactúan a diario.

El relevamiento de equipos o aparatos con un sistema de control automático que pudieron realizar en sus casas, fue muy amplio y variado, partiendo desde una heladera o tostadora eléctrica hasta el sistema antibloqueo de frenos (ABS) de un automóvil. De igual manera, la cantidad de sensores – medidores con los que interactúan a diario constituyó una amplia lista desde los medidores más simples, como la varilla para medir el nivel de aceite en un vehículo hasta un manómetro en los compresores de aire. Esta etapa de la propuesta fue realizada con compromiso y denotando una adecuada observación de los sistemas de control automático. Las respuestas a la primera consigna fueron en muchos casos acertadas, pero no es su totalidad, demostrando que son capaces de aplicar los saberes previos que adquirieron en asignaturas anteriores, la propia experiencia y el criterio ingenieril desarrollado hasta el momento.

En la segunda etapa, luego de abordar los aspectos fundamentales de los Sistemas de Control, las consignas planteadas fueron respondidas con éxito, logrando contrastar claramente los conocimientos previos y posteriores al cursado de este tema. Además, los videos realizados contaban con una gran producción audiovisual, aunque no constituía un criterio de evaluación, demostrando una vez más, la gran habilidad que posee esta generación de estudiantes para hacer uso de la tecnología. La portada de la Galería de Observaciones Cotidianas en el AVM puede observarse en la Fig.2, la misma se realizó con capturas de pantalla de algunos de los videos presentados por los grupos.



Figura 1: Portada de la Galería de Experiencias Profesionales, en el AVM.



Figura 2: Portada de la Galería de Observaciones Cotidianas, en el AVM.

Esta propuesta se realizó de manera colaborativa y es relevante destacar lo importante de armar los equipos al azar, para simular así el futuro desempeño profesional en grupos heterogéneos de trabajo. La Wiki en el AVM fue de gran ayuda para evidenciar el intercambio de ideas, las distintas opiniones y los consensos grupales que lograban. Los Foros en el AVM constituyeron un espacio de diálogo respetuoso y mucho más interactivo de lo esperado. Finalmente, durante el seminario web, donde se expusieron los tres videos más votados, se pudo establecer un debate activo y respetuoso, donde los docentes oficiaron de mediadores y realizaron el cierre con las conclusiones finales.

4 CONCLUSIONES

Ambas propuestas pedagógicas virtuales fueron un disparador motivacional para vincularse con los temas de la asignatura y visibilizar la aplicación de los saberes durante la vida laboral. Es posible asegurar que las actividades desarrolladas, resultaron eficaces para afianzar saberes sobre los aspectos fundamentales de los Sistemas de Control y comprender la importancia del Control de Procesos en la Industria y en la vida cotidiana.

La innovación pedagógica en tiempos de pandemia favoreció la continuidad del proceso educativo, ya que la educación exigía cambios significativos desde hace mucho tiempo y, sin

quererlo, esta pandemia llevó a la Educación al siglo XXI.

5 REFLEXIÓN

“Reinventarse y avanzar es el camino: desarrollar nuestro potencial creativo como docentes y promover la interacción, la retroalimentación y la motivación en los alumnos. La comunicación sincrónica y asincrónica se tornó crucial para recrear el aula, reconectarnos y lograr traspasar la pantalla de manera transformadora”.

6 AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes que cursaron la asignatura Instrumentación y Control de Procesos durante el primer cuatrimestre del 2020, que venciendo las barreras de conectividad lograron desarrollar las actividades de manera totalmente virtual. Demostrando que cuando existe fuerza de voluntad y buena predisposición todo se puede lograr.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta, por brindarnos el apoyo necesario para llevar a cabo nuestra labor docente, en medio de esta pandemia de COVID-19 y por confiar en nuestro compromiso con la Institución.

7 REFERENCIAS

- Henry, J., Meadows, J. "An absolutely riveting online course: Nine principles for excellence in web-based teaching" *Canadian Journal of Learning and Technology / La revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie*, V34(1) Winter/hiver, 2008.
- Luyben, W. L.; "Process modelling, simulation and control for chemical engineers". McGraw Hill, New York U. S., 1989.
- Mena, M., Rodríguez, L., Diez, M. L., "El Diseño de Proyectos de Educación a Distancia", Editorial. Stella, Buenos Aires, 2005.
- Res. CS 413/12: *Plan de Estudio 1999 modificado de la carrera de Ingeniería Química*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. 2012.
- Res. CD 548/16: *Programa Analítico de Instrumentación y Control de Procesos*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. 2016.
- Salinas J. "Nuevos ambientes de aprendizaje para una sociedad de la información". *Revista Pensamiento Educativo*, 20:81-104, Chile, 1997.

TECNOLOGÍAS BÁSICAS Y APLICADAS



La lecto-comprensión en inglés: una competencia genérica en carreras de Ingeniería

Amaduro, Inés¹; Company, Susana M.¹ y Jiménez, Ana M.¹

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*

inesamad@yahoo.com.ar; jimenezana43@hotmail.com; susana_company@yahoo.com.ar

RESUMEN

A fin de permitir que los ingenieros egresados puedan proseguir con su formación de manera continua y autónoma, dentro del área de las Ciencias y Tecnologías Complementarias de las carreras de Ingeniería, se destaca la importancia de que durante la carrera de grado los estudiantes desarrollen competencias de comprensión en una lengua extranjera, preferentemente Inglés. En este contexto, puede pensarse la lecto-comprensión en lengua extranjera Inglés (LEI) como la habilidad para interpretar información leída y aplicarla a otros escenarios de uso: actualización bibliográfica, resolución de problemas, etc. Para ello, los cursos de lecto-comprensión en LEI de la Facultad de Ingeniería de la UNSa incluyen el abordaje de diferentes sub-áreas de competencia: lingüística, discursiva, estratégica e intercultural. Para su desarrollo, se plantean actividades que promueven el trabajo de distintas capacidades cognitivas, clasificadas en la Taxonomía de Bloom revisada por Anderson y Krathwohl, como habilidades de orden inferior (conocimiento, comprensión y aplicación) y de orden superior (análisis, síntesis y evaluación). El propósito de este trabajo es presentar la adecuación pedagógica de estos lineamientos teóricos al diseño de una secuencia didáctica, aplicada a la lectura de un texto técnico-disciplinar y desarrollada en la plataforma Moodle, acorde a la actual demanda de modalidad virtual.

ABSTRACT

In order to facilitate the pursuit of graduate engineers' academic and professional development in a continuous and autonomous way, the area of Complementary Sciences and Technologies of Engineering programmes contemplates undergraduates' training in the development of reading comprehension competences in a foreign language, preferably English. In this context, reading comprehension in a foreign language can be thought of as the ability to interpret new information and to apply it to other scenarios of use: bibliographical research, problem solving, etc. English reading comprehension courses at the School of Engineering of the National University of Salta approach different sub-areas of competence: linguistic, discursive, strategic, and intercultural. For their development, course materials introduce activities that stimulate different cognitive skills, classified in Bloom's Taxonomy revised by Anderson and Krathwohl, as lower-order thinking skills (knowledge, understanding and application) and higher-order thinking skills (analysis, synthesis and evaluation). The purpose of this paper is to present the pedagogic adaptation of this theoretical framework to the design of a didactic sequence, applied to a disciplinary text and developed on the learning platform Moodle, in response to the current demand for online learning.

Palabras claves: lecto-comprensión en inglés – Ingeniería – competencias - MOODLE

Keywords: reading comprehension in English – Engineering – competencies – MOODLE

1. INTRODUCCIÓN

El Documento “Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina”—conocido como “Libro Rojo”—aprobado por el Consejo Federal de Decanos de

Ingeniería (CONFEDI) en 2018, incorpora un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante y orientado al desarrollo de competencias, tanto genéricas de egreso del ingeniero (argentino e iberoamericano), como específicas de cada Facultad. Entre los objetivos del documento se

destaca el de mejorar la efectividad del proceso de formación de los futuros profesionales, y destaca como parte integral de la estructura curricular a las Ciencias y Tecnologías Complementarias, definiéndolas como aquellas que permiten poner la práctica de la Ingeniería en el contexto social, histórico, ambiental y económico en que ésta se desenvuelve, asegurando la formación de ingenieros para el desarrollo sostenible.

Incluyen, también, las competencias de comprensión de una lengua extranjera (preferentemente inglés). (CONFEDI, 2018, 5)

Se espera que estas competencias permitan a los estudiantes de carreras de ingenierías aprender y realizar investigaciones en forma continua y autónoma a través del acceso a la extensa gama de materiales de lectura escritos en inglés, tanto impresos como disponibles en línea.

Trabajando en el marco del Proyecto de Investigación CIUNSa N° 2.306: “La lecto-comprensión en inglés en la universidad: estrategias para la reconstrucción del significado del texto académico-científico a nivel micro y macro-estructural”, en la Cátedra de Inglés de la Facultad de Ingeniería de la UNSa consideramos la lecto-comprensión en lengua extranjera como el resultado de un conjunto de habilidades complejas que se activan para entender la información leída y luego poder aplicarla a diferentes escenarios de uso: explorar nuevos contenido, interpretar manuales e instrucciones, observar similitudes y diferencias entre distintos contextos culturales e interculturales, desarrollar el pensamiento crítico, etc. De esta descripción se desprende que la comprensión de textos en lengua extranjera no solo implica el reconocimiento del mensaje lingüístico, sino que abarca una variedad de estrategias cognitivas y metacognitivas.

Los cursos de Inglés que ofrece la Cátedra emplean diversas propuestas didácticas para estimular el desarrollo de las competencias discursivas y estratégicas en conjunto con las competencias lingüísticas e interculturales necesarias para experiencias de lectura crítica y comprensiva efectivas. Asimismo, en los materiales de trabajo especialmente diseñados para los cursos de lecto-comprensión en Inglés, se planifican actividades que promueven la mejora de distintas habilidades de pensamiento tanto de orden inferior (conocimiento, comprensión y aplicación) como habilidades de pensamiento de orden superior (análisis, síntesis y evaluación),

siguiendo el modelo de la Taxonomía de Bloom, revisada por Anderson y Krathwohl (2001).

El propósito de este trabajo es ejemplificar la adecuación didáctica del marco de teórico de referencia del proyecto de investigación arriba referido al diseño de materiales para el abordaje de la lectura de un texto técnico-disciplinar en inglés. Acorde con la demanda de la enseñanza mediada por TIC que planteó el escenario de la pandemia de Covid19 en 2020, se incluirán actividades de lecto-comprensión desarrolladas sobre la plataforma de aprendizaje Moodle.

2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

El Proyecto de Investigación CIUNSa N° 2.306: “La lecto-comprensión en inglés en la universidad: estrategias para la reconstrucción del significado del texto académico-científico a nivel micro y macro-estructural” (2017-2021) se propone formar lectores críticos y eficientes al abordar textos disciplinares en lengua extranjera inglés, poniendo el énfasis en el desarrollo de sus capacidades y competencias, de modo que puedan construir el significado del texto a nivel micro y macro-estructural. En otras palabras, se puede reconstruir el significado del texto a nivel microestructural a través de la instrucción formal en las áreas morfo-lexical y sintáctica de la lengua meta, desarrollando así su competencia lingüística. Por otra parte, el nivel macro-estructural del texto implica trabajar competencias que incluyen y exceden el reconocimiento del mensaje lingüístico.

Algunas de las competencias que favorecen la lecto-comprensión en inglés son:

- a. la competencia lingüística: a través de la instrucción formal en las áreas morfo-lexical y sintáctica de la lengua meta.
- b. la competencia discursiva: que involucra aspectos tales como proveer al estudiante de estrategias que le permitan establecer relaciones semánticas intra-textuales; identificar elementos de cohesión y coherencia; familiarizarlo con los diversos géneros discursivos según su campo de desempeño; y guiarlo a desarrollar su percepción con respecto a las intenciones y valoraciones del enunciado.
- c. la competencia estratégica: que apunta al desarrollo de la capacidad del estudiante para hacer un uso más efectivo de las habilidades disponibles cuando lleva a cabo una tarea

determinada (Bachman, 1990). Citando a Chamot et al. (1999), esta habilidad hace alusión a los “procedimientos o técnicas que los estudiantes pueden utilizar para resolver una tarea” (2).

d. competencias interculturales: que alientan a los alumnos a observar y analizar similitudes y diferencias entre diversos entornos culturales y los propios. Entendemos por competencias interculturales al conjunto de habilidades cognitivas y socio-afectivas necesarias para navegar acertadamente en ambientes complejos marcados por la creciente diversidad de personas, culturas y estilos de vida (UNESCO 9).

Por otra parte, para lograr el desarrollo de estas distintas áreas de competencia, en los materiales de trabajo de los cursos de lecto-comprensión en Inglés se diseñan actividades que promueven la mejora de habilidades de pensamiento de diferente grado o rango. Esta clasificación de las capacidades cognitivas en dos órdenes sigue el modelo de la Taxonomía de Bloom, revisada por Anderson y Krathwohl (2001), que plantea seis niveles de operaciones mentales de complejidad creciente:

a. procesos de pensamiento de orden inferior: conocer, comprender y aplicar; y

b. procesos de pensamiento de orden superior: análisis, síntesis y evaluación. (Ver Fig. 1)

Esta taxonomía proporciona un marco de referencia para estructurar y definir los objetivos del proceso de enseñanza-aprendizaje.



Figura 1: Taxonomía de Bloom, revisada por Anderson y Krathwohl (2001).

3. ADECUACIÓN DIDÁCTICA DEL MARCO TEÓRICO

3.1. El Requisito Curricular Inglés II en la Facultad de Ingeniería de la UNSa

La Cátedra de Inglés de la Facultad de Ingeniería de la UNSa ofrece el dictado de dos cursos cuatrimestrales de lecto-comprensión en inglés, Inglés I e Inglés II. En años lectivos regulares, las clases se dictan tanto en modalidad presencial como semi-presencial. En el contexto de suspensión de actividades académicas presenciales debido a la pandemia por Covid19, en el primer cuatrimestre del calendario académico 2020 todos los estudiantes debieron tomar los cursos en su modalidad a distancia.

Los alumnos que cursan Inglés II ya han recibido en Inglés I alrededor de 70 horas de instrucción, incluyendo clases teórico-prácticas y de evaluación. El curso de Inglés I introduce a los alumnos a los contenidos lingüísticos y discursivos necesarios para que al finalizarlo sean capaces de leer y comprender textos de especialidad auténticos de alrededor de 400 palabras en dos horas con el soporte de un diccionario bilingüe.

Por su parte, el curso de Inglés II tiene como objetivo que los alumnos puedan, al finalizar el cursado, leer un texto disciplinar auténtico de aproximadamente 600 palabras en dos horas con el soporte de un diccionario bilingüe. En su modalidad a distancia, el requisito curricular está desarrollado en la plataforma educativa Moodle, que es la herramienta de gestión de aprendizaje seleccionada por la Facultad para todos sus cursos, docentes y alumnos. Sus contenidos están organizados por clases, y también cuenta con actividades de evaluación de autocorrección por el sistema con retroalimentación inmediata. Además, en un ciclo lectivo ordinario, los estudiantes rinden 2 exámenes parciales presenciales (a mitad y al final del cursado), los cuales en el primer cuatrimestre de 2020 se rindieron mediados por TIC.

Cada clase consta de:

a. un texto de lectura auténtico (extraído de libros de especialidad, artículos académicos o de divulgación, folletos, propaganda, artículos digitales, entre otros), disponible en la plataforma Moodle en formatos Word y PDF;

b. un anexo léxico-gramatical, donde se desarrollan y ejemplifican los principales temas lingüísticos recurrentes en cada texto en particular;

c. un cuestionario con ejercicios de lecto-comprensión auto-evaluables;

d. en algunas clases se agregan foros para promover la lectura extensiva, donde los

estudiantes hacen comentarios de temas relacionados con el texto; y
e. en otras clases se incluyen actividades planteadas en el recurso “Tareas”.

3.2. Ejemplos de actividades diseñadas para abordar un texto disciplinar

Para este trabajo hemos seleccionado la Clase 2 de Inglés II, en la que se trabaja el texto de lectura “Conductors, insulators, and electron flow”. Con respecto a los contenidos gramaticales, en esta clase se repasan temáticas aprendidas en el curso anterior: por una parte, se afianza el desarrollo de la competencia lingüística mediante el repaso de la forma de los verbos en tiempo presente y la comparación; por otra parte, se busca mejorar la competencia discursiva profundizando en la identificación de casos de elipsis y co-referencia. En el recurso Cuestionario se plantean actividades tendientes a desarrollar la competencia estratégica. Estas actividades incluyen preguntas y tareas en general, formuladas de modo que requieran el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden inferior, y de orden superior.

Finalmente, en el Foro se favorece el trabajo colaborativo entre los estudiantes.

3.2.1. Desarrollo de habilidades de pensamiento de orden inferior

Dentro de algunas de las actividades planteadas con el fin de desarrollar habilidades de pensamiento de orden inferior se incluye, por ejemplo, un ejercicio de pregunta con respuesta incrustada, en el que el alumno debe remitirse a la sección del texto que se refiere al tema, de ahí extraer la palabra que falta, y escribirla en español. Este es un ejercicio para RECORDAR y recuperar información. (Ver Fig. 2)

Figura 2: Ejemplo de ejercicio de pregunta con respuesta incrustada.

Otra actividad diseñada para desarrollar capacidades cognitivas de orden inferior es la pregunta de opción múltiple con una respuesta posible. En esta actividad el estudiante debe indicar en qué condición de temperatura es posible la superconductividad: a temperaturas extremadamente bajas, a temperatura ambiente, o a temperaturas extremadamente altas. Para decidir cuál es la opción correcta, el alumno deberá leer

el texto, y COMPRENDER e interpretar la información leída. (Ver Fig. 3).

Elige la respuesta correcta:
La superconductividad es posible...

Seleccione una:

- a. a temperaturas extremadamente bajas.
- b. a temperatura ambiente.
- c. a temperaturas extremadamente altas.

Figura 3: Ejercicio de opción múltiple con una respuesta posible.

Finalmente, a modo de ejemplificación de otro ejercicio diseñado para estimular habilidades de pensamiento de orden inferior tenemos una pregunta abierta, planteada a través del recurso Tarea, para cuya respuesta el lector deberá APLICAR la información leída. (Ver Fig. 4)

¿De qué material podría ser la escalera de un operario que realiza instalaciones eléctricas?

Figura 4: Pregunta abierta para aplicar la información leída a una situación de la vida real.

3.2.2 Desarrollo de habilidades de orden superior

En cuanto al desarrollo de procesos cognitivos de nivel superior, algunas de las actividades planteadas en la secuencia didáctica contemplan, por ejemplo, indicar la diferencia entre conductores y aislantes con relación a la

Completa la siguiente oración con una palabra:
Los electrones de diferentes tipos de átomos tienen diferentes grados de [] para moverse.

movilidad de los electrones y la cantidad de electrones libres, completando un cuadro comparativo de doble entrada con opciones múltiples. De este modo, el estudiante deberá

ANALIZAR y comparar la información del texto. (Ver Fig. 5)

¿Cuál es la diferencia entre los materiales conductores y los aislantes? Completa el cuadro:

MATERIAL	MOVILIDAD DE ELECTRONES	CANTIDAD DE ELECTRONES LIBRES
Conductores	▾	▾
Aislantes	▾	▾

Figura 5: Cuadro comparativo de doble entrada con opciones múltiples.

En el texto el autor expresa que la conductividad eléctrica es análoga a la transparencia de ciertos materiales a la luz. Una actividad que busca el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior le propone al alumno que evalúe el propósito de la analogía en el contexto del texto. Esto lleva al lector a EVALUAR y revisar la información leída. (Ver Fig. 6)

Por último, mediante una pregunta abierta (también a través del recurso Tarea) se pide a los estudiantes que indiquen qué conceptos deben tener claros para evitar riesgos de electrocución, llevándolos a CREAR y elaborar una síntesis de lo leído, a la cual pueden aportar sus conocimientos previos sobre el tema.

Finalmente, para favorecer el desarrollo de competencias interculturales se invita a los alumnos a buscar y compartir infografías sobre el tema en inglés y español, prestando atención a los contextos de producción de cada texto.

Elige la respuesta correcta:

El autor del texto menciona la analogía de la transparencia de ciertos materiales a la luz para...

Seleccione una:

- a. explicar que los buenos conductores de electricidad son igualmente buenos "conductores" de la luz.
- b. explicar que algunos conductores tienen más conductividad que otros.

Figura 6: Pregunta para favorecer la evaluación de la información leída.

CONCLUSIONES

Las integrantes de la Cátedra de Inglés de la Facultad de Ingeniería de la UNSa, miembros del Proyecto de Investigación CIUNSa 2.306 “La lecto-comprensión en inglés en la universidad: estrategias para la reconstrucción del significado del texto académico-científico a nivel micro y macro-estructural”, nos proponemos formar lectores que puedan realizar una lectura crítica y eficiente de textos disciplinares en lengua extranjera inglés. Nuestro objetivo es desarrollar propuestas didácticas que promuevan el desarrollo de una amplia variedad de capacidades para que nuestros estudiantes puedan construir el significado del texto tanto a nivel micro-estructural (a través de la instrucción formal en las áreas morfo-lexical y sintáctica de la lengua meta) como a nivel macro-estructural, (entendiendo que la macroestructura semántica es conferida por el contenido general o global del texto, y que refiere al sentido del texto como un todo). Con ese propósito, los guiamos en la búsqueda de relaciones semánticas intra-textuales; introduciéndolos en los formatos de diversos géneros discursivos afines a sus áreas disciplinares. También buscamos favorecer el desarrollo de su percepción de las intenciones y valoraciones del enunciado, promoviendo así el desarrollo de su competencia discursiva.

Mediante este trabajo de investigación y su adecuación didáctica a las clases, esperamos que nuestros estudiantes mejoren su lectura comprensiva y crítica en inglés, y que sean capaces de realizar ejercicios que implican poner en uso estrategias de diferentes demandas cognitivas (habilidades de pensamiento de orden inferior y superior). Por otra parte, al favorecer el desarrollo de sus competencias estratégicas e interculturales, esperamos formar lectores críticos, capaces de comprender y aprehender información de textos de especialidad en inglés durante su carrera de grado y con fines propedéuticos y laborales.

REFERENCIAS

Amaduro, I., Zaplana G., Diseño de materiales para el desarrollo de estrategias de lecto-comprensión de textos académicos en lengua

- extranjera. *Actas 1º Coloquio Nacional Adquisición y Didáctica de las Lenguas* (Comp. Pastor, R. y Babot, M.). U.N.T., 102-112, 2010.
- Anderson, L.W., Krathwohl D. (Eds.), *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*, Longman, New York, 2001.
- Bachman, L.F., *Fundamental considerations in Language Testing*, Oxford University Press, Oxford, 1990.
- Chamot, A. U., Barnhardt, S., El-Dinary, P. B., & Robbins, J., *The Learning Strategies Handbook*, Addison Wesley Longman, White Plains, NY, 1999.
- CONFEDI. *Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina "Libro Rojo de CONFEDI"*, Aprobado por la Asamblea del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina Rosario, 2018, https://www.ing.unlp.edu.ar/sitio/institucional/difusion/archivos/LIBRO_ROJO_DE_CONFEDI_estandares_de_segunda_generacion, PDF, 11.9.2020
- Universidad Nacional de Colombia, Cátedra UNESCO (2017). *Diálogo intercultural, Competencias Interculturales: marco conceptual y operativo*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000251592>, 11.9.2020

Caracterización de hidrogeles para uso en envases activos. Una alternativa para el agregado de valor al cultivo de papas andinas

Calliope, Sonia¹; Lobo, Manuel¹; Samman, Norma¹

(1) CIITED- CONICET-UNJU- Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
sonirosca@gmail.com; mlobo958@gmail.com; normasamman@gmail.com

RESUMEN

Los hidrogeles son matrices poliméricas capaces de absorber agua varias veces su peso seco. Al ser aplicados en el envasado de alimentos absorben la humedad dentro del envase. Este trabajo propone caracterizar hidrogeles formulados con almidón de papas andinas, reticulados con trimetafosfato de sodio (TMP) combinado con alcohol polivinílico (PVA). Se aisló almidón de papas andinas, se determinaron las propiedades del almidón nativo (AN) y reticulado (AR), contenido de amilosa, fósforo y propiedades térmicas. Se elaboraron 3 hidrogeles con distintas concentraciones de PVA/AR de Imilla negra, se determinó absorción de agua y perfil de textura. El contenido de fósforo determinó que se podría trabajar con todas las variedades estudiadas. Los picos y entalpías de gelatinización en AN fueron 61-63 °C y 9-14 J/g respectivamente. En AR no se observó pico de gelatinización. El máximo hinchamiento correspondió a la muestra H1 (20:80 PVA:AR). Este hidrogel absorbió agua 700% su peso en 7 días. El hidrogel H3 (80:20 PVA:AR) fue más rígido comparado con los otros debido a su mayor concentración de PVA. Se pudo concluir que la formulación H1 presentó la mejor propiedad de hinchamiento y menor dureza, lo cual favorecería su aplicación en sistemas de envasado de alimentos frescos.

ABSTRACT

Hydrogels are polymeric matrices capable of absorbing water several times their dry weight. When applied in food packaging they absorb moisture inside the container. This work proposes to characterize hydrogels formulated with Andean potato starch, cross-linked with sodium trimetaphosphate (TMP) combined with polyvinyl alcohol (PVA). Andean potato starch was isolated, the properties of native (AN) and cross-linked (AR) starch, amylose, phosphorus content, and thermal properties were determined. Three hydrogels were made with different concentrations PVA/AR of black Imilla, water absorption and texture profile were determined. The phosphorus content determined that it could work with all the varieties studied. The gelatinization peaks and enthalpies in AN were 61-63 °C and 9-14 J / g respectively. In RA, no gelatinization peak was observed. The maximum swelling corresponded to sample H1 (20:80 PVA: AR). This hydrogel absorbs 700% water of its weight in 7 days. The hydrogel H3 (80:20 PVA: AR) was stiffer compared to the others due to its higher concentration of PVA. It can be concluded that the H1 formulation presented the best swelling property and lower hardness, which would favor its application in fresh food packaging systems.

Palabras claves: hidrogeles combinados – almidón – polivinil alcohol – envases activos

Keywords: combined hydrogels - starch - polyvinyl alcohol - active packaging

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de hidrogeles en el envasado de alimentos es una tecnología de uso reciente, aunque sigue siendo limitado el uso de polímeros super absorbentes de base biológica. Hay cada vez mayor interés en desarrollar esta tecnología innovadora que reduzca el uso de combustibles fósiles relacionado con materiales convencionales

a base de petróleo no biodegradables (Santana y col., 2017). Los hidrogeles son matrices poliméricas con capacidad de absorber agua o cualquier fluido hidrofílico varias veces su peso. Además, los hidrogeles superabsorbentes se definen como polímeros que pueden absorber agua hasta miles de veces su peso seco (Feng y col. 2014). El papel principal de estos materiales

en el envasado de alimentos es el control de la humedad dentro del envase. Su aplicación potencial en el campo de la conservación de alimentos incluye eliminar la humedad o los exudados generados dentro del envase debido a la transpiración de los vegetales y la pérdida de agua causada por cambios fisicoquímicos en los alimentos o por la permeación de vapor de agua a través del envase debido a las condiciones ambientales, especialmente en los casos de alimentos frescos (Ahmed, 2015). Consecuentemente, el uso de hidrogeles puede disminuir la actividad de agua (aw), lo que ralentiza el crecimiento de mohos, levaduras y bacterias en alimentos tales como comidas listas para consumo (verduras recién cortadas) y productos higroscópicos (alimentos en polvo), o para disminuir el ablandamiento de productos secos y crujientes (papas fritas, galletas) (de Azeredo, 2013).

El envasado de alimentos se puede clasificar en tres grupos: tradicional, activo e inteligente. Tradicionalmente el propósito del envasado fue la contención, protección, conveniencia y la comunicación de los contenidos y características del producto al consumidor. El envasado activo además interactúa con el producto alimenticio o con el espacio de cabeza para reducir o inhibir el crecimiento microbiano, lo que conduce a la extensión de la vida útil y/o preservación de las características sensoriales del alimento. Los envases inteligentes comunican información de calidad y seguridad al consumidor. A pesar de los avances tecnológicos en envases activos e inteligentes, su uso está asociado a riesgos para la salud por la migración de sustancias químicas desde los envases a los alimentos que podrían mitigarse mediante uso de productos naturales (Barska y col., 2017).

Aunque los estudios sobre la extensión de la vida útil de los alimentos utilizando hidrogeles de polímeros naturales son limitados, este enfoque es prometedor, ya que las características de estos materiales pueden agregar un valor considerable a los productos envasados debido a su biocompatibilidad y baja toxicidad. En este sentido, la integración de hidrogeles en los sistemas de envasado constituye una tecnología alternativa en evolución y ecología (Caló y col., 2015).

Actualmente el desarrollo de sistemas de envasado activo a partir de compuestos naturales renovables de bajo costo (polisacáridos,

proteínas) ha ganado interés y ha aumentado la aceptación del consumidor, lo que genera nuevas aplicaciones potenciales dentro de la industria alimentaria. Esta tecnología representa una alternativa prometedora para mejorar la calidad, seguridad y estabilidad de los alimentos, simultáneamente con la reducción del impacto ambiental.

Los hidrogeles se pueden preparar utilizando macromoléculas naturales, polímeros sintéticos o una mezcla de ambos, en cuyo caso se denominan hidrogeles híbridos (Demitri y col., 2016). Entre los principales polímeros naturales que se usan para producir hidrogeles se encuentran los carbohidratos como el almidón (Chen y col. 2015). Este polímero natural se puede mezclar con otros sintéticos para lograr una alta flexibilidad de cadena para el transporte de agua, para su aplicación en el campo de la conservación de los alimentos. Las redes en los hidrogeles se forman por asociaciones poliméricas resultantes de enlaces covalentes (reticulación química) enlaces de hidrogeno y fuerzas de Van der Waals (reticulación física).

En este trabajo se propone caracterizar hidrogeles formulados en base a almidón de papa andina, polímero natural con propiedades mecánicas débiles y alta biocompatibilidad y biodegradabilidad, combinado con derivados de polímeros sintéticos como el alcohol polivinílico, de mayor resistencia mecánica, como alternativa para el agregado de valor del cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se utilizó papas andinas variedades Imilla negra (INT), Desiré y Waycha, las tres de la localidad de Tilcara, Chorcoyeña de Yavi Chico (CYCh) y Chorcoyeña de Sansana (CSS) de la localidad de Yavi, alcohol polivinílico (PVA) (Sigma-Aldrich), Trimetafosfato de sodio (TMP) (Sigma-Aldrich). Sulfato de sodio p.a, Hidróxido de sodio p.a

2.2 Obtención del almidón

Se utilizaron tubérculos sanos. Se cortaron en cubos de 2-3 cm, se sumergieron en bisulfito de sodio (1,2 g/L) y luego se molieron, la extracción se realizó de acuerdo a lo descrito en Calliope y col. (2020).

2.2.1 Caracterización del almidón nativo

Se determinó i) Contenido de Amilosa (AM): por el método colorimétrico de Juliano y col. (1981). Para la curva de calibración se utilizó amilosa de alta pureza (SIGMA A0512-Amylose). Según la escala de Tavares y col. (2010) los almidones se clasifican en contenido de amilosa muy bajo (2-12g/100g), bajo (12-20 g/100g), intermedio (20-25%) y alto (25-33 %). ii) Contenido de fósforo: de los almidones nativos y reticulados cuantificados por el método AOAC 970.39. iii) Propiedades térmicas: La temperatura de pico y entalpías de gelatinización, se analizaron mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC-TA Instruments, Q200, New Castle, USA). Se pesó una muestra de almidón (2,5 mg) en cápsula de aluminio y se añadió agua destilada (1:3 p/p). El recipiente se selló herméticamente y se dejó equilibrar durante 24h antes de su análisis. Las cápsulas se calentaron de 30 a 120 °C a una velocidad de 10°C/min. Se usó una cápsula vacía como referencia.

2.3 Entrecruzamiento del almidón

Para lograr la reticulación del almidón se utilizó trimetafosfato de sodio (TMP) según Woo y Seib (1997) con algunas modificaciones. Se agitó 50 g de almidón con 100 mL de agua destilada, se agregó 4,5 g TMP y 1g de catalizador sulfato de sodio, se ajustó el pH a 11, mediante adición lenta de NaOH 0,5 M. Luego de 2 h, la solución se filtró, se lavó con agua destilada y se secó en estufa a 40 °C durante 16 h.

2.3.1 Propiedades del almidón reticulado

El contenido de fósforo y las propiedades térmicas de los almidones reticulados se midieron de acuerdo a lo explicado en la sección 2.2.1.

2.4 Síntesis de hidrogeles

Se calentó el almidón de la variedad INT (3g) a 55 °C en agua destilada (20 mL) y NAOH al 50% (0,5mL). Luego se añadió una solución de PVA al 10%. La temperatura se mantuvo por 30 min. La pasta formada se colocó en moldes de 10 mm de diámetro y 10 mm de altura y se liofilizaron. Se formularon 3 hidrogeles con distinta proporción PVA:AR (20:80; 60:40; 80:20) denominados H1, H2, H3 respectivamente.

2.4.1 Absorción de agua de hidrogeles

La capacidad de absorción de agua de los hidrogeles se determinó sumergiendo las muestras en agua destilada, de acuerdo al método ASTM D570-98. La medición se realizó pesando las muestras liofilizadas después de la inmersión en agua a temperatura ambiente, las muestras fueron pesadas cada hora durante 10 días. La capacidad de absorción se midió gravimétricamente:

$$CA (\%) = \frac{\text{Peso hinchado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

2.8 Análisis del perfil de textura (TPA)

El TPA de los hidrogeles hinchados se realizó usando un analizador de textura (TA XT plus, Reino Unido). Se aplicó dos ciclos de compresión y las muestras (10 mm de diámetro y 10 mm de alto) se comprimieron al 70% de su altura inicial a una velocidad de 5 mm/s, mediante una sonda cilíndrica de 36 mm de diámetro. La dureza se consideró como la altura del primer pico en la curva fuerza-tiempo, la elasticidad se midió como la altura que recupera la muestra durante el tiempo entre el final del primer ciclo y el inicio del segundo ciclo; la cohesión se midió como la relación del área de fuerza positiva durante la segunda y la primera compresión; la gomosidad es la energía necesaria para desintegrar un material semisólido y la resiliencia se midió como la forma en que la muestra se recupera en términos de velocidad y fuerza derivada (Yu y col., 2018).

2.9 Análisis estadístico

Las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado, excepto el análisis térmico, y se informaron las medias y desviaciones estándar. Se realizó pruebas de comparación de medias mediante el test de Tukey al 5% de nivel de significancia mediante análisis de varianza. Se utilizó el Software estadístico InfoStat, versión 2016.

3. RESULTADOS

3.1 Propiedades de almidones nativos y reticulados

El contenido de fósforo de los almidones nativos y reticulados se muestra en tabla 1. La presencia de fósforo se debe a que la fracción de amilopectina se esterifica con grupos fosfatos. De esta manera el contenido de fósforo podría ser proporcional al de AM. El contenido de AM afecta el proceso de modificación química debido a que el tamaño de las laminillas amorfas aumenta con la disminución del contenido de AM. Por lo tanto, los almidones con bajo contenido de AM serían más susceptibles a las modificaciones químicas y/o físicas porque la reacción se produciría principalmente en las laminillas amorfas de los gránulos de almidón (Tavares y col., 2010; Sandhu y col., 2008).

Los almidones de las variedades Desire y Waycha son de contenido intermedio en AM, y los de las otras variedades son de contenido alto. Sin embargo, solo la variedad Waycha cumple la condición de alto contenido de fósforo; la variedad INT con mayor contenido de amilosa, también tuvo mayor contenido de fósforo. Estas diferencias podrían atribuirse a otros factores,

como las condiciones medioambientales y de crecimiento, ya que las variedades INT y Waycha provienen de la localidad de Tilcara y las restantes provienen de la localidad de Yavi. Estas diferencias de contenido en fósforo también fueron observadas por Chung y col. (2014) para variedades de papas canadienses.

En este estudio se observó luego de la reticulación en los almidones de contenido intermedio en AM (Desire y Waycha) un incremento promedio del 60% del contenido de fósforo, mientras que en los almidones de alto contenido en AM (CYCh, CSS, INT) fue del 50%. Este comportamiento también fue observado por Biduski y col. (2018) para almidones de arroz, donde los AR de bajo contenido en AM presentaron un incremento del 178% en fósforo, mientras que en los almidones de medio y alto contenido de AM el incremento fue del 18%, lo cual indicaría que los almidones de las variedades de papas andinas estudiadas presentaron mayor contenido de fósforo y fueron más susceptibles a las modificaciones por reticulación. Por ello, se podría trabajar con cualquiera de las variedades en la elaboración de los hidrogel.

Tabla 1. Caracterización del almidón nativos vs almidón reticulado

Variedad	Amilosa (%)	Almidón nativo	Almidón reticulado	Incremento de Fosforo (%)
		P (mg/100 g almidón)	P (mg/100 g almidón)	
CYCh	34,03 ± 5,71 ^b	107,07 ± 1,52 ^a	193,70 ± 0,07 ^c	80,9
Desire	21,28 ± 3,28 ^a	107,86 ± 2,79 ^a	167,91 ± 1,25 ^a	55,7
CSS	32,66 ± 3,30 ^b	117,20 ± 17,82 ^a	177,24 ± 1,67 ^b	33,9
INT	33,68 ± 4,20 ^b	161,95 ± 3,88 ^b	241,37 ± 2,02 ^d	49,0
Waycha	22,63 ± 1,49 ^a	151,22 ± 1,66 ^b	247,31 ± 0,59 ^e	63,5

CYCH: Chorcoyena Yavi Chico, CSS: Chorcoyena Sansana; INT: Imilla Negra Tilcara. Diferentes letras en columnas indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre las medias presentadas por el test de Tukey.

La inclusión de grupos funcionales durante la modificación química se produce principalmente en las laminillas amorfas de los gránulos de almidón, como ocurre con los almidones modificados por oxidación (Kuakpetoon y col., 2008). Se infiere que hubo un comportamiento similar en los almidones de papas andinas reticulados debido a la mayor susceptibilidad de las áreas amorfas a la modificación química.

La temperatura de gelatinización y la energía necesaria para romper la estructura cristalina de AN se presentan en la Tabla 2. Los almidones nativos presentaron picos de gelatinización, que oscilaron entre los 61-63 °C, estos valores son menores a los informados por Calliope y col. (2020), pero similares a los encontrados por Cruz y col. (2016) para otras variedades de papas andinas. Las temperaturas máximas y las

entalpías de pico de gelatinización observadas se deberían a un mayor grado de cristalinidad de los almidones, lo que les confiere una mayor estabilidad estructural y hace que los gránulos sean más resistentes a la gelatinización. Las entalpías de gelatinización variaron de 9 a 14 J/g algo menores a los reportado por otros estudios

(Cruz y col., 2016). Las diferencias entre las entalpías de gelatinización de los almidones pueden deberse a las diferencias en las proporciones de amilosa/amilopectina, en las estructuras granulares y la presencia de ésteres de fosfatos (Sodhi y col., 2003).

Tabla 2. Propiedades térmicas de almidones nativos

Variedad	Gelatinización Almidones Nativos			
	T ₀ [°C]	T _p [°C]	T _f [°C]	ΔH [J/g]
CYCh	61,3	65,6	72,3	14,3
CSS	60,7	64,6	72,0	13,4
Desiré	60,1	63,6	71,4	13,9
Waycha	60,7	63,2	71,0	12,0
INT	61,0	64,76	70,6	9,8

T₀: Temperatura de inicio de la gelatinización, T_p: temperatura de pico de la gelatinización, T_f: temperatura final de la gelatinización, ΔH: entalpía de gelatinización

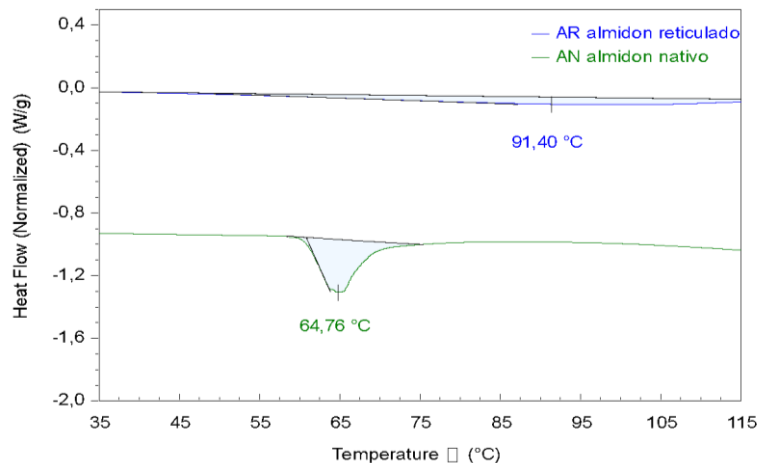


Figura 1. Termograma del almidón nativo y reticulado de papas andinas

En la Figura 1 se muestra un termograma del almidón nativo y reticulado de la variedad INT. En ella se puede observar que luego de la reticulación, no existe pico de gelatinización; esto es debido probablemente a la gelatinización completa por el tratamiento térmico en presencia de NaOH. En el almidón reticulado se observa un pequeño pico a 91 °C, probablemente debido a la solubilización de algún complejo cristalino formado por la reticulación. El pico comienza a baja temperatura tal vez por la presencia de almidón sin gelatinizar.

3.2 Absorción de agua de los hidrogeles

La absorción de agua y la integridad estructural son importantes para definir las aplicaciones del producto. La figura 2 muestra el hinchamiento de 3 hidrogeles elaborados con distintas concentraciones de PVA:AR y 2 hidrogeles elaborados a partir de los componentes puros (AR y PVA). Cabe aclarar que se trabajó con la variedad INT, la selección fue determinada por el mayor rendimiento en la extracción (datos no mostrados).

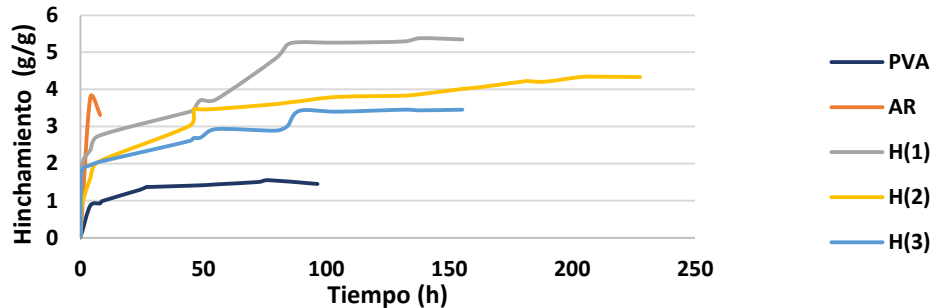


Figura 2. Hinchamiento de hidrogeles con 3 concentraciones distintas de PVA-Almidón

El hinchamiento del hidrogel depende de la naturaleza de la red polimérica, como la presencia de grupos hidrófilos, la densidad de reticulación, la elasticidad de la red polimérica, la temperatura del medio de hinchamiento (Yang y col., 2008).

Analizando las composiciones de PVA:AR en la hidratación de los hidrogeles, el máximo hinchamiento observado fue para la muestra H1, que presentó mayor fracción de AR. La modificación por reticulación en el almidón podría inferir en la interacción almidón-PVA. El TMP actúa como un agente reticulante entre el almidón y las moléculas de PVA en la formación del hidrogel. Un mayor contenido de AR podría haber resultado en un mayor grado de sustitución de las moléculas de almidón para formar AR-PVA, en particular la contribución de las características iónicas del TMP, la cual condujo a una mayor hidrofilia general del hidrogel H1.

Por lo tanto, el mayor contenido de PVA conduciría a un mayor grado de reticulación dentro del hidrogel H3, lo que resultaría en un menor hinchamiento. Como la interacción entre el AR y el PVA se produce a través de enlaces de hidrógeno, la ionización por gelatinización alcalina del AR pudo incrementar el número de ese tipo de enlaces mejorando la estabilidad de la red de hidrogel y generando las condiciones de hidratación mencionada.

Los resultados obtenidos en este estudio coincidieron con lo informado por Yang y col. (2008), respecto a que el hidrogel de PVA puro tuvo la menor capacidad de hinchamiento. Es por ello que la mayor composición de PVA en H3 daría como resultado la formación de hidrogel de menor proporción de hinchamiento debido a su

mayor grado de cristalinidad. En otros estudios Xiao y Yang (2006), informaron que la proporción de hinchamiento de las películas de PVA injertadas con almidón (PVA-g-almidón) disminuye con el aumento de la longitud de cadena de PVA, y los segmentos de PVA cristalizan durante el proceso de formación de la película. El PVA injertado de mayor peso molecular conduciría a la mayor formación de una fase cristalina en el PVA-g-almidón. Como consecuencia, podría absorberse menos agua y, por tanto, se produciría la disminución observada en la relación de hinchamiento de las películas de PVA -g-almidón.

El hidrogel H1 tuvo la capacidad de absorber agua 700 % su peso en 7 días lo cual permitiría describirlo como un hidrogel superabsorbente, es decir que pueden absorber más del 100% de su peso en agua y retenerla dentro de la matriz polimérica durante un cierto periodo (Jensen, 2011).

Con estos resultados se podría inferir que este tipo de hidrogel podría ser aplicado en sistemas de envasado de alimentos como almohadillas absorbentes cuando el propósito es la absorción de fluidos biológicos de productos alimenticios frescos, como carnes, frutas y verduras.

3.3 Análisis de perfil de textura de hidrogeles

El análisis del perfil de textura de los hidrogeles de PVA:AR se muestra en la tabla 3. Se observó que la estructura del hidrogel H3 es más rígida que los otros debido a una mayor concentración de PVA (dureza 4444 g).

Tabla 3. Perfil de textura de hidrogeles almidón-PVA

Muestra	Dureza (g)	Elasticidad	Cohesión	Gomosidad	Resiliencia
H1	2055 ± 706 ^a	0,97 ± 0,03 ^a	0,74 ± 0,21 ^a	1447 ± 367 ^a	0,43 ± 0,03 ^a
H2	3684 ± 439 ^b	0,91 ± 0,06 ^a	0,65 ± 0,10 ^a	2255 ± 505 ^{ab}	0,43 ± 0,02 ^a
H3	4444 ± 709 ^b	0,87 ± 0,07 ^a	0,72 ± 0,05 ^a	3202 ± 402 ^b	0,44 ± 0,01 ^a

Letras diferentes en columnas indican diferencias estadísticas (p<0.05) entre las medias presentadas por el test de Tukey.

Aunque la concentración de PVA modificó significativamente la dureza del hidrogel la mayoría de las características texturales (cohesión, elasticidad y resiliencia) no se modificaron significativamente.

El hidrogel H1 tuvo menor gomosidad comparado con H3. Por definición la gomosidad se relaciona con la energía necesaria para desintegrar un material semisólido, y es igual al producto de la dureza y la cohesividad, por lo cual al aumentar la dureza del material y tener cohesividad similares, también aumentó la gomosidad de H3.

La reticulación permitió la formación de hidrogeles y la rigidez del mismo se debió a un aumento de la concentración de PVA, generando una red tridimensional más estructurada y resistente. Por lo tanto, el agregado de una menor proporción de PVA sería beneficiosa para los fines buscados.

4. CONCLUSIONES

Los almidones estudiados presentaron contenidos de amilosa intermedio y alto, condición relacionada con una mayor susceptibilidad a la modificación por reticulación, en comparación con otras fuentes de almidón con bajo contenido de amilosa como el arroz.

La relación PVA:AR del hidrogel H1 fue la que presentó mejor propiedad de hinchamiento, la cual fue incrementando hasta el día 7. Esto implicaría que los materiales absorbentes podrían aplicarse principalmente a los sistemas de envasado de alimentos en los que una bandeja o recipiente de plástico recibe los fluidos biológicos liberado de los alimentos frescos durante el almacenamiento para que el hidrogel colocado dentro del empaque que absorbe el exudado liberado mientras controla el aw del producto alimenticio.

Las propiedades mecánicas indicaron que el agregado de PVA produjo hidrogeles más firmes y resistentes a la absorción de agua, por lo cual es conveniente una pequeña cantidad de PVA en la formulación para favorecer la formación de un hidrogel más blando que cumpla con el objetivo de este estudio.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería- Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo social para el NOA (CIITED) -UNJu- CONICET.

6. REFERENCIAS

- AOAC, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 20th ed., Washington 2016.
- ASTM D570-98, Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos, *ASTM International*, West Conshohocken, PA 2010.
- Ahmed, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: *Journal of advanced research*, 6(2), 105-121, 2015.
- Barska, A., WyrWA, J. Innovations in the food packaging market—intelligent packaging—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 35(1), 1-6, 2017.
- Biduski, B., da Silva, W., Colussi, R., El Halal, S., Lim, L., Dias, Á., da Rosa Zavareze, E. Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. *International journal of biological macromolecules*, 113, 443-449, 2018.
- Caló, E., Khutoryanskiy, V. Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products. *European Polymer Journal*, 65, 252-267, 2015.
- Calliope, S., Wagner, J., Samman, N. Physicochemical and Functional Characterization of Potato Starch (*Solanum*

- Tuberosum ssp. Andigenum) from the Quebrada De Humahuaca, Argentina. *Starch-Stärke*, 72(1-2), 1900069, 2020.
- Cruz, G., Ribotta, P., Ferrero, C., Iturriaga, L. Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Starch-Stärke*, 68(11-12), 1084-1094, 2016.
- Chen, Q., Yu, H., Wang, L., ul Abdin, Z., Chen, Y., Wang, J., Zhou, W., Yang, X., Ullah Khan, R. Zhang, H., Chen, X. Recent progress in chemical modification of starch and its applications. *Rsc Advances*, 5(83), 67459-67474, 2015.
- Chung, H. J., Li, X. Q., Kalinga, D., Lim, S. T., Yada, R., Liu, Q. Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food research international*, 57, 89-94, 2014.
- de Azeredo, H. Antimicrobial nanostructures in food packaging. *Trends in food science & technology*, 30(1), 56-69, 2013.
- Demitri, C., De Benedictis, V., Madaghiele, M., Corcione, C., Maffezzoli, A. Nanostructured active chitosan-based films for food packaging applications: Effect of graphene stacks on mechanical properties. *Measurement*, 90, 418-423, 2016.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., Robledo, C. Grupo *InfoStat*. [<http://www.infostat.com.ar>] 2016.
- Feng, E., Ma, G., Wu, Y., Wang, H., Lei, Z. Preparation and properties of organic-inorganic composite superabsorbent based on xanthan gum and loess. *Carbohydrate polymers*, 111, 463-468, 2014.
- Jensen, O. M. Water absorption of superabsorbent polymers in a cementitious environment. In International Conference on Advances in Construction Materials through Science and Engineering 2011. *Rilem publications*, 2011.
- Juliano, B., Perez, C., Blakeney, A., Castillo, T., Kongseeree, N., Laignelet, B., ..., Webb, B. International cooperative testing on the amylose content of milled rice. *Starch Stärke*, 33(5), 157-162, 1981.
- Kuakpetoon, D., Wang, Y. Locations of hypochlorite oxidation in corn starches varying in amylose content. *Carbohydrate Research*, 343(1), 90-100, 2008.
- Sandhu, K. S., Kaur, M., Singh, N., Lim, S. comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT-Food Science and Technology*, 41(6), 1000-1010, 2008.
- Santana, J., do Rosário, J., Pola, C., Otoni, C., de Fátima FerreiraSoares, N., Camilloto, G., Cruz, R. Cassava starch-based nanocomposites reinforced with cellulose nanofibers extracted from sisal. *Journal of applied polymer science*, 134(12), 2017.
- Sodhi, N. S., Singh, N. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food chemistry*, 80(1), 99-108, 2003.
- Tavares, A., Zanatta, E., da Rosa Zavareze, E., Helbig, E., Dias, A. The effects of acid and oxidative modification on the expansion properties of rice flours with varying levels of amylose. *LWT-Food Science and Technology*, 43(8), 1213-1219, 2010.
- Xiao, C., Yang, M. Controlled preparation of physical cross-linked starch-g-PVA hydrogel. *Carbohydrate Polymers*, 64(1), 37-40, 2006.
- Yang, X., Liu, Q., Chen, X., Yu, F., Zhu, Z. Investigation of PVA/ws-chitosan hydrogels prepared by combined γ -irradiation and freeze-thawing. *Carbohydrate Polymers*, 73(3), 401-408, 2008.
- Yu, C., Tang, X., Liu, S., Yang, Y., Shen, X., Gao, C. Laponite crosslinked starch/polyvinyl alcohol hydrogels by freezing/thawing process and studying their cadmium ion absorption. *International journal of biological macromolecules*, 117, 1-6, 2018.
- Woo, K., Seib, P. Cross-linking of wheat starch and hydroxypropylated wheat starch in alkaline slurry with sodium trimetaphosphate. *Carbohydrate Polymers*, 33(4), 263-271, 1997.

Degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos utilizando titania modificada activa bajo luz visible

Cardozo, Ana Elizabeth^{1,3}; Farfán Torres, Elsa Mónica.^{2,3} y Sham, Edgardo Ling.^{1,3}

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*
anacardozoiq@gmail.com; sham@unsa.edu.ar

(2) *Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta.*
mfarfantorres@gmail.com

(3) *Instituto de Investigaciones para la Industria Química, INIQUI, CONICET*

RESUMEN

Titania (TiO_2) se sintetizó por el método sol-gel, mediante la hidrólisis de isopropóxido de titanio con agua, empleando ciclohexano como medio dispersante. La titania se modificó con iones de Cr^{6+} , con concentraciones de 0,5; 1,0; 1,5% m/m de Cr. Los materiales se trataron térmicamente a 400°C y se caracterizaron por Reflectancia Difusa (DRS), Espectroscopia Raman, Análisis termogravimétrico (TG) y termodiferencial (ATD) y Superficie Específica. La actividad fotocatalítica fue determinada mediante el estudio de la degradación de un colorante azoico (amarillo 5) y de un compuesto orgánico aromático p-dihidroxibenceno (quinol), bajo radiación de luz visible. Para ambos compuestos orgánicos se observa una mayor actividad fotocatalítica en los sólidos dopados.

ABSTRACT

TiO_2 was synthesized by the sol-gel method, by hydrolysis of titanium isopropoxide with water, using cyclohexane as the dispersing medium. The titania was modified with Cr^{6+} ions, with concentrations of 0.5; 1.0; 1.5% m/m Cr. The materials were thermally treated at 400°C and characterized by Diffuse Reflectance (DRS), Raman Spectroscopy, Thermogravimetric (TG) and Thermodifferential Analysis (ATD), and Specific Surface. The photocatalytic activity was determined by studying the degradation of an azo dye (yellow 5) and aromatic organic compound p-dihydroxybenzene (hydroquinone) under visible light radiation. For both organic compounds, a higher photocatalytic activity is observed in doped solids.

Palabras claves: Fotocatálisis luz visible - TiO_2 - Cr^{+6} - Caracterización-

Keywords: Visible light Photocatalysis- TiO_2 - Cr^{+6} - Characterization.

1 INTRODUCCIÓN

El dióxido de titanio (TiO_2) es el fotocatalizador más usado en fotocatálisis. Desde que Fujishima y Honda (1979) estudiaran las propiedades fotocatalíticas de este semiconductor, han sido muchos los trabajos que se desarrollaron desde entonces, dado que se trata de un material de bajo costo, química y biológicamente inerte, presenta estabilidad a la corrosión química y fotoquímica, pero su utilización presenta algunos inconvenientes. El primero de ellos es la rápida recombinación entre electrones y huecos fotogenerados lo que causa un bajo aprovechamiento de la luz irradiada. Por otro lado, el semiconductor es fotoactivo en el rango

ultravioleta (UV). Como una alternativa, para superar esta desventaja, se propuso el dopado de TiO_2 con metales de transición, Fe, Cr, V, Co, Mo, fueron comúnmente empleados, siendo el Cr uno de los más prometedores. De acuerdo a lo publicado por, Peng (2012), López (2011), Kernazhitsky (2015), En este trabajo se emplea como método de síntesis del TiO_2 , el método sol gel, un método fácil y relativamente económico. Los sólidos sintetizados fueron modificados con iones de Cr por impregnación y posterior tratamiento térmico. Se empleó cromato de amonio como precursor de los iones de Cr^{6+} . Se evaluaron las propiedades fotocatalíticas de estos materiales mediante la degradación fotocatalítica de un azo colorante amarillo 5 y de p-

dihidroxibenceno, este último es uno de los intermediarios de la degradación de fenol.

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales y Reactivos

Se empleó como precursor del óxido de titanio, isopropóxido de titanio, IPT (97%) Aldrich. Alcohol isopropílico como disolvente de IPT, ciclohexano (C_6H_{12}) como medio hidrofóbico y agua bidestilada. Asimismo como precursor del óxido de cromo se utilizó cromato de amonio, $(NH_4)_2CrO_4$ (PA).

2.1 Síntesis sol-gel de TiO_2

La síntesis sol-gel de TiO_2 se llevó a cabo agregando gota a gota cantidades predeterminadas de IPT y agua bajo agitación constante. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la relación molar $H_2O/IPT = 4$ y una relación estequiométrica de 1 mol de IPT = 1 mol de TiO_2 . La agitación se mantuvo durante 2 horas. Se obtuvo una suspensión sólida de color blanco. El sólido obtenido, se lavó y se secó en estufa a $70^\circ C$ durante 24 horas. El sólido seco se denominó 0 Cr- TiO_2 .

2.2 Dopado con cromo

El dopado con iones de Cr, se realizó mediante la técnica de impregnación a humedad incipiente, para lo cual se determinó el punto a humedad incipiente dando como resultado 0,8 ml/g. Se utilizaron tres concentraciones de cromo para realizar el dopado: 0,5%, 1,0% y 1,5% m/m de Cr, obteniéndose tres catalizadores denominados: 0,5Cr- TiO_2 ; 1,0 Cr- TiO_2 ; y 1,5Cr- TiO_2 , los cuales luego de la impregnación se secaron en estufa a $70^\circ C$ durante 24 horas.

2.3 Técnicas de Caracterización

Los sólidos fueron tratados térmicamente a $400^\circ C$, en aire estático con alta velocidad de calentamiento y un tiempo de residencia de una hora. Las medidas de Reflectancia Difusa se realizaron usando un espectrofotómetro UV-vis, en un rango de análisis de 190 a 800 nm. Los análisis termogravimétrico (TG) y termodiferencial (ATD) fueron realizados en aire estático con una rampa de calentamiento de $10^\circ C/min$ desde temperatura ambiente hasta

$1000^\circ C$. La Espectroscopia Raman, se realizó en un espectrofotómetro Perkin Elmer FT-IRGX provisto de un láser como fuente de excitación. La medición de la superficie específica para las distintas muestras se realizó, en un equipo Micromeritics FlowSorb II 2300, después de desgasar las muestras a $100^\circ C$ durante 30 minutos bajo flujo de una mezcla nitrógeno/helio.

2.4 Estudio de Degradación

El estudio de degradación fotocatalítica se llevó a cabo en un reactor de vidrio de 200 mL de capacidad, sobre una solución acuosa de amarillo 5, 1×10^{-5} M y de p-dihidroxibenceno (Quinol), 4×10^{-5} M. En todas las pruebas se trabajó con una concentración de catalizador de 0,5 g/L. El fotocatalizador fue suspendido en cada disolución de compuesto orgánico, es decir, por un lado, en la solución de amarillo 5, y por otro en la solución de Quinol, en ambos casos, se mantuvo el lecho fluidizado mediante agitación permanente, primero en la oscuridad durante 30 min para alcanzar el equilibrio de adsorción-desorción y posteriormente, el fotoreactor fue irradiado con luz visible. La degradación de los compuestos orgánicos fue monitoreada mediante la toma de muestras a intervalos de 30 min, durante 3 horas. Para ello se extrajo 5 ml de la solución empleando una jeringa de vidrio. La cual de inmediato se filtró con una membrana de nitrato de celulosa de 0,45 μm . La solución filtrada se almacenó en tubos de vidrio cubiertos para evitar la incidencia de luz. El seguimiento de la concentración de los compuestos orgánicos se realizó por espectrofotometría U.V.-vis.

Por otro lado, se realizaron pruebas de fotólisis que indicaron que tanto para el colorante como para el Quinol, no se detectaron cambios en sus concentraciones durante 180 min de irradiación. Las pruebas fotocatalíticas se realizaron en un reactor de iluminación directa compuesto por cuatro lámparas Led dicroicas como fuente de luz visible. El espectro de emisión de las lámparas utilizadas fue medido en un espectrómetro óptico Newport OSM-400 UV y 400 UV/vis.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Reflectancia Difusa

Para conocer la respuesta de los sólidos bajo luz visible estudiamos las propiedades ópticas de los

materiales. En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos para los sólidos estudiados:

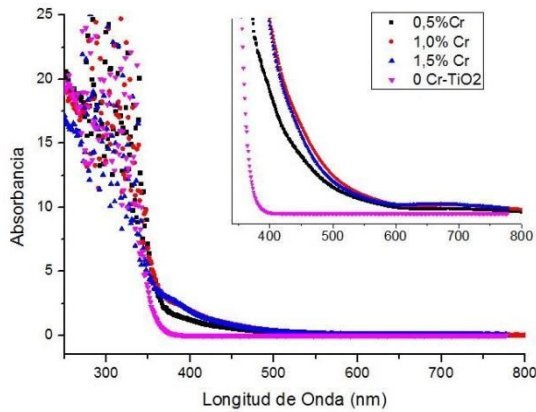


Figura 1. Espectros de absorción de los sólidos 0,5%Cr (negro), 1,0%Cr (rojo), 1,5%Cr (azul), 0%Cr (magenta).

Los espectros de absorción se obtuvieron adoptando la ecuación de Kubelka- Munk:

$$F(RD) = \frac{(1-RD)^2}{2RD} \tag{1}$$

Dónde: RD es la reflectancia difusa de los sólidos.

Los materiales con 0% Cr, son de color blanco y no presentan absorción en el rango de luz visible. Mientras que en los materiales dopados la absorción aumenta con el incremento de la concentración de cromo. Los valores de band gap (banda prohibida) se determinaron por extrapolación de la parte lineal de la función $(F(RD) * E(\lambda))^{0,5}$ vs. $E(\lambda)$.

$$E(\lambda) = \frac{h*c}{\lambda} \tag{2}$$

Dónde: h= constante de Plank (eV. s) y c= velocidad de la luz nm/s, Díaz Uribe (2014), Mishra (2018). Los valores calculados decrecen con el aumento de la concentración del dopante, como puede observarse en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de band gap, BGap, Eg (eV).

Materiales	BGap, Eg [eV]
0 Cr- TiO2	3,27
0,5Cr-TiO2	3,14

1,0Cr-TiO2	3,11
1,5Cr-TiO2	3,01

3.2 Análisis Termogravimétrico (TG) y Termodiferencial (ATD)

Mediante el análisis térmico se pueden estudiar los diferentes cambios másicos y entálpicos que ocurren en los materiales cuando son sometidos a un tratamiento térmico. En la figura 2 se muestran los resultados de los termoanálisis de los sólidos con 0%, 0,5%, 1,0% y 1,5% de Cr.

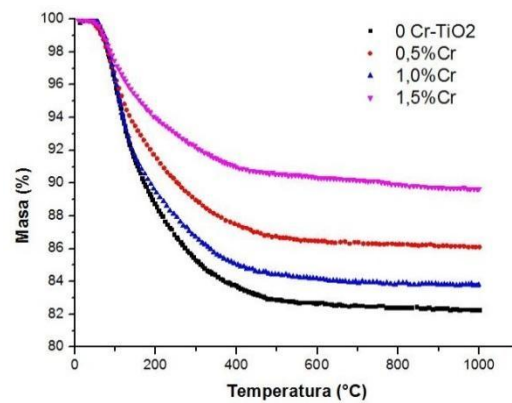


Figura 2. Curvas TG para los sólidos 0%Cr (negro), 0,5%Cr (rojo), 1,0%Cr (azul) y 1,5%Cr (magenta)

La pérdida de masa desde temperatura ambiente hasta los 1000°C para los sólidos dopados varía desde 10 a 16 %. No se encontró correlación con el porcentaje teórico del dopante. Lo que se podría atribuir a la configuración particular del oxihidroxido de titanio que permite retener más o menos hidroxilos, como así también la cantidad de grupos orgánicos retenidos. Mientras que la pérdida de masa para el TiO₂ sin dopar fue del 18%.

En la figura 3 se detallan las curvas termogravimétricas de los sólidos estudiados:

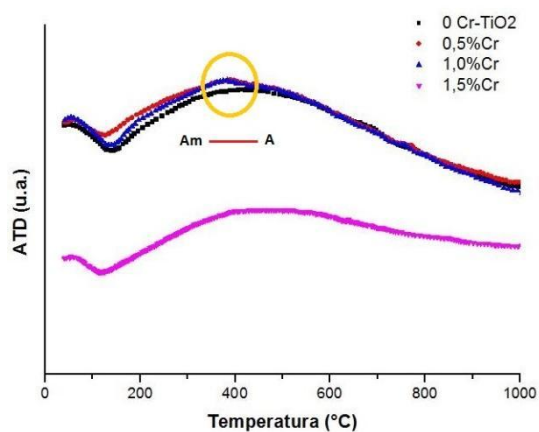


Figura 3. Curvas ATD de los sólidos 0%Cr (negro), 0,5%Cr (rojo), 1,0%Cr (azul) y 1,5%Cr (magenta).

A través del estudio termogravimétrico es posible determinar una caída brusca desde temperatura ambiente hasta los 200°C aproximadamente, lo que se debe a la desorción de agua y alcohol fisisorbido en la superficie del fotocatalizador. Lo que se corresponde con el primer pico endotérmico mostrado por las curvas ATD. La segunda pérdida de masa desde los 200 hasta los 500°C corresponde a la combustión de precursor remanente y agua estructural, Chen (2006). Simultáneamente del análisis ATD puede observarse un pico exotérmico a los 380°C lo que corresponde a la transformación de titania amorfa a la fase anatasa, como lo indica López (2011). A partir de los 500°C hasta los 1000°C la pérdida de masa es muy pequeña en todos los sólidos, lo que podría deberse a la eliminación de agua estructural remanente y OH estrechamente unidos a la superficie, Bleta (2010). No se observa la transformación de fase anatasa a rutilo. Para el sólido 1,5Cr-TiO₂ no se detecta la formación de anatasa indicando que el cromo retrasa la cristalinidad de la misma, como se evidencia en la espectroscopia Raman.

3.3 Espectroscopia Raman

Mediante espectroscopia Raman se determinó de forma sensible la cristalinidad de las muestras estudiadas. Para los sólidos calcinados a 400 °C Figura 4, se detectaron dos fases correspondientes al TiO₂: fase anatasa y brookita, no detectándose la presencia de rutilo en estos materiales. Lo que es consistente con los estudios térmicos. Asimismo, no se detectaron fases ligadas al

dopante en los espectros Raman, de acuerdo a Peng (2011).

En la figura 5 se presentan solo los espectros Raman de los sólidos dopados, donde puede observarse que la concentración del dopante retrasa la cristalinidad de las fases anatasa y brookita.

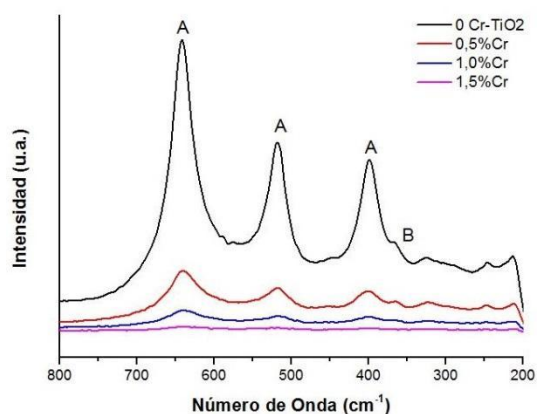


Figura 4. Espectros Raman para los sólidos con 0%, 0,5%, 1,0% y 1,5%Cr a la temperatura de 400°C.

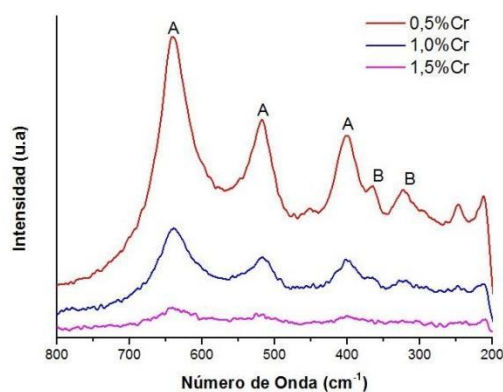


Figura 5. Espectros Raman de los sólidos 0,5% (rojo), 1,0% (azul), 1,5% Cr (magenta) a la temperatura de 400°C.

3.4 Superficie Específica

Se pudo determinar que los sólidos dopados presentan valores mayores de superficie específica que el sólido no dopado. Si bien la diferencia de los valores de superficie específica determinados para los sólidos dopados no es significativa, ya que la diferencia podría estar dentro del error experimental, se observa el mayor valor para el sólido 1,0Cr-TiO₂. Una

mayor superficie específica, podría contribuir a una mayor actividad fotocatalítica. Sin embargo, otros factores como el estado de oxidación del cromo y el tamaño cristalino deben ser también tomados en consideración para explicar la actividad fotocatalítica como lo explica López (2011). En la Tabla 2 se muestran los valores encontrados:

Tabla 2. Valores de superficie específica, (m²/g).

Materiales	Sup. Esp [m ² /g]
0 Cr-TiO ₂	119
0,5Cr-TiO ₂	136
1,0Cr-TiO ₂	140
1,5Cr-TiO ₂	133

3.5 Actividad Fotocatalítica

La actividad fotocatalítica de todos los sólidos preparados, se estudió monitoreando la degradación de los compuestos orgánicos, colorante amarillo 5 y del quinol bajo fuente de radiación visible.

La medición del espectro de emisión de las lámparas utilizadas, muestran que las mismas no presentan ninguna línea en la región de luz UV. Se observó que el espectro presenta dos picos en la zona del visible, uno a 460 nm y otro a 650 nm. Por lo que no resulto necesario emplear un filtro de luz UV para las medidas de actividad bajo luz visible. En la Figura 6 se muestra el espectro de las lámparas utilizadas.

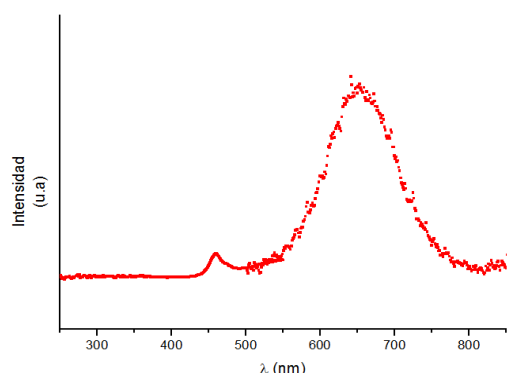


Figura 6. Espectro de emisión de la lámpara led dicróica que irradia el fotorreactor.

En la Figura 7 se observa el porcentaje remanente en solución del colorante amarillo 5 en función del tiempo, siendo C la concentración en la solución en el instante t y C₀ es la concentración inicial.

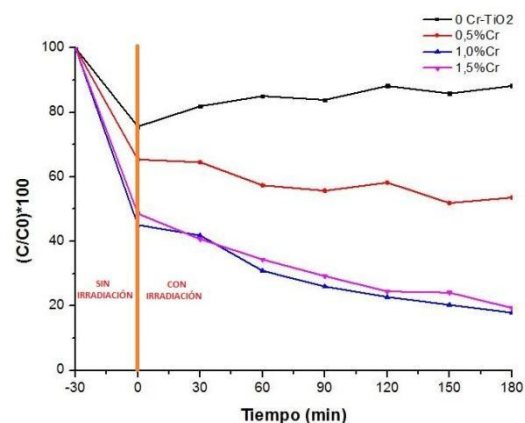


Figura 7. Porcentaje remanente de C/C₀ para amarillo 5 vs. Tiempo, de los sólidos tratados a 400°C: 0%Cr (negro), 0,5%Cr (rojo), 1,0%Cr (azul), 1,5%Cr (magenta).

De la Figura 7 se puede inferir que los sólidos dopados con cromo presentan actividad fotocatalítica bajo luz visible no así el sólido no dopado (0Cr-TiO₂). Los sólidos 1,0Cr-TiO₂ y 1,5Cr-TiO₂ presentan una respuesta fotocatalítica similar, siendo ligeramente superior para el sólido con 1,0% de cromo, alcanzando una performance de 82% de degradación, empleando en todas las pruebas la misma concentración de catalizador (0,5g/L).

Para estudiar la degradación del Quinol, se determinó el porcentaje remanente en solución de Quinol en función del tiempo, donde C es la concentración en solución en el tiempo t y C₀ es la concentración inicial del compuesto orgánico, como se muestra en la Figura 8.

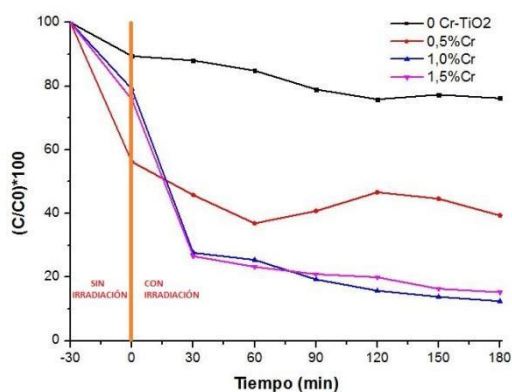


Figura 8. Porcentaje remanente de C/C_0 para Quinol vs. Tiempo, de los sólidos tratados a 400°C : 0%Cr (negro), 0,5%Cr (rojo), 1,0%Cr (azul), 1,5%Cr (magenta).

En este caso todos los sólidos dopados con cromo presentaron actividad fotocatalítica para la degradación del Quinol. Los sólidos 1,0Cr-TiO₂ y 1,5Cr-TiO₂ presentaron una respuesta similar, como en el caso de la degradación del amarillo 5. Siendo el de 1,0%Cr el que presentó una mejor respuesta, alcanzando un 87% de degradación también para una concentración de catalizador de 0,5 g/l. Asimismo se puede observar que si bien la degradación de quinol del catalizador sin dopar, 0Cr-TiO₂, es relativamente pequeña, éste presenta respuesta fotocatalítica frente a radiación de luz visible, lo que puede deberse a la formación de complejos de transferencia metal-ligando (LMCT) que implica la transferencia directa de electrones desde el orbital molecular ocupado más alto (HOMO) del quinol a la banda de conducción de TiO₂ de acuerdo a Zhang (2017). Sin embargo se observa que al cabo de 180 min de irradiación solamente se degradó un 24% de Quinol.

4 CONCLUSIONES

El método de síntesis que se llevó a cabo en este trabajo fue realizado con éxito, permitiendo con el dopado con cromo la obtención de materiales activos bajo fuente de luz visible. Los estudios de espectroscopia Raman permitieron determinar la presencia de dos fases cristalinas de TiO₂: anatasa y brookita, siendo la fase anatasa la predominante. No detectándose la presencia de rutilo en estos materiales y no se detectaron fases ligadas al dopante en los espectros Raman. Se determinó también que un aumento en la

concentración del dopante tiende a disminuir la cristalinidad de los materiales. Mediante el estudio térmico se determinaron tres etapas de pérdida de masa. La primera entre la temperatura ambiente y los 200°C correspondiente a la desorción de agua y alcohol fisisorbido en la superficie del fotocatalizador. La segunda entre los 200 y 500°C consistente de un pico exotérmico que se corresponde con la combustión de precursor remanente y agua estructural como así también, a la transformación de titania amorfa a fase anatasa. Mediante este estudio no se detectó la transformación de fase anatasa a rutilo. Lo que evidencia que no existe presencia de rutilo en las muestras estudiadas, lo que está en coincidencia con los análisis de los espectros Raman. De acuerdo a los estudios de superficie específica se determinó un aumento de la superficie específica con el aumento de la concentración del dopante, observándose un valor máximo relativo para el sólido 1,0Cr-TiO₂. El estudio de las propiedades ópticas mediante reflectancia difusa permitió determinar que todos los sólidos sintetizados dopados absorben en el rango de luz visible, debido a la disminución del valor de la banda prohibida (band gap).

Los sólidos dopados muestran actividad fotocatalítica en la degradación de los compuestos orgánicos amarillo 5 y quinol bajo fuente de luz visible. Este comportamiento, puede atribuirse a una mejor adsorción de radiación en el rango de luz visible, debido a las vacancias de oxígeno que se producirían en la red de TiO₂ por el efecto de la sustitución de iones cromo en la red cristalina de la titania.

5 REFERENCIAS

- Bleta, R., Alphonse P., Lorenzato L., Nanoparticle Route for the Preparation in Aqueous Medium of Mesoporous TiO₂ with Controlled Porosity and Crystalline Framework, *J. Phys. Chem. C*, 114, 2039–2048, 2010.
- Chen Y., Dionysiou D.D., Effect of calcination temperature on the photocatalytic activity and adhesion of TiO₂ films prepared by the P-25 powder-modified sol-gel method, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 244, 73–82, 2006.
- Diaz-Urbe C., Vallejo W., Ramos W., Methylene blue photocatalytic mineralization under visible irradiation on TiO₂ thin films doped with

- chromium, *Applied Surface Science*, 319, 121–127, 2014.
- Fujishima A., Honda K., *Nature*, 238, 37-38, 1979.
- Kernazhitsky L., Shymanovska V., Gavrilko T., Naumov V., Fedorenko L., Kshnyakin V., Baran J., Photoluminescence of Cr-doped TiO₂ induced by intense UV laser excitation, *Journal of Luminescence*, 166,253–258, 2015.
- López R., Gómez R., Oros-Ruiz R., Photophysical and photocatalytic properties of TiO₂-Cr sol-gel prepared semiconductors, *Catalysis Today*, 166, 159–165, 2011.
- Mishra, V.; Warshi, M.K.; Sati, A.; Kumar, A.; Mishra, V.; Sagdeo, A.; Kumar, R.; Sagdeo, P.R. Diffuse Reflectance Spectroscopy: An Effective Tool to Probe the Defect States in Wide Band Gap Semiconducting Materials, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 86, 151–156, 2018.
- Peng Y. H., Huang G. F., Huang W. Q., Visible-light absorption and photocatalytic activity of Cr-doped TiO₂ nanocrystal films, *Advanced Powder Technology*, 23, 8–12, 2012.
- Zhang G., Kim C., Choi W., Poly(4-vinylphenol) as a new stable and metal-free sensitizer of titania for visible light photocatalysis through ligand-to-metal charge transfer process, *Catalysis Today*, 281, 109-116, 2017.

Análisis de la vida residual de un conjunto industrial ventilador-eje para extracción de gases, en contexto de riesgo y sustentabilidad

Gareca, Edith¹; Antequera, Teresa¹ y Tolabín, Edmundo.²

(1) *Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
agareca@gmail.com; tessantequera@gmail.com.

(2) *Empresa Tolabin Consulting, Ingeniería y Servicios END.*
etolabin@gmail.com

RESUMEN

La operación de equipos industriales sometidos a altas cargas mecánicas y térmicas de elevadas temperaturas, requiere de estrategias que combinan seguridad y confiabilidad con aspectos económicos. En este contexto, la evaluación periódica del estado de los equipos de la planta es fundamental para la toma de decisiones relacionadas con funcionamiento, reparación y/o reemplazo de dichos equipos. En estos casos, se encuentran involucrados la confiabilidad operacional y la seguridad que se establecen en programas de mantenimiento basados en análisis de riesgo y la evaluación de la vida residual a través de las herramientas brindadas la ingeniería de materiales. Las bases de este análisis son las inspecciones periódicas de equipos críticos tales como hornos, ventiladores, molinos y enfriadores, que permiten detectar en forma predictiva, degradaciones del material que pueden comprometer la integridad de estos equipos. En este trabajo se expone el programa de control desarrollado durante un periodo prolongado de operación del conjunto ventilador-eje del sistema de extracción de gases de un horno de cemento que derivo en la previsión de reemplazo, luego de haber determinado la aproximación del fin de vida en servicio.

ABSTRACT

The operation of industrial equipment subjected to high mechanical loads and high temperature thermal loads requires strategies that combine safety and reliability with economic aspects. In this context, the periodic evaluation of the plant equipment is essential in order to make decisions regarding operation, repair or replacement such equipment. When operational reliability and safety are involved, they should be a established maintenance program based on risk analysis and the evaluation of residual life through the materials engineering tools. The bases of this analysis are the periodic inspections of critical equipment such as kilns, fans, mills and coolers, which allow the predictive detection of material degradations that can compromise the equipment integrity. In this work, the control program developed during a prolonged period of operation of the fan-shaft assembly of the gas extraction system of a cement kiln is exposed, Analysis led to the forecast of replacement, after having foreseen the end of the fan-shaft assembly service life

Palabras claves: Control- Equipos -Confiabilidad operacional- Vida residual

Keywords: Control – Equipment – Operational reliability – Residual life

1. INSTRUCCIONES

Los equipos industriales que operan a altas temperaturas, con elevada carga mecánica y un gran número de revoluciones presentan alta criticidad en su operación y mantenimiento, por lo cual se les deben realizar controles periódicos

para determinar el nivel de integridad y confiabilidad de funcionamiento. Este es el caso de extractores de gases calientes de un horno de Clinker conformado por un conjunto ventilador-eje de acero. Debido a las exigentes condiciones de servicio, la vida útil prevista, en general sufre modificaciones que deben ser

relevadas para prever el recambio del citado conjunto antes de su colapso catastrófico. En el caso del ventilador, los parámetros que permiten determinar el estado de degradación son el cambio de la microestructura, la presencia de microfisuras en zonas cercanas a las soldaduras, la pérdida de espesores de alabes y paredes laterales y la dureza. En relación al eje, construido en acero forjado, se controla el desgaste en zonas de alojamiento de rodamientos, la presencia de fisuras internas, el estado de la superficie y la dureza. A través del tiempo de operación habitualmente se aplica un programa de mantenimiento y control programado de manera de lograr un funcionamiento eficiente del equipo. En este sentido la concepción del mantenimiento en las últimas décadas, ha evolucionado desde la acción meramente reactiva a la aplicación de criterios de riesgo y confiabilidad, adquiriendo un mayor énfasis en la misión de mantener los equipos o activos en la máxima disponibilidad, a fin de poder garantizar una producción continua (Aguilar Otero, 2010). Este cambio responde a diversos factores, entre ellos, la disponibilidad de nuevos aceros, diseños mucho más complejos, una conciencia creciente de la conexión entre mantenimiento y calidad del producto y un requerimiento cada vez mayor de alcanzar un alto rendimiento de la producción y control de costos (Hung, 2009). Las expectativas sobre los resultados del mantenimiento y control son hoy en día mucho mayores, lo cual ha llevado a la utilización de técnicas de avanzada con conceptos novedosos que permiten romper los paradigmas tradicionales en todo su contexto. Se trata de aplicar controles y acciones de mantenimiento que incluyan cada uno de los factores antes mencionados para lograr la reducción de las averías imprevistas y tiempos de reparación, prolongar la vida útil del equipo, reducir costos de mantenimiento y contribuir a mejorar la calidad y cantidad de los productos (Moubray, 2000), en un contexto de seguridad y cuidado del ambiente.

En este trabajo se expone el programa de control desarrollado durante un periodo prolongado de operación del conjunto ventilador-eje, que derivó en la previsión de reemplazo al haber determinado la aproximación del fin de vida en servicio, mediante la utilización de técnicas de la Ingeniería de Materiales. El aporte de este trabajo permitió establecer la importancia de incluir estas técnicas asociadas a criterios de confiabilidad en

el mantenimiento de equipos industriales, ya que un activo físico debe operar en un contexto de sustentabilidad (Hung,2009). Esto, teniendo en cuenta que el tiempo requerido para lograr un nuevo equipo constituye un factor altamente incidente dado que debe ser fabricado con tecnología de avanzada para lograr un conjunto con alta calidad de aceros y balanceo dinámico, existiendo muy pocos centros de fabricación.

2. DESARROLLO

2.1 Componentes de Estudio

2.1.1 Descripción general

El objeto de estudio es un conjunto Eje-Ventilador. Como se planteó en el punto anterior, pertenece al sistema de ventilación de gases de un horno de producción de Clinker y, por lo tanto, extrae gases calientes trabajando a temperaturas de entre 300 y 550°C. Su instalación data del año 1997. El conjunto opera a 1000 rpm y tiene un peso total de 4,5 Tn. El peso del ventilador es de 1,5 Tn, con un diámetro de 2,5 m. En las Fig. 1, 2 y 3 se presentan los esquemas de estos componentes y en las Fig 4 y 5, fotografías de los álabes del ventilador y zona de acople del eje.

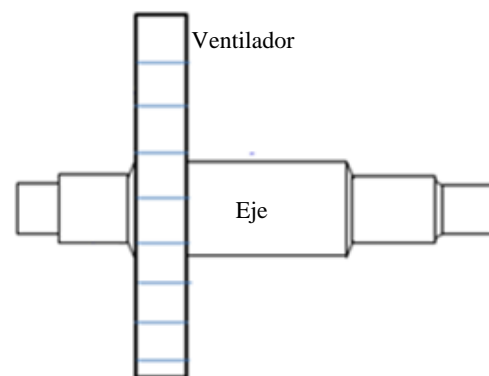


Figura 1: Esquema del conjunto de Eje y Ventilador.

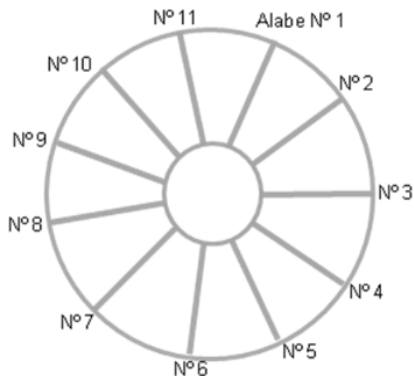


Figura 2: Esquema del ventilador, con numeración de álabes

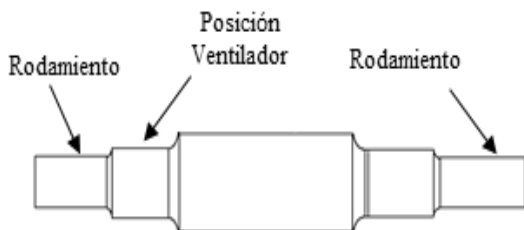


Figura 3. Esquema del eje. Se destaca la posición del ventilador



Figura 4. Fotografía de los álabes del ventilador. Se puede observar parte de la carcasa.



Figura 5. Fotografía del eje. Se puede observar el acople del ventilador.

2.1.2. Calidad de los aceros de cada componente

El acero del ventilador es del tipo estructural, ASTM A36. Se trata de un acero al carbono, de buena ductilidad, soldabilidad y aceptable resistencia mecánica. Su composición química responde al detalle de la siguiente tabla:

Tabla 1. Composición química del acero del ventilador (% en peso)

C	Mn	Si	P	S	Al
0.18	0.62	0.33	0.016	0.021	0.029

El acero del eje es SAE 4120, forjado con tratamiento térmico de temple y revenido. Su dureza es de 320 HB. El acero es adecuado para una pieza que se encuentra destinada a trabajo mecánico de transmisión de potencia a altas revoluciones. Su composición química responde al detalle de la siguiente tabla:

Tabla 2. Composición química del acero del eje (% en peso)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0.21	0.86	0.29	0.009	0.021	0.55	0.22

2.2 Evaluación de la integridad del ventilador

2.2.1 Análisis microestructural

En las Fig 6 y 7 se pueden observar el estado microestructural de un álabe del ventilador, correspondiente a los años 2004 y 2011, respectivamente. Comparando estos estados, se puede apreciar claramente, el aumento de precipitados de microfases. En la Fig. 7, se tiene además, la aparición de microfisuras, comenzando a comprometer la integridad del ventilador,

Figura 6. Microfotografía del álabe Nº 5 del ventilador. Año 2004. Se puede observar una tenue precipitación de microfases tipo carburos.



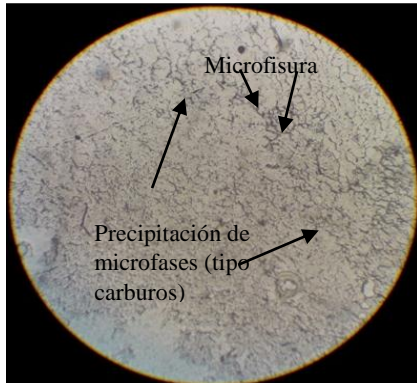


Figura 7. Microfotografía del álabe N° 5. Año 2011.

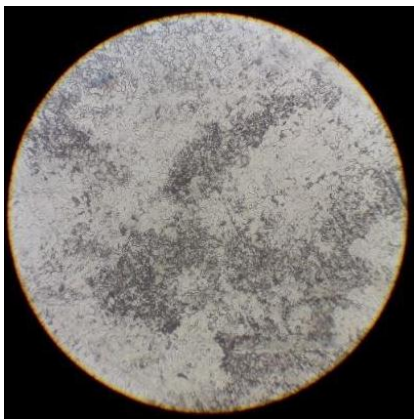


Figura 8. Microfotografía del álabe N° 5. Se puede observar la precipitación intensa de microfases. Año 2018.



Figura 9. Microfotografía del álabe N° 5. Se observa unión de microfisuras. Año 2018.

El análisis micrográfico muestra claramente como la microestructura va presentando novedades según el paso del tiempo. La precipitación de microfases va en aumento, como también la aparición de microfisuras, con coalescencia. Inicialmente la precipitación de estas microfases pueden endurecer el acero y esto a su vez, compensarse por el ablandamiento de trabajo a alta temperatura. La aparición de microfisuras, al grado de que llegan a unirse, debe ser tenido en cuenta, ya que es el signo mas evidente de que la microestructura se encuentra degradada.

2.2.2 Medición de Dureza

Para evaluar el efecto de la fluencia lenta a temperatura (Creep), se realizaron mediciones de dureza en los distintos años en que se llevaron a cabo las inspecciones. Los resultados muestran que la dureza ha disminuido considerablemente con el transcurso del tiempo y la exposición del material a carga y temperatura. Las mediciones de dureza se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de dureza

Año	2004	2007	2011	2018
Dureza HB	187	164	136	120

La pérdida de dureza detectada en alabes del ventilador, es consistente con el desarrollo de creep por efecto del calor y la carga mecánica que soporta este elemento durante prolongados períodos de servicio

2.2.3 Pérdida de espesor de los álabes

Se controló también el espesor de los álabes. En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para el álabe N° 9, en el período de tiempo de control. Se observa la disminución de espesor, con una reducción de la sección efectiva de casi un 10 %. Esto puede atribuirse a que los álabes presentan corrosión generalizada con exfoliación en sectores de unión con placas laterales, como puede verse en la Fig. 10

Tabla 3. Medición de espesor. Álabe N° 9.

Año	2004	2007	2011	2018
Espesor (mm)	18	17.7	17.3	16.2



Figura 10. Sector inferior izquierdo del álabe N° 9 con exfoliación

2.3 Vida residual del ventilador

Con la información relevada y recurriendo a la curva de Neubauer, presentada en la Fig. 11, que establece cinco estados de daño a partir de la observación de la microestructura, es posible determinar el desarrollo de la vida en servicio del ventilador.

La forma que presentan las microfisuras, permite situar al material del ventilador en el estadio D, donde se recomienda un reemplazo del material en un tiempo inmediato, debido a que existe el riesgo de que pueda producirse la rotura del componente.

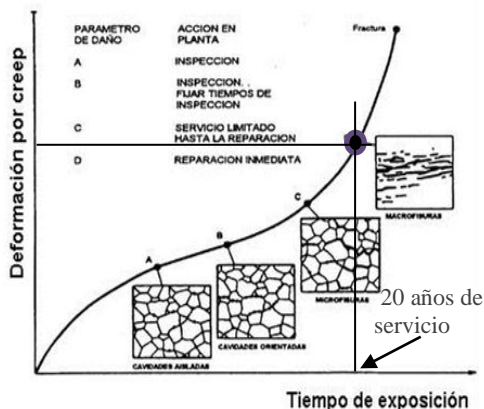


Figura 11. Curva de Neubauer. Progresión de daño por Creep.

2.4 Evaluación de la integridad del eje

Se midieron periódicamente los siguientes parámetros: pérdida de diámetro en alojamiento de rodamiento y presencia de fisuras internas,

ambos mediante ultrasonido. Si bien la superficie presentaba alto grado de corrosión por acción de gases calientes, con 300-500 ppm de Cloro, este daño se logró controlar mediante limpieza por arenado. Los valores relevados se presentan en la Tabla 5. También se detectaron fisuras internas a mitad de radio. Algunas de estas fisuras llegaban a una longitud de 45 mm.

Tabla 5. Diámetro de alojamiento de rodamiento

Año	2004	2007	2011	2017
Diámetro (mm)	235	230	227	235

Ante la pérdida de diámetro, en el año 2017 se realizó una reparación colocando un casquillo de acero como suplemento para lograr acoplamiento de rodamiento. Esto justifica el valor de diámetro del año 2017.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ventilador

La degradación del acero relevada mediante el cambio de la microestructura que alcanzó el estadio D en varios sectores, justifica la previsión de reemplazo. La dureza decreciente observada es consistente en el desarrollo del fenómeno de creep.

Factores adicionales, tales como corrosión y pérdida de espesores, también acompañan a la degradación y por ende, a la durabilidad.

Durante el período de control, se produjo el incremento de la producción, basado en procesos de mayor temperatura, que también repercutió en la durabilidad del ventilador.

Finalmente, el nivel de degradación alcanzado por pérdida de espesor y corrosión, determinó un alto grado de criticidad que devino en la previsión de reemplazo, acorde con los requisitos de sustentabilidad y seguridad.

3.2 Eje

La pérdida de diámetro en zona de alojamiento de rodamiento es lógica. La solución adoptada de colocar un suplemento prensado es habitual en operaciones de mantenimiento mecánico. Se trata de un buen indicador de la proximidad de fin de vida útil.

A partir del año 2011 se detectaron situaciones de alta vibración que se atenuaron parcialmente mediante balanceo in situ. Este fenómeno,

sumado al incremento de la producción, aceleró la fatiga del eje generando fisuras internas en zona de alojamiento de rodamiento. Esta pérdida de integridad fue determinante para decidir el reemplazo del eje.

3.4 Reemplazo del conjunto

Los indicadores de degradación relevados tanto en el ventilador como en el eje, condujeron a la decisión de prever el reemplazo del conjunto. Esta decisión se tomó en el año 2017 y terminó de ser concretada en el año 2019. La metodología de control aplicada, en el contexto del riesgo que implica la degradación del equipo y pérdida de funcionalidad, permitió cumplir con todas las etapas previstas en la planificación del mantenimiento y reemplazo de los componentes.

4 CONCLUSIONES

-El mejor indicador de la degradación del ventilador es el cambio de la microestructura, que encuentra en la etapa final (Estadio D de la curva de Neubauer). Se observa un alto grado de precipitación de carburos y alta presencia de microfisuras con coalescencia.

- El ventilador alcanzó el fin de vida útil 3 años antes de lo previsto (25 años). La presencia de alto grado de corrosión con exfoliación de los alabes contribuyó al deterioro.

- La pérdida de resistencia mecánica relevada a través de las mediciones de dureza Brinell corresponden a la evolución del fenómeno de creep.

- El eje sufrió deterioro creciente por las altas exigencias en servicios relacionadas con calor y alta carga mecánica en estado dinámico. En la etapa final de vida útil la aparición de fisuras internas precipitó la decisión de prever la sustitución de esta pieza.

- La metodología aplicada para el seguimiento del comportamiento en servicio del conjunto ventilador-eje resulta eficaz para determinar el estado de vida útil en servicio de este tipo de componentes industriales en contextos de análisis de riesgo basado en confiabilidad y sustentabilidad.

5 REFERENCIAS

Aguilar Otero, J., R. Torres Arcique and D. Magaña Jimenez. Análisis de modos de falla,

efectos y criticidad (AMFEC) empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación [en línea, sin mes]*. ISSN 0186-6036, 2010.

Hung, A. Controles basados en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC. *Ingeniería Energética [en línea, Vol XXX, N° Mayo-Agosto]*. Redalyc. p 12-18, 2009.

Moubray, J. Mantenimiento y Control Centrado en Confiabilidad (Reability –centred Maintenance), 1° Edición en español, Ed. Aldon Ltd. ISBN 09519603-2-3, Madrid. 348 p, 2000.

Velez Mejía, J. El análisis de fallas como una técnica de mantenimiento preventivo, *en Indisa On Line, N° 5, 2003*.

Viswanathan, R. Creep. *Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Components*. ASM International, Ohio, p 59-86. 1989.

Análisis electromiográfico y funcional de la musculatura del tronco en ejercicios isométricos

Gerez, Gonzalo D.¹; Cano, Leonardo A.^{1,2,3}; Farfán, Fernando D.^{2,3}; Parajón Viscido, Manuel¹

(1) *Cátedra de Anatomía descriptiva y funcional, Facultad de Educación Física, Universidad Nacional de Tucumán.*

gonzalodanielgerez@gmail.com; mvparajon39@gmail.com

(2) *Departamento de Bioingeniería, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*

lcano@herrera.unt.edu.ar; ffarfan@herrera.unt.edu.ar

(3) *Instituto Superior en Investigaciones Biológicas, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.*

RESUMEN

La estabilidad central ha cobrado importancia debido a su rol en el movimiento y la relación con el dolor lumbar, en ese sentido han sido propuestos diversos modelos para explicar su funcionamiento, sin un consenso claro aún. El objetivo de este trabajo fue analizar cuantitativamente la activación y participación de la musculatura del tronco en ejercicios isométricos relacionados a la estabilidad central. Se evaluó a una alumna de 23 años de la Facultad de Educación Física (UNT). A través de la electromiografía de superficie se examinó bilateralmente la actividad del oblicuo mayor, oblicuo menor, multifidos y glúteo mayor, en cuatro ejercicios isométricos, plancha prona, extensión isométrica de tronco y plancha lateral derecha e izquierda. Los resultados obtenidos indican que la plancha prona y la plancha lateral involucran principalmente los músculos oblicuos, contrariamente a la extensión isométrica del tronco que compromete a los multifidos. Sin embargo, los resultados muestran discrepancia con estudios previos, se observó una exacerbada activación en todos los ejercicios del oblicuo menor derecho y el oblicuo mayor izquierdo, un patrón cruzado de activación sincrónica que reflejaría un comportamiento adaptativo. Al tratarse del análisis de un caso, los resultados no son concluyentes, son necesarias más investigaciones al respecto.

ABSTRACT

Core stability has gained importance due to its role in movement and its relationship with low back pain, in this sense, various models have been proposed to explain its performance, without a clear consensus yet. The aim of this study was to quantitatively analyze the activation and participation of the trunk musculature in isometric exercises related to central stability. A 23-year-old student from the Facultad de Educación Física (UNT) was evaluated. Through surface electromyography, the activity of the external oblique, internal oblique, multifidus and gluteus maximus was bilaterally examined in four isometric exercises, prone plank, isometric trunk extension and right and left side plank. The results obtained indicate that the prone plank and the side plank mainly involve the oblique muscles, contrary to the isometric extension of the trunk that involves the multifidus. However, the results show a discrepancy with previous studies, an exacerbated activation was observed in all exercises of the right internal oblique and the left external oblique, a crossed pattern of synchronous activation that would reflect an adaptive behavior. For being a case report, this results are not conclusive, more research is needed in this regard.

Palabras claves: tronco - núcleo - estabilidad - electromiografía

Keywords: core - trunk - stability - electromyography

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el interés por la estabilidad central de la zona media ha sido un tema de debate entre los especialistas. Su importancia radica en el concepto del tronco como núcleo estructural y funcional del cuerpo, la relación con la transmisión de fuerzas entre las articulaciones esféricas, y su papel en el tratamiento y prevención del dolor lumbar, todo ello ha hecho de la estabilidad central un eslabón primordial en los planes de entrenamiento con objetivos de rendimientos deportivos y de salud.

A pesar de la gran cantidad de información acerca de la seguridad y eficacia en la prescripción de ejercicios para su entrenamiento, y de los esfuerzos para explicar sinergias y secuencias de activación muscular, aun coexisten paradigmas que intentan dar respuesta al funcionamiento de la zona media (Behm, 2010, Danneels, 2001; Hodges, 1997; Vera-García, 2015).

Entre los planteos más interesantes de la literatura destacamos el punto de vista desarrollado por Bergmark (1989) en donde realiza una distinción anatómico funcional de los músculos de la zona media, diferenciándose entre sistema global y local; el sistema local consiste en músculos con inserción u origen (o ambos) en la columna lumbar, mientras que el sistema global consiste en músculos con origen e inserción en la pelvis y caja torácica. El papel principal del sistema global parece ser equilibrar la carga externa para que el sistema local pueda manejar la fuerza resultante transferida a la columna lumbar, trabajando entre ambos sistemas de forma sinérgica y secuencial.

Un enfoque que parecería ser unificador tiene su origen en la década del 70, una nueva perspectiva de la zona media, el modelo del Serape original (Logan, 1970) proporciona una idea sobre los patrones de generación de fuerza utilizados por el cuerpo para transferirlas desde y hacia los miembros, encadenando la musculatura del tronco en forma de espiral, este modelo lleva el nombre de una manta típica de México que cruza el tronco por delante y por detrás de la nuca. Esta idea fue abordada y expandida hace unos años atrás por el concepto de “Core rotacional, Serape anterior y posterior” (Santana, 2015) proponiendo que la cadena no solo involucra la musculatura central sino también la axial, vinculando los miembros superiores e inferiores en forma diagonal por delante y por detrás, que parece ser utilizada en cualquier actividad, mediante una

ajustada sincronización permitiendo no solo movimientos rotacionales sino también en el plano sagital.

Actualmente no existen en la literatura científica estudios concluyentes que puedan explicar este modelo desde el punto de vista de la actividad eléctrica muscular.

La electromiografía de superficie es una técnica no invasiva que permite evaluar la función en músculos sanos y con dolor (De Luca, 1997). En este contexto la problemática a abordar fue el estudio de las características de sincronización del reclutamiento muscular en los actos motores monitoreada a través de biomarcadores, por ello el objetivo del siguiente trabajo ha sido analizar cuantitativamente la activación y participación de la musculatura del tronco en ejercicios isométricos relacionados a la estabilidad central realizados por una estudiante de la Facultad de Educación Física de la Universidad Nacional de Tucumán.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sujeto

Mujer saludable (23 años - Peso 62,8 kg. - Altura 1,64 m. - IMC 23,3), alumna de la Facultad de Educación Física (UNT), voluntariamente dispuesta a participar.

2.2 Registros de EMG

Los registros de electromiografía fueron adquiridos con un sistema RHA2000-EVAL a una frecuencia de muestreo de 2.5KHz. Se utilizaron electrodos autoadhesivos marca 3M® colocados en cuatro músculos bilateralmente, oblicuo mayor, oblicuo menor, multifidos y glúteo mayor, según las recomendaciones de la SENIAM y estudios específicos (McGill, 1996). El procesamiento de la señal cruda fue realizado con el software MATLAB® versión R2017b.

Los valores de referencia a partir de los cuales se compararon los resultados del posterior análisis corresponden a la prueba de máxima contracción isométrica voluntaria (MCV) en cada músculo, la cual consistió en evocar su acción principal durante cinco segundos (Vera-García, 2010) contra la resistencia manual ejercida por un colaborador en dirección contraria, se realizaron tres intentos con un descanso de un minuto entre pruebas.

Los ejercicios elegidos fueron cuatro, que al momento de examinarlos se realizaron en el siguiente orden: plancha frontal, extensión isométrica de tronco, plancha lateral apoyando el codo derecho y plancha lateral apoyando el codo izquierdo. Luego de la explicación por parte de un colaborador se realizó una prueba de familiarización y posteriormente tres evaluaciones de diez segundos de duración cada una con un minuto de descanso entre evaluaciones.

2.3 Descripción de los ejercicios

2.3.1 Plancha frontal

Decúbito prono con los antebrazos apoyados en el suelo, los pies separados a la altura de los hombros, la columna y la pelvis en una posición neutra (para asegurar esta posición se coloca un bastón tutor contactando a la altura de la parte más posterior del hueso occipital, en la mitad de la columna dorsal y a la altura del sacro). Los codos están separados al ancho de los hombros directamente debajo de la articulación glenohumeral. Se levanta el cuerpo sobre los antebrazos y los dedos de los pies, manteniendo el cuerpo lo más estable posible. (Fig. 1)

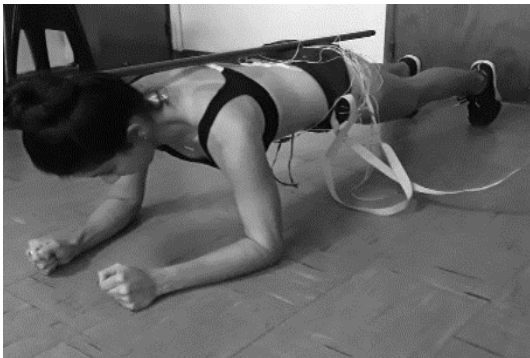


Figura 1: Plancha prona.

2.3.2 Extensión isométrica de tronco

Decúbito prono sobre una camilla, con las espinas ilíacas anterosuperiores en contacto con el extremo de la camilla, la columna y la pelvis se mantienen en una posición neutra (para asegurarse de esto se utiliza el mismo procedimiento descrito en la plancha frontal). Las piernas son sujetadas por detrás con resistencia manual por parte de un colaborador. Se levanta el cuerpo con los brazos cruzados por

delante del pecho y se mantiene esta posición lo más estable posible. (Fig. 2)

2.3.3 Planchas laterales

Decúbito lateral, con el antebrazo apoyado en el suelo, el codo por debajo de la articulación glenohumeral. La columna y la pelvis en posición neutra, las rodillas extendidas. La extremidad inferior que se encuentra por encima de la otra cruza a ésta por adelante y apoya con la parte interna del pie en el suelo. La extremidad superior libre cruza por frente del tórax y contacta la mano con el hombro contralateral. (Fig. 3)



Figura 2: Extensión isométrica de tronco.



Figura 3: Plancha lateral.

2.4 Procesamiento

Posteriormente a las pruebas de máxima contracción isométrica voluntaria se promedió los tres intentos para extraer el valor promedio absoluto de activación. Las señales obtenidas en la evaluación de cada ejercicio fueron normalizadas a partir del valor promedio absoluto obtenido de las pruebas de MCV, a su vez estas fueron reflejadas como un valor porcentual (% MCV). Finalmente, la duración del ejercicio se

dividió en 10 períodos de 1 segundo cada uno para evaluar el comportamiento morfológico de la señal y comparar los valores en función del tiempo transcurrido.

3. RESULTADOS

3.1 Plancha frontal (Fig. 4)

El ejercicio compromete principalmente los músculos abdominales bilateralmente. El oblicuo mayor izquierdo (108,65% MCV) presenta mayor actividad eléctrica que su homónimo contralateral (59,21% MCV). El oblicuo menor derecho (125,77% MCV) presenta mayor actividad eléctrica que su homónimo contralateral (71,77% MCV).

En el análisis por periodos la actividad eléctrica del oblicuo mayor derecho (OmaD) decrece un 15,83% y la del oblicuo mayor izquierdo (OmaI) aumenta un 78,38%. Morfológicamente la curva del OmaD refleja una disminución más o menos uniforme, y la curva del OmaI permite observar una tendencia creciente de igual forma.

El oblicuo menor derecho (OmeD) tiene un comportamiento muy irregular, reflejando picos exacerbados de aumentos y disminuciones de actividad eléctrica.

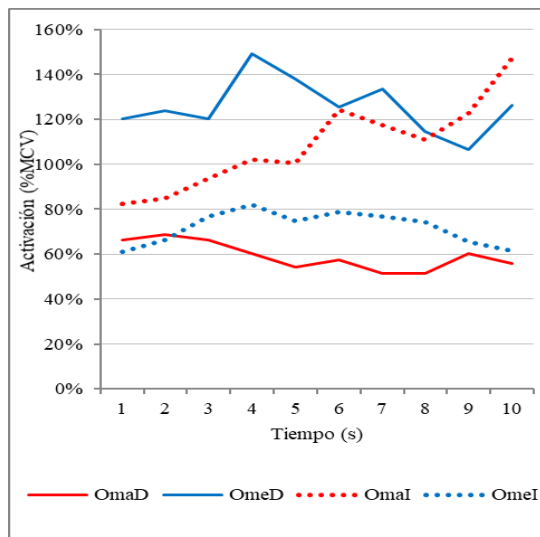


Figura 4: Análisis por periodos. Plancha prona.

3.2 Extensión isométrica de tronco (Fig. 5)

El ejercicio compromete principalmente a los músculos multifidos bilateralmente. Existe una

diferencia de activación del 27,37% entre los multifidos derechos -MfD- (304,38% MCV) y los multifidos izquierdos -MfI- (231,09% MCV). El oblicuo mayor izquierdo (24,82% MCV) presenta mayor actividad eléctrica que su homónimo contralateral (5,99% MCV). El oblicuo menor derecho (24,85% MCV) presenta mayor actividad eléctrica que su homónimo contralateral (15,18% MCV).

La señal del par de multifidos tiene una tendencia hacia el descenso de la actividad eléctrica, aunque se pueden observar picos ascendentes y descendentes que se alternan entre ambos.

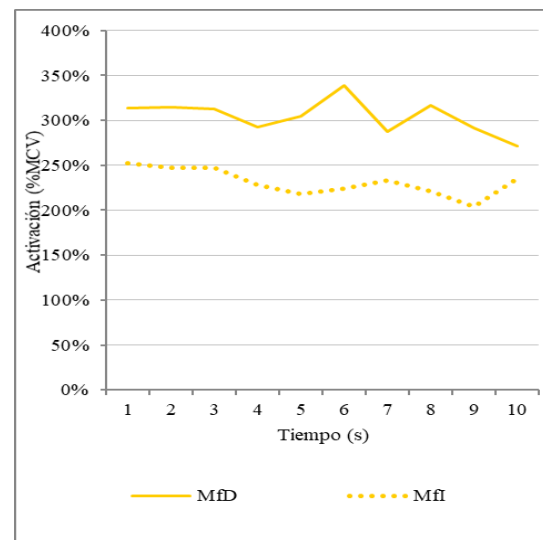


Figura 5: Análisis por periodos. Extensión isométrica de tronco.

3.3 Plancha lateral derecha (Fig. 6)

El ejercicio compromete principalmente a los músculos abdominales y multifidos derechos. El músculo más activado es el oblicuo menor derecho (262,06% MCV) y los multifidos derechos (206,26% MCV).

Al inicio del ejercicio tanto OmeD y MfD comienzan de valores muy similares, luego al transcurrir el tiempo el OmeD se comporta de una forma muy irregular, tiene una tendencia al incremento a través de picos pronunciados, diferenciándose así del MfD el cual solo refleja un incremento de su actividad del 2,79% con una curva morfológicamente más estable.

3.4 Plancha lateral izquierda (Fig. 7)

El ejercicio compromete principalmente a los músculos abdominales y multifidos izquierdos. El

oblicuo menor izquierdo y el multífido izquierdo son los músculos que más se activan (171,49% MCV y 206,95% MCV, respectivamente). El OmeI y MfI tienen un comportamiento similar en cuanto a las variaciones en la actividad eléctrica, en el análisis morfológico sus curvas mantienen cierta simetría y estabilidad, alternan entre ambos picos de aumentos y disminuciones modestas, finalizando ambos en niveles muy similares a los iniciales.

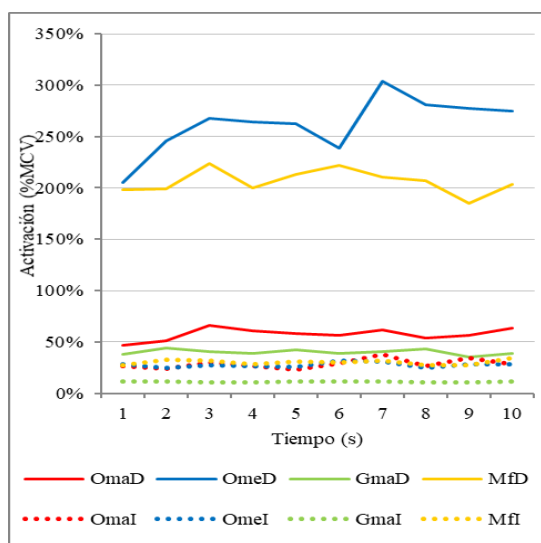


Figura 6: Análisis por periodos. Plancha lateral derecha.

3.5 Comparación entre ambas planchas laterales

Los únicos músculos que presentan actividad eléctrica muy similar en ambas planchas, cuando están en rol agonista, son los multífidos.

El oblicuo mayor izquierdo en su papel de antagonista (en la plancha lateral derecha) presenta mayor activación eléctrica (112,69% MCV) que el oblicuo mayor derecho cuando es antagonista, es decir en la plancha lateral izquierda, aunque sus niveles de activación son bajos (28,66% MCV OmaI y 8,00% MCV OmaD). Parecida situación se observa cuando ambos músculos tienen rol de agonista, o sea en la plancha lateral izquierda el OmaI y en la plancha lateral derecha el OmaD, en esta comparativa existe una diferencia del 79,70% a favor del OmaI. Algo similar sucede con el oblicuo menor derecho que supera al oblicuo menor izquierdo si comparamos su actividad en los mismos roles, cuando es agonista (plancha lateral derecha) un 41,78% y cuando es

antagonista (plancha lateral izquierda) un 99,18%, en este último caso lo interesante es su porcentaje de activación que corresponde al 82,43% MCV.

El glúteo mayor izquierdo al ejecutarse la plancha lateral izquierda presenta una activación correspondiente al 87,76% MCV, lo que representa un 74,47% más de actividad eléctrica que el glúteo mayor derecho cuando se ejecuta la plancha lateral derecha.

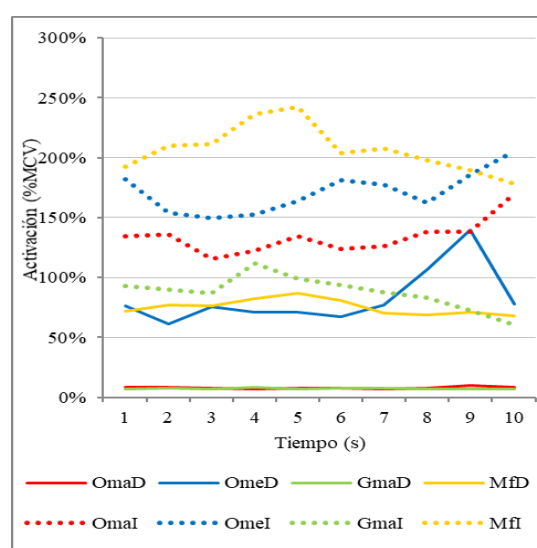


Figura 7: Análisis por periodos. Plancha lateral izquierda.

4. DISCUSIÓN

En lo que respecta a la plancha frontal, algunos estudios (Ekstrom, 2007; Schoenfeld, 2014) reportan una gran activación del oblicuo mayor, sin embargo, sus valores obtenidos son menores a los de este estudio. Si el análisis se centra en cada músculo del par, los resultados muestran algunas particularidades interesantes. Existe una mayor actividad del oblicuo mayor izquierdo y del oblicuo menor derecho comparados con sus pares contralaterales, además la señal morfológica del OmeD es bastante irregular, con picos muy pronunciados. No ha sido posible encontrar bibliografía sobre estudios en sujetos sanos que muestre tal situación. La relación de los músculos abdominales observada en el análisis por periodos es particularmente sugerente, se puede apreciar como entre ellos hay una interrelación que por lo menos permitiría pensar de una sinergia muscular, o en la existencia de un patrón cruzado

de activación entre oblicuos mayores y menores contralaterales.

En cuanto al ejercicio de extensión isométrica del tronco, nuestros hallazgos son acordes con la literatura existente (Arokoski, 1999; Coorevits, 2008; Steele, 2013), coincidimos en que los multifidos son el grupo motor primario, pero se encuentran diferencias en cuanto a los niveles de activación alcanzados. Al observar la morfología de la señal de los multifidos puede apreciarse una tendencia hacia la disminución de la actividad EMG, lo que podría relacionarse con un aumento de la fatiga muscular (Coorevits, 2008), y también plantear la posible hipótesis de que este evento podría ser un predictor de dolor lumbar, algo que ha sido relacionado más que nada con la resistencia muscular (Biering-Sørensen, 1984; Demoulin, 2016; McGill, 1999).

Teniendo en cuenta que tanto la plancha frontal como la extensión isométrica de tronco que se considerarían ejercicios simétricos (con una supuesta demanda equitativa en ambos hemicuerpos), y el comportamiento observado en este caso, podríamos pensar, pero no concluir, que estaríamos ante un caso que refleja una conducta adaptativa, una compensación funcional a algún factor extra que no ha sido tenido en cuenta en este análisis. Observamos similitud de resultados con estudios realizados con pacientes con dolor lumbar crónico, en donde se reportan aumentos en la actividad eléctrica, particularmente del oblicuo mayor, y un patrón de reclutamiento alterado, coincidentes, a priori, con nuestro caso (Calatayud, 2019; Kim, 2013; Shamsi, 2020; Silfies, 2005, van Dieën, 2003). Asimismo, existe la posibilidad de que la causa de estos valores observados en el análisis electromiográfico pueda darse debido a una estrategia de control postural como consecuencia de una escoliosis, ya que se encontró en la literatura evidencia que sujetos con esta patología presentaban patrones anormales de activación ante demandas simétricas, comparados con sujetos sanos (Avikainen, 1999; Chwała, 2014; Kuo, 2011).

Tanto la plancha lateral realizada con el apoyo del antebrazo derecho como la realizada del lado izquierdo presentan mayor activación de los músculos ipsilaterales (oblicuo mayor, oblicuo menor, glúteo mayor y multifidos) comparados con sus pares contralaterales, pero entre ellos se destacan el oblicuo menor y los multifidos sobre el resto como los más solicitados. En general los

resultados no concuerdan con la literatura, se puede decir que hay más similitudes en cuanto a la activación de los oblicuos mayores (Ekstrom, 2007; Kavcic, 2004). Un estudio realizado por Kavcic (2004) en donde evaluó la actividad muscular bilateralmente pero solamente realizando el ejercicio del lado derecho, evidenció mayor actividad del oblicuo mayor derecho y los niveles de activación son similares. En el resto de los estudios analizados los valores referenciados son mucho menores a los que hemos obtenido, sobre todo en el caso de los multifidos (Ekstrom, 2007; Martuscello, 2013). La morfología de la señal de ambos ejercicios es bastante irregular, sobre todo en la plancha lateral izquierda, en cuanto a esto podemos apreciar básicamente dos cosas. Por un lado, la relación entre los multifidos y oblicuo menor ipsilateral es cuanto menos interesante, al ser los músculos que muestran mayor activación podría pensarse como una estrategia para la valoración de la estabilidad unipodal; y por otro lado, si pudiera comprobarse que la coactivación de los músculos contralaterales, y en este caso antagonistas, es proporcional a la inestabilidad causante, podría entonces sumarse este evento a la valoración unipodal. Por último y no menor, la diferencia encontrada en la plancha lateral izquierda en la actividad EMG del glúteo mayor izquierdo comparada con la plancha lateral derecha y teniendo en cuenta su rol sinergista podría sugerir una compensación a la posible inestabilidad ya mencionada.

La relación entre el oblicuo menor derecho y el oblicuo mayor izquierdo es sin dudas el hallazgo más interesante. Ambos músculos presentan mucha más actividad que sus contralaterales sin importar el ejercicio o el rol que se les demandan, sin embargo, estos resultados no son concluyentes puesto que fueron obtenidos en un solo sujeto del cual se desconoce la existencia de alguna variable capaz de explicar el comportamiento observado, que probablemente podría estar relacionado a una respuesta adaptativa a algún factor no conocido. La evidencia nos sugiere que cambios en los patrones de reclutamiento son una adaptación a la inestabilidad espinal resultante de la laxitud o daño osteoligamentoso, disfunción muscular o control neuromuscular reducido (Silfies, 2005), como así también del dolor, la fatiga muscular (Enoka, 2008; Tsuboi, 1994), o una anomalía escoliótica. Sin embargo, no se puede atribuir a ninguno de estos factores los resultados obtenidos

debido a que no han sido tenidos en cuenta en este estudio. Sugerimos que lo observado podría ser una respuesta correspondiente a un patrón sincronizado de activación EMG cruzada involucrando dos músculos que anatómicamente y funcionalmente están relacionados, algo que ha sido observado de manera similar en otros estudios (Bergmark, 1989; Danneels, 2001; Santana, 2015). Es necesario más investigación al respecto para aclarar las asimetrías de activación observadas.

4.1 Posibles nuevas líneas de investigación

¿La relación de activación entre los músculos abdominales pares, en la plancha frontal, representa una estrategia de compensación? Si fuera así, ¿sucede lo mismo en condiciones de fatiga? ¿Esta relación se observa en individuos con alguna patología en la columna vertebral?

¿Las diferencias de activación entre los músculos oblicuo mayor izquierdo y oblicuo menor derecho, con sus pares contralaterales, representan una respuesta estabilizadora-compensatoria?

4.2 Limitaciones

En cuanto a la participante evaluada no se tuvo en cuenta la experiencia previa en ejercicios relacionados a la estabilidad central, probablemente existan diferencias entre sujetos entrenados y no entrenados, y por otro lado no haber indagado sobre su historial clínico ni de lesiones. La falta de recursos materiales restringió la posibilidad de evaluar mayor cantidad de músculos. Por último, no se evaluó la confiabilidad inter sujeto e inter evaluador de los ejercicios realizados.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo nos permite afirmar que es posible cuantificar la actividad eléctrica de los músculos relacionados a la estabilidad central y que efectivamente los ejercicios elegidos comprometen la musculatura central.

6. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado en el marco de la Beca Estudiantil CIUNT 2019, el autor agradece a la Secretaria de Ciencia, Arte e Innovación Tecnológica por su financiamiento;

como así también al Laboratorio de Investigación en Neurociencias y Tecnología Aplicada (LINTEC) del Departamento de Bioingeniería de la FACET-UNT por la colaboración con los instrumentos, medición y procesamiento de las señales.

7. REFERENCIAS

- Avikainen, V.J., Rezasoltani, A., Kauhanen, H.A., Asymmetry of Paraspinal EMG-Time Characteristics in Idiopathic Scoliosis, *Journal of spinal disorders*, 12, (1999).
- Behm, D.G., Drinkwater, E.J., Willardson, J.M., Cowley, P.M., Canadian Society for Exercise Physiology position stand: The use of instability to train the core in athletic and nonathletic conditioning, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35, 109-112, (2010).
- Bergmark, A., Stability of the lumbar spine, *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 60, 1-54, (1989).
- Biering-Sørensen, F.I.N., Physical Measurements as Risk Indicators for Low-Back Trouble Over a One-Year Period, *Spine*, 9, 106-119, (1984).
- Calatayud, J., Escriche-Escuder, A., Cruz-Montecinos, C., Andersen, L., Pérez-Alenda, S., Aiguadé, R., Casaña, J., Tolerability and Muscle Activity of Core Muscle Exercises in Chronic Low-back Pain, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 3509, (2019).
- Chwała, W., Koziana, A., Kasperczyk, T., Walaszek, R., Płaszewski, M., Electromyographic Assessment of Functional Symmetry of Paraspinal Muscles during Static Exercises in Adolescents with Idiopathic Scoliosis, *BioMed Research International*, 2014, 1-7, (2014).
- Coorevits, P., Danneels, L., Cambier, D., Ramon, H., & Vanderstraeten, G., Assessment of the validity of the Biering-Sørensen test for measuring back muscle fatigue based on EMG median frequency characteristics of back and hip muscles, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 997-1005, (2008).
- Danneels, L., Vanderstraeten, G., Cambier, D., Witvrouw, E., Stevens, V., De Cuyper, H., A Functional Subdivision of Hip, Abdominal, and Back Muscles During Asymmetric Lifting, *Spine*, 26, E114-E121, (2001).
- De Luca, C., The Use of Surface Electromyography in Biomechanics, *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 135-163, (1997).

- Demoulin, C., Vanderthommen, M., Duysens, C., Crielaard, J., Spinal muscle evaluation using the Sorensen test: a critical appraisal of the literature, *Joint Bone Spine*, 73, 43-50, (2016).
- Ekstrom, R., Donatelli, R., Carp, K., Electromyographic Analysis of Core Trunk, Hip, and Thigh Muscles During 9 Rehabilitation Exercises, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37, 754-762, (2007).
- Enoka, R., Duchateau, J., Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function, *The Journal of Physiology*, 586, 11-23, (2008).
- Hodges, P., Richardson, C., Contraction of the Abdominal Muscles Associated With Movement of the Lower Limb, *Physical Therapy*, 77, 132-142, (1997).
- Kankaanpää, M., Taimela, S., Laaksonen, D., Hänninen, O., Airaksinen, O., Back and hip extensor fatigability in chronic low back pain patients and controls, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79, 412-417, (1998).
- Kavicic, N., Grenier, S., McGill, S., Quantifying Tissue Loads and Spine Stability While Performing Commonly Prescribed Low Back Stabilization Exercises, *Spine*, 29, 19-29, (2004).
- Kim, J., Kang, M., Oh, J., Patients With Low Back Pain Demonstrate Increased Activity of the Posterior Oblique Sling Muscle During Prone Hip Extension, *PM&R*, 6, 400-405, (2013).
- Kuo, F., Hong, C., Lai, C., Tan, S., Postural Control Strategies Related to Anticipatory Perturbation and Quick Perturbation in Adolescent Idiopathic Scoliosis, *Spine*, 36, 810-816, (2011).
- Logan, G., McKinney, W., The Serape Effect, *Journal of Health, Physical Education, Recreation*, 41, 79-80, (1970).
- Martuscello, J., Nuzzo, J., Ashley, C., Campbell, B., Orriola, J., Mayer, J., Systematic Review of Core Muscle Activity During Physical Fitness Exercises, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 1684-1698, (2013).
- McGill, S., Juker, D., Kropf, P., Appropriately placed surface EMG electrodes reflect deep muscle activity (psoas, quadratus lumborum, abdominal wall) in the lumbar spine, *Journal of Biomechanics*, 29, 1503-1507, (1996).
- McGill, S., Childs, A., Liebenson, C., Endurance times for low back stabilization exercises: Clinical targets for testing and training from a normal database, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 941-944, (1999).
- Santana, J., McGill, S., Brown, L., Anterior and Posterior Serape, *Strength and Conditioning Journal*, 37, 8-13, (2015).
- Schoenfeld, B., Contreras, B., Tiriyaki-Sonmez, G., Willardson, J., Fontana, F., An electromyographic comparison of a modified version of the plank with a long lever and posterior tilt versus the traditional plank exercise, *Sports Biomechanics*, 13, 296-306, (2014).
- Shamsi, M., Mirzaei, M., HamedRad, M., Comparison of muscle activation imbalance following core stability or general exercises in nonspecific low back pain: a quasi-randomized controlled trial, *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 12, 1-9, (2020).
- Silfies, S., Squillante, D., Maurer, P., Westcott, S., Karduna, A., Trunk muscle recruitment patterns in specific chronic low back pain populations, *Clinical Biomechanics*, 20, 465-473, (2005).
- Steele, J., Bruce-Low, S., Smith, D., A review of the specificity of exercises designed for conditioning the lumbar extensors, *British Journal of Sports Medicine*, 49, 291-297, (2013).
- Tsuboi, T., Satou, T., Egawa, K., Izumi, Y., Miyazaki, M., Spectral analysis of electromyogram in lumbar muscles: fatigue induced endurance contraction *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69, 361-366, (1994).
- van Dieën, J., Cholewicki, J., Radebold, A., Trunk Muscle Recruitment Patterns in Patients With Low Back Pain Enhance the Stability of the Lumbar Spine, *Spine*, 28, 834-841, (2003).
- Vera-García, F., Barbado, D., Moreno-Pérez, V., Hernández-Sánchez, S., Juan-Recio, C., Elvira, J., Core stability: evaluación y criterios para su entrenamiento, *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8, 130-137, (2015).
- Vera-García, F., Moreside, J., McGill, S., MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 10-16, (2010).

Síntesis, Caracterización y Actividad fotocatalítica de TiO_2 depositada sobre $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$

Heredia, Carla L.¹; Farfán Torres, Mónica.^{1,3} y Sham, Edgardo^{1,2}

(1) Instituto de investigaciones para la industria química, CONICET-UNSa.
carlalheredia@gmail.com;

(2) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.
esham@gmail.com

(3) Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta

RESUMEN

El TiO_2 en fase anatasa obtenido mediante la técnica sol-gel, a baja temperatura se deposita sobre un sistema de óxidos conformados por núcleos magnéticos de Fe_3O_4 encapsulados en una red de SiO_2 mesoporosa, los cuales se incorporan mediante un surfactante catiónico, bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB), en la síntesis. Para favorecer la formación de la estructura mesoporosa, el CTAB es eliminado posteriormente por calcinación a 350 °C. Se estudiaron diferentes relaciones molares $[\text{CTAB}]/[\text{Si}]$. Los sólidos se caracterizaron mediante DRX y superficie específica de BET. La actividad fotocatalítica de los catalizadores fue evaluada en la degradación del colorante azoico artificial tartrazina, y también se analizó la efectividad de cada catalizador por unidad de masa, lo que comúnmente se conoce como *turnover rate*, determinándose de ese modo el mejor rendimiento fotocatalítico. Los resultados obtenidos indicaron que la deposición de la titania en sílice mesoporosa produce un catalizador con mayor actividad fotocatalítica.

ABSTRACT

TiO_2 anatase phase was obtained at low temperature by the sol-gel technique. TiO_2 has been deposited on a system of oxides made up of magnetic nuclei of Fe_3O_4 encapsulated by a mesoporous SiO_2 network, which have been achieved from the incorporation in the synthesis by a cationic surfactant cetyltrimethylammonium bromide (CTAB). To promote the formation of the mesoporous structure, the CTAB was subsequently removed by calcination at 350 °C. Different molar ratios $[\text{CTAB}] / [\text{Si}]$ have been studied. The solids were characterized by XRD and specific surface BET. The photocatalytic activity of the catalysts was evaluated in the degradation of the artificial azo dye tartrazine, and the specific effectiveness of each catalyst was also analyzed, through turnover rate, thus obtaining the best photocatalytic performance. The observed results indicated that the deposition of titania on mesoporous silica results in a catalyst with improved photocatalytic activity.

Palabras claves: (tartrazina-fotodegradación-fotocatálisis heterogénea)

Keywords: (tartrazine- photodegradation-heterogeneous photocatalysis)

1. INTRODUCCIÓN

El TiO_2 es uno de los semiconductores más estudiados en fotocatálisis heterogénea, una de las técnicas de oxidación avanzadas (OAP), más utilizadas en la degradación de compuestos orgánicos en aguas (Litter, 2005). A pesar de las convenientes propiedades ópticas y electrónicas, bajo costo, alta fotoactividad y estabilidad

química del TiO_2 , sigue siendo una limitación su uso en suspensión, dado que su pequeño tamaño de partícula requiere costosas tecnologías de separación sólido-fluido. Entre los soportes más destacados encontramos los núcleos magnéticos recubiertos con sílice (Beydoun y Amal, 2002). A su vez, una de las opciones también involucra la modificación de la red de sílice que se realiza mediante la incorporación de surfactantes iónicos,

para inducir la formación de una estructura híbrida mesoorganizada, luego de la remoción del solvente (Sen y Bruce, 2009, Zhang, 2012).

La fotocatalisis heterogénea es un proceso complejo en el cual tanto los sitios superficiales como la red cristalina en su totalidad, son responsables del rendimiento fotocatalítico. En cualquier punto del retículo cristalino la absorción de los fotones incidentes, conducirán a la formación de los huecos y electrones excitados, mientras que estos pares en la superficie serán los sitios activos dónde se lleven a cabo las reacciones fotocatalíticas. Además, en el caso particular del TiO_2 , bien se conoce que la fase más fotoactiva es la anatasa, que generalmente se obtiene por tratamiento térmico a $500\text{ }^\circ\text{C}$.

Por otra parte, existen diferentes parámetros que permiten describir cuan bien funciona un catalizador en una determinada reacción. Estos parámetros aportan cierto grado de entendimiento sobre la contribución de los sitios activos superficiales (área superficial, número de sitios activos fotocatalíticos expuestos), o la red cristalina (tamaño de partícula, cristalinidad) del fotocatalizador, al proceso fotocatalítico (Wachs *et al.*, 2013).

Es una práctica común normalizar la productividad fotocatalítica por cantidad de componente activo de fotocatalizador por unidad de tiempo, lo cual informa la efectividad de un catalizador por unidad de masa. Esta cantidad tiene mucho valor desde el punto de vista industrial, donde la actividad catalítica está fuertemente relacionada a los costos económicos que dichos procesos implican, lo que, a su vez, determina la aceptación de un proceso dado (Parmon *et al.*, 2002). Este valor se conoce como *turnover rate* (TOR) o *turnover frequency* (TOF) y su uso permite la comparación de las velocidades de diferentes catalizadores en diferentes laboratorios. Las investigaciones previas sugieren que el valor del *turnover rate* depende fuertemente de la temperatura, la concentración inicial y tiempo de reacción. Por lo tanto, para obtener cantidades comparables de las actividades de varios catalizadores para un proceso determinado, deben fijarse en todos los casos, las mismas condiciones experimentales, como lo reportan Boudart, (1995), Serpone (2000), y Parmon, (2002).

Para evaluar el comportamiento fotocatalítico de los sólidos obtenidos se ha elegido la molécula de Tartrazina, uno de los colorantes artificiales más

utilizados en la industria tanto en la industria alimentaria, como en medicina, cosmética, industrias textiles. Su uso otorga un tono amarillo, más o menos anaranjado, dependiendo de la cantidad añadida, la cual está siendo objeto de estudio por potenciales efectos negativos en la salud, como alergias, diarreas, hiperactividad e incluso puede afectar el desarrollo intelectual de los niños (Zhou, 2019).

En el presente trabajo, se presenta un estudio comparativo del *turnover rate* de una serie de fotocatalizadores obtenidos a partir del TiO_2 anatasa, fase alcanzada a baja temperatura, y soportados en partículas magnéticas encapsuladas en una red de SiO_2 mesoporosa. La modificación en la red de sílice se logró mediante la incorporación en la síntesis del surfactante catiónico (CTAB), que, de acuerdo a lo reportado en numerosos trabajos, favorece ampliamente la formación de una estructura híbrida mesoorganizada luego de la remoción del solvente, y en consecuencia mayor área superficial, de la red de sílice (Deng *et al.*, 2007; Sen y Bruce, 2009). Se incluye en el análisis comparativo al fotocatalizador con mejor respuesta fotocatalítica obtenido y reportado previamente, Heredia, (2011), el cual no presenta ninguna modificación en la matriz de SiO_2 y el TiO_2 ha sido depositado directamente sobre la sílice.

En otros trabajos previos se ha reportado con éxito la obtención de Titania en fase anatasa a baja temperatura, soportadas en partículas magnéticas Heredia (2011, 2013) y su evaluación fotocatalítica en diferentes tipos de moléculas, tal como describen Montañez (2018), y Heredia (2012).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Experimental

Las partículas de magnetita comercial (Alfa Aesar), fueron recubiertas con SiO_2 mediante la técnica sol-gel en medio básico con la incorporación del surfactante CTAB, para la obtención del SiO_2 mesoporosa. Para ello, 1,000 g de magnetita se adicionaron a una mezcla de etanol-agua. Luego, se incorporaron 4 ml de NH_4OH y finalmente 2,5 ml de Tetraetil ortosilicato (TEOS), se adicionaron a la mezcla y se mantuvo en contacto, bajo agitación mecánica, durante 6 hs. El surfactante en solución alcohólica

se incorporó a la reacción de hidrólisis del TEOS utilizando dos relaciones molares, [CTAB]/[Si] = 0,05 y 0,1, para obtener los núcleos magnéticos NM1 y NM2, respectivamente.

Posteriormente, estos núcleos magnéticos fueron calcinados a 350 °C durante 2 hs, para asegurar la eliminación total del CTAB y favorecer la formación de la estructura porosa, dando lugar a sus pares calcinados NM1C y NM2C, los cuáles fueron utilizados para la posterior deposición de TiO₂ anatasa.

La formación y posterior deposición de la fase TiO₂ anatasa a baja temperatura, se realizó también mediante la técnica sol-gel tal como se describió en un trabajo reportado previamente (Heredia, 2011). El mejor de los fotocatalizadores obtenidos en la mencionada publicación, al que nombramos CM-A, ha sido comparado con los fotocatalizadores obtenidos a partir de los núcleos mesoporosos que se presentan en este trabajo.

En todos los casos, una porción de los fotocatalizadores obtenidos por las técnicas descriptas, fueron calcinados a 500°C para comparar el comportamiento catalítico de la fase anatasa obtenida a altas temperaturas también.

En tabla 1 se resumen los nombres de los fotocatalizadores obtenidos y la procedencia de estos, en cuanto a detalles de síntesis.

Tabla 1. Resumen de obtención de fotocatalizadores.

Núcleo	[CTAB]/ [Si]	Catalizadores	
		75 °C	500 °C
NMSS	0	CM-A	CM-AC
NM1C	0,05	CM-B	CM-BC
NM2C	0,1	CM-C	CM-CC

2.2 Caracterización de sólidos

La superficie específica BET (N₂) fue obtenida por adsorción de N₂ en sortómetro de punto simple, en equipo Flow Sorb II Micromeritics y para el análisis de la porosidad las isothermas fueron obtenidas desde un sortómetro Micromeritics ASAP 2020.

Los difractogramas de los sólidos preparados en el presente trabajo fueron obtenidas en un Difractómetro Brucker AXS D8 Discover, usando radiación de cobre (Cu-Kα), 40 mV, 40 mA en un rango de 2θ de 20-60°.

2.3 Actividad fotocatalítica

Para realizar los ensayos de fotoactividad de los sólidos se utilizó un fotoreactor de tipo batch, que consistió en un vaso de vidrio provisto de agitación mecánica e iluminación vertical directa con lámpara policromática, marca Osram Ultra Vitalux de 300 W. La fotoactividad de los sólidos sintetizados fue probada en una disolución del colorante tartrazina, con una concentración inicial de 2.10⁻⁵ M. El % de degradación fue calculado como indica la ecuación (1):

$$\% \text{ de degradación} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

dónde C₀ es la concentración inicial y C_t corresponde a la concentración de la solución del colorante a diferentes tiempos de reacción

El *turnover rate*, que se define como la concentración (en moles) o el número de moléculas por unidad de área en un tiempo determinado, de los sólidos, fue calculado mediante la ecuación (2):

$$TOR = \frac{dc}{dt} \times \frac{1}{S} \quad (2)$$

Donde C, corresponde a la concentración de moléculas convertidas a producto, t es tiempo en horas, y S el número de sitios activos superficiales. Puesto que este último valor es difícil de determinar en catálisis heterogénea, una aproximación válida es reemplazar dicho valor por el cociente entre los moles de TiO₂ por unidad de área superficial para cada fotocatalizador.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización

En la tabla 2 se presentan los valores de superficie específica de los sólidos, determinados mediante adsorción de nitrógeno utilizando el método BET de punto simple, utilizando una temperatura de desgasado de 100°C y un tiempo de residencia de 30 minutos.

Como se desprende de la tabla, para los núcleos magnéticos sintetizados con incorporación de surfactante (NM1 y NM2), la superficie específica de BET presenta valores muy bajos mientras el surfactante se encuentra aún en la red. Luego del tratamiento térmico a 350 °C se produce un importante incremento del área

superficial de los mencionados núcleos, tal como se aprecia en las muestras NM1C y NM2C. Las superficies específicas obtenidas después del proceso de calcinación para la eliminación del surfactante se incrementaron 10 veces para el núcleo con menor contenido de CTAB en la red, NM1C, y 33 veces para el núcleo con mayor contenido de surfactante, NM2C, respecto de sus núcleos precursores.

Tabla 2. Superficie específica de BET en m^2/g .

Núcleo Magnético	BET	Fotocatalizadores	BET
Fe_3O_4	7,4	CM-A	119,17
		CM-AC	83,63
NM1	4,2	CM-B	157,0
NM2	5,3	CM-BC	124,0
NM1C	43,0	CM-C	255,0
NM2C	176,3	CM-CC	190,3

Esto se debe a que el tratamiento a la temperatura de calcinación provoca la eliminación del surfactante en la red inorgánica (SiO_2) conduciendo a la formación de una fase porosa. A su vez también se observó un notable cambio de coloración del óxido de hierro, que pasó del negro al rojizo, indicando la oxidación de la fase magnetita a maghemita. Esta transformación de fases del óxido de hierro no es deseable, puesto que Fe_3O_4 presenta mayor susceptibilidad magnética que $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, de modo que la recuperación magnética de estos sólidos es más difícil.

Para un análisis más detallado de la estructura porosa adquirida por los núcleos magnéticos una vez eliminado el surfactante, es decir para los sólidos NM1C y NM2C, se obtuvieron sus respectivas isothermas de adsorción-desorción de N_2 a 77 K, las que se presentan en la figura 3.1.

Puede observarse que para el sólido NM1C la isoterma obtenida es de tipo IV irreversible y con ciclo de histéresis del tipo H3, que es característica de sólidos mesoporosos constituidos por partículas en forma de placas.

Para el caso del núcleo NM2C, también se observa una isoterma del tipo IV, pero presenta un ciclo de histéresis del tipo H4. Este tipo de histéresis es característico de materiales que tienen poros estrechos, en forma de rendijas y distribución de tamaño de poros uniforme.

En ambos casos, la forma de la isoterma a bajas presiones indica la presencia de microporos, puesto que a estas presiones se completa la adsorción de la monocapa, siendo mayor la fracción de microporos presentes en el núcleo NM2C.

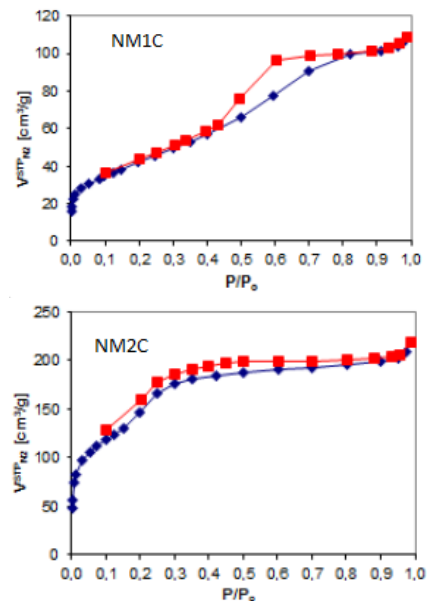


Figura 3.1: Isothermas de adsorción-desorción de los núcleos magnéticos mesoporosos.

En la figura 3.2 se presentan los perfiles de difracción de los fotocatalizadores CM-B y CM-C, y sus pares calcinados, CM-BC y CM-CC, respectivamente.

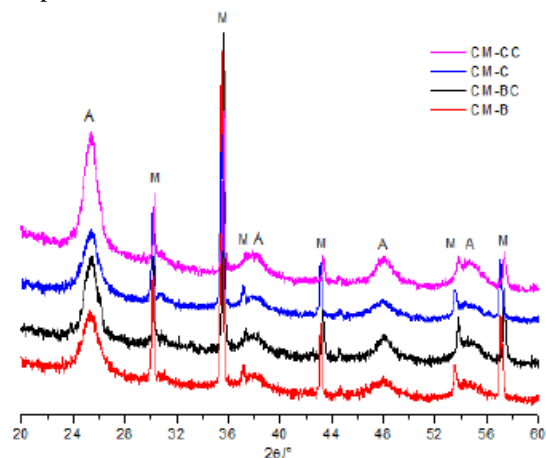


Figura 3.2: DRX de fotocatalizadores CM-B y CM-C y sus pares calcinados.

Como se observa, se encuentran presentes las líneas de difracción características de las fases Fe_3O_4 (indicados con M) y TiO_2 anatasa (indicados con A), a $2\theta = 25.5^\circ, 38.2^\circ, 48.1^\circ$ y 54.5° , correspondientes a los planos (1 0 1), (0 0 4), (2 0 0) y (1 0 5), respectivamente, para todos los fotocatalizadores preparados. Por otra parte, para las muestras calcinadas a 500°C , CM-BC y CM-CC, se observa una mayor definición de los picos característicos de la fase anatasa, debido a que como es bien sabido, el tratamiento térmico promueve un mayor grado de cristalización de la fase.

Para un análisis más detallado de la fase TiO_2 , obtenidas por envejecimiento a 75°C durante 5 hs (TiO_2 -75) y por calcinado a 500°C (TiO_2 -500) durante una hora, en la figura 3.3 se presentan los difractogramas de RX del TiO_2 sin soportar. Como se observa en ambas muestras, los picos de difracción aparecen en posiciones idénticas sólo que, para el caso de la muestra tratada térmicamente, los picos son más intensos y definidos. Se observan los picos característicos de la fase anatasa, a $2\theta = 25.5^\circ, 38.2^\circ, 48.1^\circ$ y 54.5° , correspondientes a los planos (1 0 1), (0 0 4), (2 0 0) y (1 0 5), respectivamente. El último pico corresponde en realidad al promedio de los picos de difracción a $2\theta = 54.1^\circ$ y 55.1° , de los planos (1 0 5) y (2 1 1), que aparecen como bandas individuales luego del tratamiento térmico a 500°C . Además, un pico menos definido en la muestra obtenida a 75°C , el cual es un poco más intenso para la muestra calcinada, se observa a $2\theta = 30.81^\circ$ correspondiente al plano (1 2 1) de la fase brookita. El pico de difracción (1 0 1) de anatasa a $2\theta = 25.28^\circ$, solapa con el pico (1 2 0) y (1 1 1) de brookita a $2\theta = 25.34^\circ$ y 25.69° , respectivamente (Bokhimi, 2004).

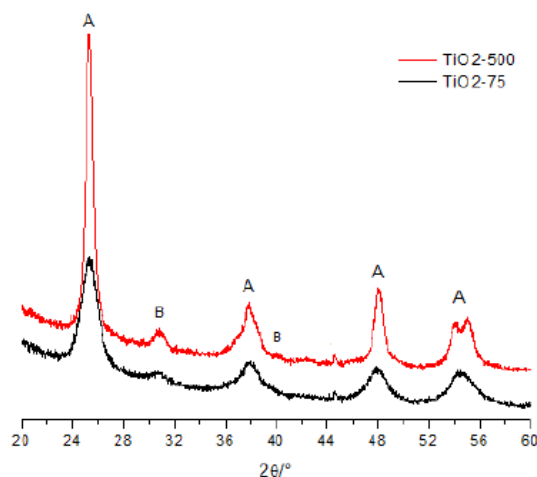


Figura 3.3: DRX del TiO_2 obtenidos a: 75°C (TiO_2 -75) y a 500°C (TiO_2 -500).

3.2 Actividad Fotocatalítica

En figura 3.4, se presentan los resultados de la fotoactividad medida para los distintos catalizadores preparados. Las pruebas fotocatalíticas muestran que el catalizador magnético CM-C, obtenido de la deposición de anatasa en el núcleo NM2, el cual presentaba la mayor relación molar $[\text{CTAB}]/[\text{Si}]$, es el que presenta la mejor respuesta fotocatalítica al degradar casi un 95% de tartrazina en 80 min de reacción.

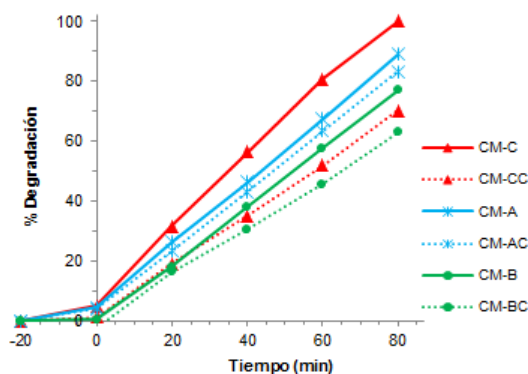


Figura 3.4: Fotoactividad de catalizadores de TiO_2 soportados en núcleos magnéticos mesoporosos.

Los resultados obtenidos se relacionan claramente con el contenido de TiO_2 presente en el fotocatalizador y su área superficial, puesto que para obtener CM-C, la fase anatasa fue soportada en el núcleo magnético con mayor superficie

específica, NM2C. Se puede presumir que la mayor cantidad de surfactante introducido en la red de sílice durante el proceso de hidrólisis produce una mayor mesoporosidad, y a su vez también conduce a la formación de una capa externa con alta superficie específica, lo que produce una mayor proporción de sitios activos expuestos y disponibles. El segundo mejor rendimiento le corresponde a la muestra CM-A que alcanza una degradación de casi un 90 % de colorante luego de 80 min de reacción. Su par calcinado, CM-AC, que presenta alrededor de un 20% menos de área superficial, en el mismo tiempo de reacción descompone alrededor de 83 % de tartrazina. Por último, el catalizador CM-B y su par calcinado CM-BC, presentan la menor fotoactividad. Este comportamiento también se correlaciona con los valores de la superficie específica, puesto que presentan los valores más bajo de esta serie de fotocatalizadores 118,0 y 83,0 m^2/g para CM-B y CM-BC, respectivamente. Si bien, las muestras contienen más cantidad de TiO_2 , tal vez una cierta fracción de este no se encuentra ópticamente accesible. Para las muestras CM-BC y CM-CC el rendimiento fotocatalítico es mucho menor que sus precursores sin calcinar. A partir de los valores de superficie específica podemos inferir que luego de la deposición del TiO_2 la estructura mesoporosa se mantiene y cuando estos son calcinados, la estructura colapsa bruscamente suprimiendo los poros interparticulares. Lógicamente, el fotocatalizador obtenido a partir del núcleo magnético más mesoporoso (NM2C), es el que presenta la caída más importante de actividad fotocatalítica, reduciendo más de un 20 % la degradación de la tartrazina para un tiempo de 80 min.

Para comparar el comportamiento catalítico de los fotocatalizadores obtenidos, se utilizó el porcentaje de degradación de la tartrazina luego de 40 min de reacción, para calcular el *turnover rate* de cada sólido. La comparación de los TOR de cada sólido se presenta en la figura 3.5.

Como se aprecia en la gráfica, los valores de TOR presentan considerables diferencias. Si se analizan en primer lugar los catalizadores obtenidos a temperatura ambiente, se observa que la cantidad de tartrazina convertida por mol de TiO_2 superficial, por hora, presenta directa correlación con los valores de la superficie de BET, siendo CM-C el catalizador con la mayor cantidad de sitios activos por mol de TiO_2 .

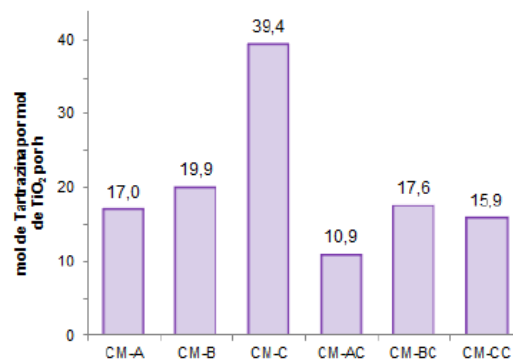


Figura 3.5: *Turnover rate* para los catalizadores CM-A, CM-B, CM-C, CM-AC, CM-BC y CM-CC, en moles de tartrazina por sitio activo de catalizador por hora.

Posteriormente, analizando los catalizadores obtenidos luego de la calcinación a 500 °C se observa una importante disminución del *turnover* respecto a los fotocatalizadores sin calcinar y la tendencia que siguen, también se correlaciona con los valores de la superficie de BET. En particular, se observa una drástica caída del *turnover* para el catalizador CM-C con una cantidad de sitios activos que permiten degradar 39,4 moles de tartrazina por mol de TiO_2 en 1 hora de reacción. Para su par calcinado la cantidad de sitios activos disminuye más de la mitad y es capaz de degradar una cantidad cercana a los 16 moles de tartrazina por hora.

Estos resultados permiten confirmar que la calcinación produce un importante colapso de la estructura mesoporosa obtenida en los fotocatalizadores sin calcinar, principalmente para CM-C, que fue obtenido también a partir del núcleo magnético más mesoporoso.

4. CONCLUSIONES

La incorporación de surfactante en la red de SiO_2 para la formación de una estructura mesoporosa resultó ser muy favorable, dado que proporciona un área superficial alta y muy adecuada para la posterior deposición del fotocatalizador TiO_2 .

Se determinó una cantidad óptima de surfactante, correspondiendo a la relación $[\text{CTAB}]/[\text{Si}] = 0,1$, que proporciona la capa de SiO_2 con mayor mesoporosidad y, en consecuencia, mayor superficie específica accesible para la deposición de TiO_2 .

Se demostró también que el tratamiento térmico si bien promueve una mayor cristalinidad de la fase anatasa manteniendo la proporción inicial de brookita disminuye la cantidad de sitios superficiales activos disponibles para la posterior adsorción de la molécula de tartrazina.

5. REFERENCIAS

- Álvarez, P.M., J. Jaramillo, F. López-Piñero, P.K. Plucinski, Preparation and characterization of magnetic TiO₂ nanoparticles and their utilization for the degradation of emerging pollutants in water, *Applied Catalysis B: Environmental*, 100, 338–345, 2010.
- Beydon, D., R. Amal, Implications of heat treatment on the properties of a magnetic iron oxide/titanium dioxide photocatalyst, *Materials Science and Engineering B94*, 71-81, 2002.
- Bokhimi, X., F. Pedraza, Characterization of brookite and a new corundum like titania phase synthesized under hydrothermal conditions, *J. Solid State Chem.* 177, 2456–2463, 2004.
- Boudart, M., Turnover Rates in Heterogeneous Catalysis, *Chemical Review*, 95, 661-666, 1995.
- Heredia, C.L., R. Cornejo, E.L. Sham, & M. Farfán Torres, Síntesis de titania soportada sobre partículas magnéticas: Evaluación de su actividad fotocatalítica, *Actas VII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*, 601-607, 2011.
- Heredia, C.L., E.L. Sham, & M. Farfán Torres. Efecto del pH en la degradación del colorante tartrazina mediante TiO₂ soportado en partículas magnéticas. *Actas VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*, 2012.
- Heredia, C.L., M. Farfán Torres & E.L. Sham, Degradación de Hidroquinona por TiO₂ soportado en partículas magnéticas, *IX Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA* ISSN N° 1853-7871, 2013.
- Litter, M., *The Handbook Environmental Chemistry* Vol. 2, Part M (2005): 325–366 DOI 0.1007/b138188. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- Montañez, J.P., C.L. Heredia; E.L. Sham & E.M. Farfán Torres, Photodegradation of herbicide Metsulfuron-methyl with TiO₂ supported on magnetite particles coated with SiO₂. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2018.
- Parmon, V., A.V. Emeline, N. Serpone, Glossary of terms in photocatalysis and radiocatalysis* {A Preliminary Version of IUPAC's Project # 2001-036-1}, *International Journal of Photoenergy*, 4, 91-131, 2002.
- Sen, T; I.J. Bruce, Mesoporous silica–magnetite nanocomposites: Fabrication, characterisation and applications in biosciences, *Microporous and Mesoporous Materials*, 120, 246-251, 2009.
- Serpone N., A. Salinaro, A. Emeline, V. Ryabchuk, Turnovers and photocatalysis: A mathematical description, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 130, 83-94, 2000.
- Xu, J., Y. Ao, D. Fu, & C. Yuan, Low-temperature preparation of anatase titania-coated magnetite, *Journal of Physics Chemistry of Solids*, 69, 1980-1984, 2008.
- Zhang, J, W. Sun, L. Bergman, J. M. Rosenholm, M. Lindén, G. Wu, H. Xu, H-C. Gu, Magnetic mesoporous silica nanospheres as DNA/drug carrier, *Materials Letters* 67, 379-382, 2012.

Impacto de la refrigeración en el rendimiento de una columna de carbonatación

Irahola Ferreira, Jaime A.¹ Sanches, Anahí R. A.¹

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
irahola.j@gmail.com

RESUMEN

Se presenta el diseño de una columna de carbonatación con una etapa refrigerada. Para refrigerar se utiliza un intercambiador de calor entre dos etapas adyacentes. Se estudió el impacto de la refrigeración en el diseño y rendimiento de la columna. Los únicos datos de la columna de platos perforados son las dos corrientes de entrada. Por tope, ingresa salmuera amoniacal con composición similar a la que se obtendría de una columna de absorción de amoníaco y por cola, CO₂ y otros gases (N₂, CO y O₂) provenientes de un horno de cal y del calcinador de bicarbonato de sodio. Se extrae parte del líquido de la etapa 13, se lo enfría usando un intercambiador de calor en contra corriente y se reingresa la corriente enfriada en la etapa 12. Se calcularon todos los parámetros de la columna (Altura, diámetro, espaciado, diámetro de agujero, etc.), las variables de las corrientes de salida y las condiciones de operación de la columna (composición, presión y temperatura). Entre los datos relevantes se ha encontrado que, la refrigeración en una columna incrementa su rendimiento, 35% más de bicarbonato de sodio, en el caso estudiado.

ABSTRACT

The design of a carbonation column with a refrigerated stage is presented. For cooling, a heat exchanger is used between two adjacent stages. The impact of cooling on the design and performance of the column was studied. The only data of the sieve-tray column are the two input streams. From the top, ammonia brine enters with composition similar to that which would be obtained from an ammonia absorption column and by bottom, CO₂ and other gases (N₂, CO and O₂) from a lime kiln and the sodium bicarbonate calciner. Part of the liquid in stage 13 is withdrawn, cooled using a countercurrent heat exchanger and the cooled stream is re-entered in stage 12. All column parameters (height, diameter, spacing, hole diameter, etc.), variables output streams and the operating conditions of the Column (composition, pressure and temperature) were calculated. Among the relevant data, it has been found that cooling in a column increases its performance, 35% more of sodium bicarbonate, in the case studied.

Palabras claves: Diseño - Columna de Carbonatación – Rendimiento - Simulador

Keywords: Design - Carbonation Column – Performance - Simulator

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

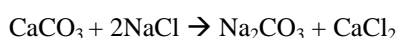
El carbonato de sodio (Na₂CO₃) es conocido comúnmente como barrilla, natrón, soda, ceniza de soda, soda Ash, soda Solvay, trona. Puede hallarse en la naturaleza u obtenerse artificialmente. El carbonato de sodio se usa como materia prima para la saponificación de ácidos grasos en la fabricación de jabones y detergentes. También se usa como fundente en los hornos de vidrio para fabricar: envases de vidrio,

vidrio plano, fibras aislantes y cristalería. Como fuente de alcalinidad y de ion sodio se usa en la fabricación de productos químicos, por ejemplo: compuestos de cromo, pigmentos, bicarbonato de sodio etc., y en industrias para la fabricación de papel, de textiles y en otros procesos como ser: tratamiento de agua, procesamiento de alimentos, minería, etc. (Irahola, 2017). A los usos tradicionales, se debe agregar que el carbonato de sodio es un componente importante en la producción de carbonato de litio. Sucintamente se puede decir que, luego de dos etapas previas de

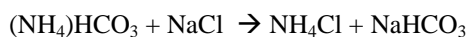
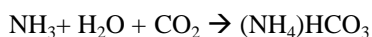
precipitación y purificación de la salmuera que contiene litio, finalmente, éste es precipitado caliente, como carbonato de litio, desde la salmuera purificada mediante la adición de carbonato de sodio. (Díaz, 2013). Por lo tanto, además de la demanda mundial, se prevé que nuestra región será un gran consumidor de carbonato de sodio.

1.2 El proceso Solvay

La reacción global en el proceso es:

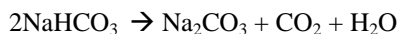


La producción de bicarbonato de sodio en la columna de carbonatación está dada por las siguientes reacciones (Wagialla, 1992):



El dióxido de carbono que se utiliza es el que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza y de la recuperación durante la descomposición térmica del bicarbonato en carbonato de sodio. El amoníaco se introduce a la columna como una solución de salmuera amoniacal, previamente obtenida en una columna de absorción.

La columna de carbonatación actúa como el corazón del proceso Solvay. El bicarbonato es formado por absorción de dióxido de carbono en la salmuera amoniacal. El bicarbonato que se obtiene es lavado y filtrado en un filtro rotatorio y luego enviado a secado o etapa de calcinación (en general, se usa un calcinador calefaccionado con vapor) donde el bicarbonato se descompone en carbonato de sodio según la reacción:



Finalmente, el carbonato es enfriado y tamizado. (Irahola, 2018)

En muchos libros de texto se menciona el proceso Solvay como uno de los procesos más ampliamente usado, pero, por el contrario, no se ha encontrado en la literatura información que permita disponer de la funcionalidad con la temperatura de propiedades termodinámicas, cinéticas, físicas y fisicoquímicas por lo que el simulador ha sido la herramienta que permitió salvar tales inconvenientes. Por otra parte, aunque son escasos los trabajos relacionados al tema de soda Solvay y simuladores, el trabajo de Cormos

(2007) nos permite aseverar que la representatividad que se consigue con el simulador Aspen Plus cuando se simula el proceso de Soda Solvay es alta. Por tanto, se justifica de alguna manera, y desde otro punto de vista más, el uso del simulador y la calidad de los resultados a obtener. Sin embargo, no se han encontrado estudios comparativos como el que aquí se presenta.

2 DISEÑO DE LA COLUMNA DE CARBONATACIÓN

2.1 Consideraciones

La absorción de CO_2 tiene lugar con reacción química y puesto que las reacciones que ocurren son altamente exotérmicas, se requiere un sistema de enfriamiento de la columna. Si bien es cierto, la absorción de un gas puede llevarse a cabo en una columna de relleno o de platos, en este caso sólo puede considerarse una columna de platos, ya que sería más complicada la colocación del circuito de enfriamiento en una columna de relleno, como también lo sería la extracción de corrientes laterales para su refrigeración. (Irahola, 2018)

La temperatura de salida del producto se adopta según un reporte de Federal Environment Agency (2001) que cita que la temperatura ideal de la salmuera en la salida de la columna carbonatación se encuentra entre $25\text{ }^\circ\text{C}$ y $30\text{ }^\circ\text{C}$. Las temperaturas más bajas pueden causar precipitaciones de sal o bicarbonato de amonio, mientras que las temperaturas más altas, dificultan la precipitación completa del bicarbonato formado.

2.2 Objetivo

Se desea diseñar una columna de carbonatación con una etapa de refrigeración conociendo solo los datos de las corrientes de entrada. También, se desea determinar cuál es el efecto de la presencia de la etapa de refrigeración respecto a una columna que no la tenga.

La etapa de refrigeración se hará de la siguiente manera: se extraerá parte del líquido de la etapa 13 (fondo), esta corriente se enfriará de manera indirecta por medio de un intercambiador de calor y luego reingresará a la etapa 12 (Fig. 1)

2.3 Datos

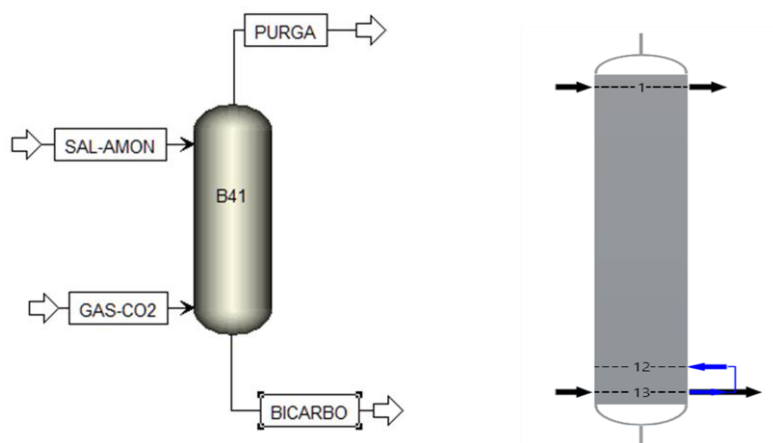


Figura 1. Columna de Carbonatación. Corrientes y esquema de refrigeración

Para el diseño de las columnas se dispone de los datos de los caudales y composiciones de las dos corrientes de entrada, por tope y fondo.

En la Fig. 1, se muestra el esquema de la columna de carbonatación simulada con y sin refrigeración. En el plato 1 ingresa la corriente de salmuera (Sal-Amon). En el plato 13 ingresa la corriente gaseosa (Gas-CO2). La información de caudal, presión, temperatura y composición se muestra en la Tabla 1. La composición de las corrientes se ha obtenido de Cervera (2006).

Hipótesis: a) Se considera la presencia de reacción química y la probable formación de bicarbonato de sodio (sólido) según la temperatura de operación de los platos. b) La temperatura de la corriente de salida conteniendo principalmente bicarbonato de sodio debe estar en el intervalo [25,30] °C. c) Se considera una columna de 13 platos perforados.

Tabla 1. Datos de las corrientes de entrada

Corriente	GAS-CO2	SAL-AMON	
Flujo Másico Kg/h	70000	200874	
T °C	60	25	
Presión Bar	2,5	1,01253	
Fracción Másica		Fracción Másica	
CO ₂	0,460274	NaCl	0,228948
CO	0,00468233	NH ₄ OH	0,186464
N ₂	0,506162	H ₂ O	0,584587
O ₂	0,0288817		

3 METODOLOGÍA

El problema se resuelve usando el simulador Aspen Plus. Se realiza primero el diseño de la columna de carbonatación sin considerar refrige-

Reaction stoichiometry			
	Reaction	Type	Stoichiometry
▶	1	Equilibrium	NH3 + H2O <--> OH- + NH4+
▶	2	Equilibrium	H2O + HCO3- <--> CO3-- + H3O+
▶	3	Equilibrium	2 H2O + CO2 <--> HCO3- + H3O+
▶	4	Equilibrium	2 H2O <--> OH- + H3O+
▶	NH4HCO3	Salt	NH4HCO3 <--> HCO3- + NH4+
▶	NH4CL(S)	Salt	NH4CL(S) <--> CL- + NH4+
▶	NAHCO3	Salt	NAHCO3 <--> HCO3- + NA+

Figura 2. Reacciones químicas consideradas en el Modelo

Tabla 2. Información Global de la Columna de Carbonatación sin Refrigeración

Corriente	Unidades	GAS-CO2	SAL-AMON	BICARBO	PURGA
Desde				B41	B41
hacia		B41	B41		
Tipo de corriente		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Subcorriente					
Fase		Vapor	Líquido		Vapor
Temperatura	C	60	25	25,3616	47,7403
Presión	bar	2,5	1,01253	1,1	1
Fracción Molar Vapor		1	0	0	1
Fracción Molar Líquido		0	1	0,980726	0
Fracción Molar Solid		0	0	0,0192741	0
Fracción Másica Vapor		1	0	0	1
Fracción Másica Líquido		0	1	0,925559	0
Fracción Másica - Sólido		0	0	0,0744415	0
Entalpía Molar	kcal/mol	-33,1203	-59,785	-68,1205	-22,6461
Entalpía Másica	kcal/kg	-980,253	-3044,59	-3131,87	-848,08
Entropía	cal/mol-K	1,01419	-33,7581	-35,5243	-4,00867
Entropía	cal/gm-K	0,0300166	-1,71915	-1,63324	-0,150122
Densidad	kmol/cum	0,0904996	55,66	56,1143	0,0375792
Densidad	kg/cum	3,05776	1092,97	1220,53	1,00347
Flujo entálpico	MMkcal/hr	-68,6177	-611,58	-617,757	-62,4408
Average MW		33,7875	19,6365	21,7507	26,7028
Flujo Molar	kmol/hr	2071,77	10229,6	9068,59	2757,24
H ₂ O	kmol/hr	0	7583,61	7044,58	241,617
CO ₂	kmol/hr	732,091	0	1,94218	429,347
CO	kmol/hr	11,7015	0	0,0991923	11,6023
N ₂	kmol/hr	1264,8	0	8,99807	1255,8
O ₂	kmol/hr	63,1811	0	1,2108	61,9703
NA ⁺	kmol/hr	0	786,827	612,038	0
CL ⁻	kmol/hr	0	786,977	786,977	0
NH ₄ ⁺	kmol/hr	0	3,53774	306,267	0
OH ⁻	kmol/hr	0	3,38711	0,00022592	0
H ₃ O ⁺	kmol/hr	0	2,59E-10	4,00E-06	0
NH ₃	kmol/hr	0	1065,31	5,67627	756,904
NAHCO ₃	kmol/hr	0	0	174,789	0
NH ₄ HCO ₃	kmol/hr	0	0	0	0
NH ₄ CL(S)	kmol/hr	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	kmol/hr	0	0	120,699	0
CO ₃ ⁻⁻	kmol/hr	0	0	5,31439	0

Tabla 3. Información Global de la Columna de Carbonatación con Refrigeración

Corriente	Unidades	GAS-CO2	SAL-AMON	BICARBO	PURGA
Desde				B5-1	B5-1
Hacia		B5-1	B5-1		
Tipo de corriente		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Subcorriente					
Fase		Vapor	Líquido		Vapor
Temperature	C	60	25	27,0485	50,0260
Pressure	Bar	2,5	2	1	1
Fracción Molar Vapor		1	0	0	1
Fracción Molar Líquido		0	1	0,9635029	0
Fracción Molar Sólido		0	0	0,0364971	0
Fracción Másica Vapor		1	0	0	1
Fracción Másica Líquido		0	1	0,8638933	0
Fracción Másica - Sólido		0	0	0,1361067	0
Entalpía Molar	kcal/mol	-33,1203	-60,1132	-68,7455	-20,6708
Entalpía Másica	kcal/kg	-980,2528	-3.061,2989	-3.051,7583	-760,6263
Entropía	cal/mol-K	1,0142	-34,6871	-37,3234	-2,6799
Entropía	cal/gm-K	0,0300	-1,7665	-1,6569	-0,0986
Densidad	kmol/cum	0,0905	55,7058	49,8760	0,0373
Densidad	kg/cum	3,0578	1.093,8669	1.123,5323	1,0136
Flujo entálpico	MMkcal/hr	-68,6177	-614,9368	-640,2492	-46,4573
Promedio MW		33,7875	19,6365	22,5265	27,1760
Flujo Molar	kmol/hr	2.071,7698	10.229,6461	9.313,3314	2.247,4848
H ₂ O	kmol/hr	0,0000	7.586,2764	6.998,0249	188,2803
CO ₂	kmol/hr	732,0907	0,0000	8,4931	322,9076
CO	kmol/hr	11,7015	0,0000	0,8910	10,8105
N ₂	kmol/hr	1.264,7966	0,0000	81,0838	1.183,7128
O ₂	kmol/hr	63,1811	0,0000	10,7223	52,4588
NA+	kmol/hr	0	786,827	446,917	0,000
CL-	kmol/hr	0	786,977	786,977	0,000
NH ₄ +	kmol/hr	0	0,870	401,796	0,000
OH-	kmol/hr	0	0,719	0,000	0,000
H ₃ O+	kmol/hr	0	0,000	0,000	0,000
NH ₃	kmol/hr	0	1.067,977	177,736	489,315
NAHCO ₃	kmol/hr	0	0,000	339,910	0,000
AMMON-01	kmol/hr	0	0	0	0
AMMON-02	kmol/hr	0	0	0	0
HCO ₃ -	kmol/hr	0	0,000	59,825	0,000
CO ₃ --	kmol/hr	0	0,000	0,956	0,000

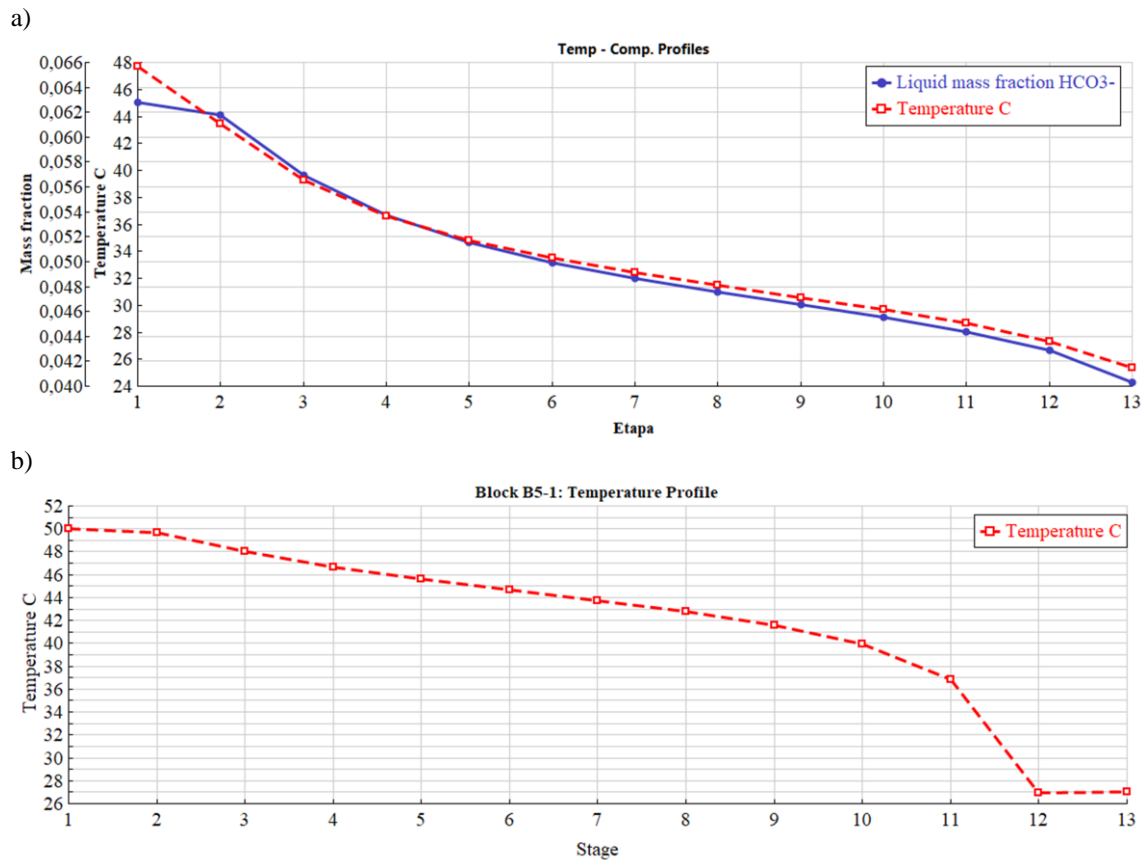


Figura 3. Perfil de temperatura y composición a lo largo de la columna. a) columna sin refrigeración, b) columna con refrigeración.

ración y luego, a la columna diseñada se le agrega la etapa de refrigeración según lo solicitado. Para simular, básicamente, se elige el método de cálculo de las propiedades fisicoquímicas, se cargan los componentes y se ingresan los datos de las corrientes de entrada. Se verifica que el modelo químico sea el correcto (Fig. 2) y luego de la simulación, que se satisfagan las condiciones de convergencia y funcionamiento hidráulico correcto de los platos de la columna.

4 RESULTADOS

El dimensionamiento básico que se ha logrado y que es común a las dos columnas se presenta en la Tabla 4, (en el formato del simulador). En ella se ve las dimensiones y el correcto funcionamiento hidráulico de ambas ya que no existe goteo en ningún plato.

En la Tabla 2, se presenta el resultado de la simulación cuando se diseña la columna sin refrigeración y en la Tabla 3, cuando se diseña la

columna con refrigeración. Ambos diseños satisfacen el requerimiento: que la temperatura de salida de la corriente líquida esté comprendido en el intervalo de interés [25, 30] °C. Así, dichas temperaturas son 27,05 °C y 25,36 °C, en las columnas con y sin refrigeración, respectivamente.

Tabla 4. Datos comunes de las dos columnas diseñadas

Plato inicial	1
Plato final	13
Modo de cálculo	Diseño
Tipo de Plato	Perforado
Número de pasos	1
Espaciamiento [m]	0,6096
Diámetro [m]	3,2740
Altura [m]	7,9248
Platos con goteo	Ninguno

Los costos totales de capital de la columna con refrigeración y sin refrigeración son correspondientemente: USD 2.972.670 y USD 2.627.650. Es decir, la primera es 13,1% mayor. Esta diferencia es menor cuando se comparan los costos operativos: USD/año 1.029.020 y USD/año 999.672, respectivamente. La columna con refrigeración es tan solo 2,9% más costosa, valor que probablemente podría disminuir o anularse, si se hicieran cambios en la operación de la columna.

Si se observa la estequiometría de las reacciones involucradas, se encuentra que un mol de dióxido de carbono produce un mol de bicarbonato de sodio. Por lo tanto, si se observan las Tablas 2 y 3, se puede ver que sin refrigeración se producen 174,789 kmol/hr y con refrigeración 339,91 kmol/hr de bicarbonato de sodio, o sea, un 94,5% más, con esta última.

Por otra parte, se observa que la cantidad de bicarbonato de sodio sólido que se produce en la columna refrigerada es casi el doble que en la otra. Concretamente, 82,8% más. Este dato es interesante ya que el simulador reporta que es la única especie en fase sólida.

Cuando se analiza el CO₂ que sale sin reaccionar de la columna, se observa que se pierde 33% más por la columna sin refrigerar que por la otra. (Tabla 2 y 3) lo que de alguna manera corrobora los datos de producción de NaHCO₃.

Finalmente, es interesante ver los perfiles de temperatura para ambas columnas (Fig.3). En el gráfico a) ambas curvas son monótonas crecientes, siendo la temperatura de salida del plato 13 menor que la que se observa para la otra columna en el gráfico b). En este gráfico, los platos 12 y 13 trabajan, prácticamente, a la misma temperatura, y además es la más baja de toda la columna, a saber: 26,98 °C y 27,05 °C, respectivamente. Esto, explica la mayor cantidad de bicarbonato de sodio en fase sólida que en fase líquida y también, como se citó antes, en mayor proporción que en la columna sin refrigeración.

5 CONCLUSIONES

Se ha modelado y simulado una columna de carbonatación destinada a la producción de bicarbonato de sodio con una etapa refrigerada. Se ha encontrado que el costo total de capital de la columna es 13% mayor que cuando la columna

no está refrigerada. Sin embargo, los costos operativos son similares, solo 2,9% se encarecieron debido a la refrigeración, pero a cambio, se consiguió una mejora en el rendimiento de la producción de bicarbonato de sodio del 35,3%.

6 REFERENCIAS

- Cervera Gracia, L., Izquierdo, J. P., Labrozzi, M., Moreno, E. O., Ordóñez, R., Vidal. *Planta de producción de carbonato sódico*. Tesina de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. 2006
- Cormos, A. M., C. C. Cormos, P. Agachi. Making soda ash manufacture more sustainable. A modeling study using ASPEN Plus. *17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE17*. 2007
- Díaz Tapia, J. D. *Procedimiento de extracción de litio para la obtención de carbonato de litio, desde una salmuera o mineral y/o arcilla previamente tratado para estar libre de boro*. Patente: WO 2013049952 A1. 2013.
- Federal Environmental Agency, Final Report, 2001
- General chemical Industrial Products. *Soda Ash*. Report. 2017
- Irahola Ferreira, Jaime A. y F. D. España. Diseño de una columna de absorción para la producción de salmuera amoniacal usando un simulador. *XII Jornadas de ciencia y tecnología de facultades de Ingeniería del NOA*. Catamarca, 2017.
- Irahola Ferreira, Jaime A. Diseño de una torre de carbonatación usando un simulador. *XIII Jornadas de ciencia y tecnología de facultades de Ingeniería del NOA*. Santiago del Estero, 2018.
- Orocobre Limited. *Electric metals conference*, Report. Abril 12, 2011.
- Wagiella K. M., I.S. Al Mutaz and M. E el Dahshan. The manufacture of soda ash in the Arabian Gulf. *International Journal of production Economics*, 27. 145-153.1992.

Nota. A la fecha, no se encontró otra bibliografía referente a la temática abordada.

Separación de CO₂/N₂: evaluación experimental de materiales adsorbentes y diseño conceptual del ciclo de adsorción

Marcial, Adrián F.¹; Araújo, María E.¹ y Avila, Adolfo M.¹

(1) *Separaciones Químicas Sustentables, DIPyGI, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, INQUINOA (CONICET-UNT).*
aavila@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera contribuye al cambio climático mundial. Consecuentemente, el desarrollo de tecnologías que permitan minimizar las emisiones de este gas al ambiente tiene un interés creciente. La utilización de procesos de adsorción para la captura de CO₂ representa una gran oportunidad para el desarrollo de materiales adsorbentes renovables a partir de biomasa que puedan actuar como agentes de separación.

En este trabajo se diseñó y construyó un sistema a escala laboratorio para la evaluación de las capacidades de adsorción de materiales mediante un método de desorción de lecho fijo. Se evaluó la capacidad de adsorción de un carbón renovable elaborado a partir de residuo agrícola de cosecha (RAC) de caña de azúcar. Se diseñó conceptualmente el ciclo de adsorción para tratar una mezcla gaseosa de 15% de CO₂ en N₂ la cual representa aproximadamente la composición de una corriente de gas de combustión deshidratado. Se anticipó el funcionamiento operativo del ciclo de adsorción seleccionado en base a los equilibrios termodinámicos correspondientes. Se comparó la performance del material carbonoso con la de una zeolita 13X comercial en términos de tiempos de ciclo y recuperación de CO₂ como producto.

ABSTRACT

The increase of CO₂ concentration in the atmosphere contributes to the global climate change. For this reason, the development of innovative technologies to minimize these emissions is becoming increasingly important. Adsorption processes for CO₂ capture represents an opportunity for the research and development of new and renewable biomass-derived adsorbents materials for separation processes.

The present work consists in the design and development of a lab-scale fixed-bed system in order to evaluate CO₂ adsorption capacity of different materials. The CO₂ adsorption capacity of renewable carbon-based materials derived from sugarcane harvest residues was estimated. Then, a conceptual adsorption cycle was designed for a gas mixture of 15% CO₂ / 85% N₂ which was used as a proxy for a dehydrated flue gas. The performance of the developed biomass-based material was compared to what can be expected from a commercial adsorbent (13X Zeolite) in terms of cycle time and CO₂ recovery.

Palabras claves: Adsorción – Captura de CO₂ – Separación de gases

Keywords: Adsorption - CO₂ Capture - Gas Separation

1. INTRODUCCIÓN

El CO₂ representa una importante fracción del total de emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático mundial. Las energías renovables van en aumento, pero no lo suficiente para reemplazar las fuentes de energía convencionales durante las próximas décadas. Es por ello que, con el fin de minimizar las emisiones al ambiente, las tecnologías de captura de CO₂ cobran mayor relevancia. La utilización

de procesos de adsorción para la captura de CO₂ es una opción de interés. Sin embargo, su consolidación depende del desarrollo de nuevos materiales y la mejora continua de los procesos que permitan competir, sobre todo en términos económicos, frente a otras tecnologías.

En la búsqueda de materiales adsorbentes aparecen como una alternativa a nivel local los carbones renovables. Estos son desarrollados a partir de biomasa como por ejemplo el residuo

agrícola de cosecha (RAC) de caña de azúcar, el cual está conformado por los restos vegetales que quedan dispersos en el campo luego de la cosecha. La utilización de este material presenta potenciales ventajas desde el punto de vista del costo y disponibilidad de la materia prima.

Los objetivos del presente trabajo se asocian a la determinación de los parámetros de equilibrio de adsorción del material carbonoso desarrollado. En base a los datos experimentales obtenidos se encara el diseño conceptual del ciclo de adsorción para su aplicación a nivel industrial.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Preparación de materiales

El material carbonoso renovable utilizado fue desarrollado en laboratorio a partir de residuo agrícola de cosecha (RAC) de caña de azúcar. Se lo denomina biocarbón, debido a que es un carbón obtenido a partir de biomasa. Las características del material y su método de preparación se describen en Montes y col. (2020).

2.2 Equipo experimental

El equipo experimental usado en la evaluación de los materiales adsorbentes se describe en Fig. 1. Consiste en dos reguladores de flujo, una columna rellena con el material de trabajo, una válvula reguladora, un sensor de presión, y un detector de conductividad térmica (TCD) para monitorear la concentración de los gases de salida. El gas de alimentación usado en los experimentos corresponde a una mezcla de composición 15% CO_2 / 85% N_2 .

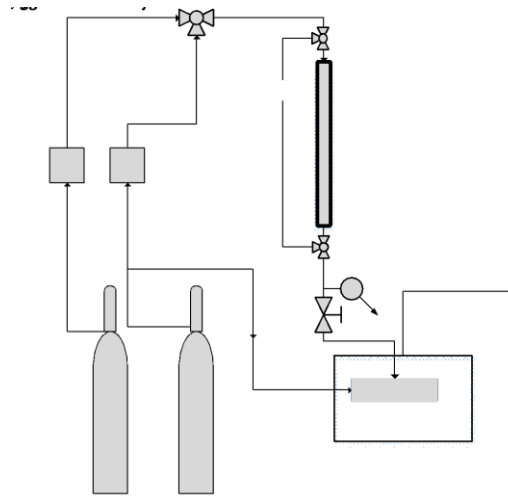


Figura 1. Esquema del sistema de evaluación de materiales desarrollado en laboratorio

2.3 Evaluación experimental

El método de medición consiste en monitorear la composición de una mezcla CO_2/N_2 que fluye por un lecho fijo durante un proceso de desorción con N_2 puro. Al momento de iniciar el experimento, la columna se encuentra en equilibrio con la corriente de N_2 , sin CO_2 adsorbido en el material. Mediante el cambio de posición de la válvula de tres vías, se permite que la mezcla de CO_2/N_2 empiece a circular por el sistema. El CO_2 que ingresa a la columna es adsorbido en el lecho, desplazando al N_2 . En un principio la concentración de CO_2 a la salida del sistema es nula, pero aumenta repentinamente cuando la columna comienza a saturarse con CO_2 . Al llegar a la saturación completa de la columna, el gas de salida alcanza la composición del gas de alimentación. En esta etapa donde la columna se satura se completa el proceso de adsorción y el lecho está en equilibrio con la mezcla CO_2/N_2 . Al no haber más adsorción, la señal de salida del detector es constante. La desorción del lecho se realiza mediante la purga de la columna con una corriente de N_2 puro como se observa en la Fig 2.

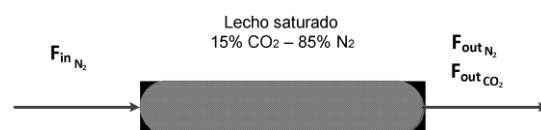


Figura 2. Lecho al inicio de la desorción

La señal del detector disminuye pronunciadamente hasta llegar nuevamente al valor de equilibrio de la columna con N₂ puro. Al finalizar la desorción, no hay CO₂ adsorbido en la columna. La señal del detector retorna a su valor inicial indicando el equilibrio de la columna con el gas N₂.

En la Fig. 3 se muestra la evolución de la señal de salida del detector durante todo el proceso de adsorción/desorción.

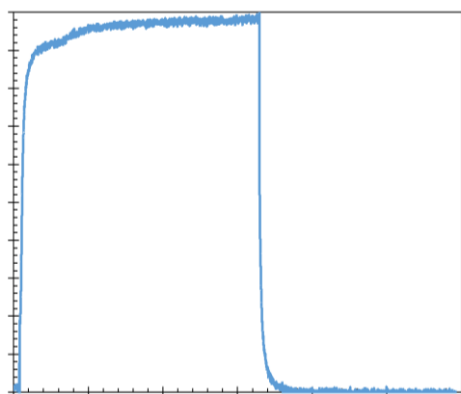


Figura 3. Evolución de la señal de salida del detector durante el proceso de adsorción/desorción

El cálculo de la capacidad de adsorción ($q^*_{CO_2}$) se obtuvo mediante el balance de masa de CO₂ durante el proceso de desorción descrito en la Ecuación (1).

$$\int_{t_0}^{t^{\infty}} F_{CO_2out} dt = q^*_{CO_2} \rho_b V_b + C^0_{CO_2} \varepsilon_b V_b \quad (1)$$

Donde:

F_{CO_2out} (mol/s): Flujo de salida de CO₂.

$q^*_{CO_2}$ (mol/kg): Capacidad de adsorción del material a evaluar.

ρ_b (kg/m³): Densidad del lecho.

V_b (m³): Volumen del lecho.

$C^0_{CO_2}$ (mol/m³): Concentración de CO₂ de la mezcla.

ε_b : Porosidad del lecho.

El primer término del miembro derecho de la Ecuación (1) representa la cantidad de CO₂ adsorbida por el material, mientras que el segundo término representa la cantidad de CO₂ presente en la fase gaseosa en el interior de la

columna. Es decir, el CO₂ total extraído de la columna durante la desorción por la purga con N₂, será igual al CO₂ adsorbido por el material más el CO₂ que se encuentra en la fase gas.

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se describe la capacidad de adsorción de CO₂ obtenida por el método desarrollado en el laboratorio.

Tabla 1. Resultado obtenido por el método de desorción en lecho fijo.

Material	$q^*_{CO_2}$ [mol/kg]
Biocarbón	$0,34 \pm 0,05$

Para evaluar la efectividad y la exactitud del método desarrollado en este trabajo, se comparó la capacidad de adsorción de CO₂ con la isoterma de adsorción correspondiente evaluada por método volumétrico en un sortómetro (Micromeritics ASAP 2020) como se observa en la Fig. 4.

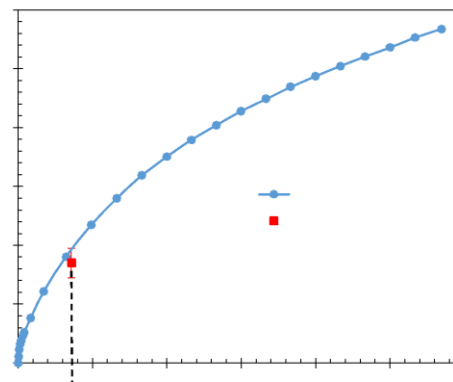


Figura 4. Comparación de la capacidad de adsorción de CO₂ del biocarbón, obtenida mediante el método de desorción de lecho fijo, con la isoterma de adsorción de CO₂ (a 35°C) obtenida mediante un método volumétrico.

4. DISEÑO CONCEPTUAL DE UN CICLO DE SEPARACIÓN

Existen una variedad de ciclos PVSA/VSA desarrollados para la captura y concentración de CO₂ del gas de combustión. Para el diseño de un ciclo apropiado, se debe comprender la naturaleza del problema de separación. Las condiciones de P

y T de un gas de combustión típico de una central eléctrica de postcombustión normalmente oscilan entre 25–50°C y 1 bar. La composición gaseosa de un gas de combustión seco es de aproximadamente un 15% de CO₂ en una mezcla predominantemente de N₂ según lo descrito por Haghpanah y col. (2013). Los objetivos de pureza de producto dependen del tipo de aplicaciones, generalmente se esperan purzas de CO₂ superiores al 90%.

El gas de combustión emitido por las centrales eléctricas contiene una cantidad considerable de agua, entre un 8 y 20% según lo informan Song y col. (2004). La presencia de humedad plantea un desafío importante ya que la mayoría de los adsorbentes comerciales con alta selectividad de CO₂ sobre N₂ también adsorben fuertemente el agua. Esto reduce la capacidad adsorbente efectiva de CO₂ y disminuye el rendimiento del proceso. El agua satura los adsorbentes hidrófilos, como las zeolitas y los MOF, evitando que adsorban CO₂, por lo tanto, se deben proteger estos adsorbentes de la humedad. Los materiales hidrófobos, como los carbones o los químicos absorbentes de polietilenimina (PEI), adsorben mucha menos cantidad de agua, por lo tanto, los gases de combustión húmedos pueden procesarse sin un costo adicional como lo indica Maring y col. (2013).

Los niveles de presiones del ciclo de adsorción fueron obtenidos del análisis de diferentes ciclos PVSA/VSA informados por Haghpanah y col. (2013) para la captura de CO₂ de gases de combustión. Las presiones mínimas se encuentran por debajo de la atmosférica. La mayoría de los estudios consideran 110–150 kPa o presiones casi atmosféricas como la presión máxima, aunque también se han utilizado presiones significativamente mayores. El leve aumento en la presión de alimentación por encima de la presión atmosférica tiene como fin superar la caída de presión por fricción en la columna. Considerando la baja concentración de CO₂ en el gas de combustión, es importante tener en cuenta que aún una leve presurización de la corriente de gas de combustión puede tener un fuerte efecto en el costo de la operación. Es recomendable entonces la presión ambiente como la máxima presión del ciclo. Se considera 3 kPa como la presión mínima, un nivel de vacío alcanzable industrialmente.

Un ciclo de adsorción sobre lecho fijo consta de una serie de etapas mediante las cuales se separan

uno o varios componentes de una mezcla que fluye a través de un lecho empacado con material adsorbente. Las diferentes etapas del proceso se repiten sucesivamente dando lugar a una operación discontinua. Para permitir la operación continua, los ciclos de adsorción tienen un secuenciamiento específico que permite alternar apropiadamente las diferentes etapas en cada lecho. En operación normal el proceso alcanza un estado estacionario cíclico.

Se propone la utilización del material en un ciclo de adsorción por cambio al vacío (VSA), el cual consta de cuatro etapas como se observa en la Fig. 5.

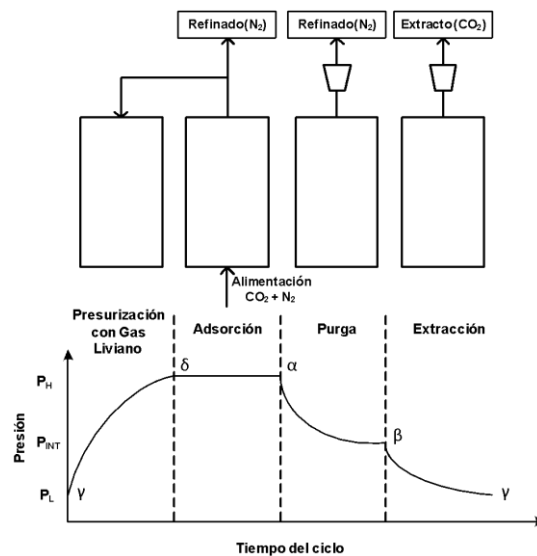


Figura 5. Esquema de un ciclo de adsorción de 4 etapas con presurización con gas liviano

Presurización con gas liviano ($\gamma \rightarrow \delta$). Para iniciar el ciclo, el lecho que está a baja presión (P_L) al final de la evacuación, debe elevar su presión hasta el máximo, P_H . Esto se logra presurizando la columna con el producto refinado de la etapa de adsorción. Se debe considerar que la etapa de adsorción, como se describirá a continuación, comienza con el estado δ , que es el estado final de la etapa de presurización. Por lo tanto, en esta etapa, el adsorbente se presuriza usando una corriente cuya composición es $y^\delta_{CO_2}$.

Adsorción ($\delta \rightarrow \alpha$). La columna en el estado δ representa la condición inicial para la etapa de adsorción. La alimentación se suministra a la columna a presión (P_H) y temperatura constantes.

La etapa de adsorción se completa al saturarse la columna con CO₂.

Purga (α→β). El adsorbente está inicialmente saturado con la composición de alimentación a alta presión P_H, el cual se indica como estado α. En la etapa de purga, se aplica vacío a la columna, reduciendo así la presión de P_H hasta una presión intermedia, P_{INT}. El objetivo de esta etapa es eliminar el componente débilmente adsorbido (N₂) de la columna, dejando el lecho concentrado con un componente fuertemente adsorbido (CO₂).

Extracción (β→γ). La etapa de extracción comienza desde el estado β. El lecho se evacua hasta que alcanza P_L, baja presión. Se obtiene CO₂ como producto de extracción. El estado al final de esta etapa se denota por γ.

4.1 Análisis de la performance material-proceso

Para estimar el funcionamiento operativo de los materiales adsorbentes en este proceso, se utilizó un modelo del ciclo de adsorción de tipo batch. La información detallada del modelo con sus alcances y limitaciones, puede encontrarse en Balashankar (2019).

Se analizaron dos materiales adsorbentes: carbón renovable obtenido en laboratorio y zeolita 13X comercial. El adsorbente 13X es uno de los materiales con mayor performance en la captura de CO₂ por adsorción de acuerdo a Maring y col. (2013).

El equilibrio de adsorción se describió de acuerdo a la Ecuación (2), según el modelo de Langmuir extendido de dos sitios (DSL).

$$q_i = \frac{q_{b_{i_{max}}} b_i P_i}{1 + \sum b_i P_i} + \frac{q_{d_{i_{max}}} d_i P_i}{1 + \sum d_i P_i} \quad (2)$$

Los parámetros del equilibrio termodinámico utilizados para la zeolita 13X son aquellos reportados por Rajagopalan y col. (2016). En el caso del biocarbón se utilizó el mismo modelo considerando solo un sitio de adsorción. Sus parámetros de equilibrio termodinámico fueron determinados experimentalmente y se presentan en Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del equilibrio de adsorción del biocarbón.

	CO ₂	N ₂
b _i (1/kPa)	0,022	3,30E-03
q _{bi max} (mol/kg)	1,56	0,72

En la Fig. 6 se observa el ciclo de adsorción de 4 etapas representado en conjunto con las isotermas de adsorción operativas de CO₂ del carbón renovable. En la Fig. 7, el mismo ciclo se representa sobre las isotermas de adsorción operativas de N₂ del material carbonoso.

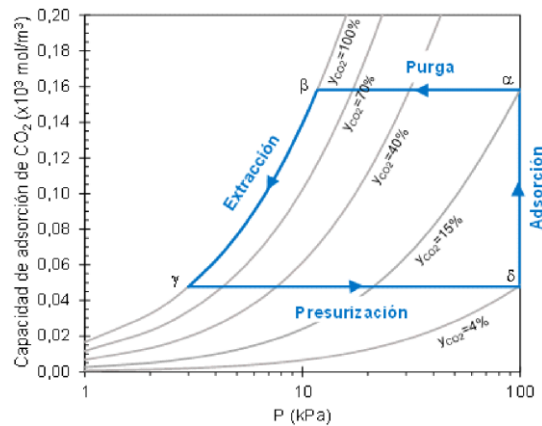


Figura 6. Representación gráfica de las etapas del ciclo y su evolución respecto al equilibrio termodinámico de adsorción de CO₂ en biocarbón a 308 K.

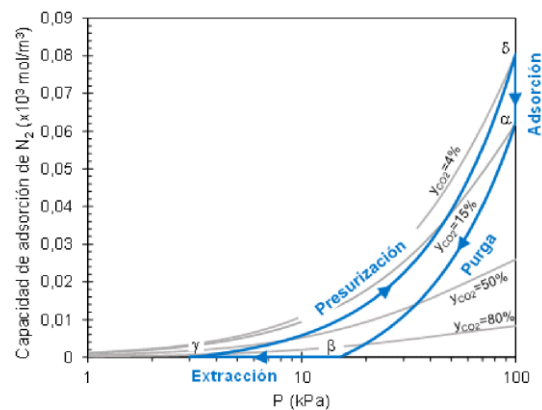


Figura 7. Representación gráfica de las etapas del ciclo y su evolución respecto al equilibrio termodinámico de adsorción de N₂ en biocarbón a 308 K.

En la Fig. 8 se observa el ciclo de adsorción de 4 etapas representado sobre las isotermas de adsorción operativas de CO₂ de la zeolita 13X. En

la Fig. 9, el mismo ciclo se representa sobre las isoterma de adsorción operativas de N_2 del material carbonoso.

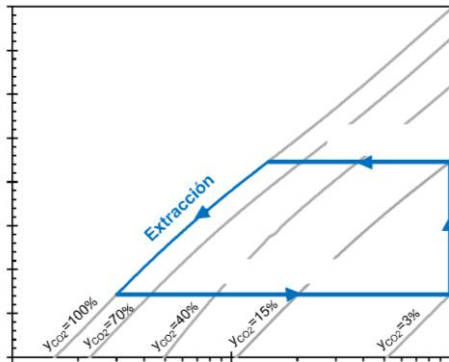


Figura 8. Representación gráfica de las etapas del ciclo y su evolución respecto al equilibrio termodinámico de adsorción de N_2 en la zeolita 13X a 308 K.

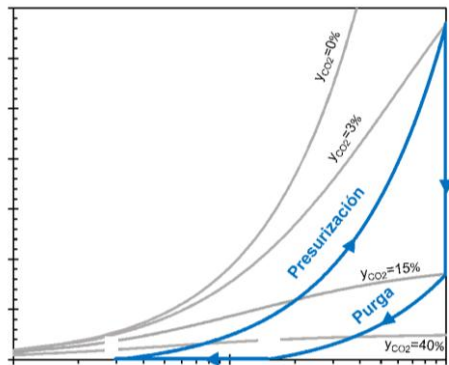


Figura 9. Representación gráfica de las etapas del ciclo y su evolución respecto al equilibrio termodinámico de adsorción de CO_2 en la zeolita 13X a 308 K.

En base a datos del equilibrio termodinámico, se pueden estimar las recuperaciones de CO_2 en el ciclo de adsorción para cada material. La recuperación de CO_2 en el ciclo será la descrita en la ecuación (3).

$$Re[\%]_{CO_2} = \frac{\Delta CO_2 \beta \rightarrow \gamma (y_{feed} - y_\delta) 100}{y_{feed} [\Delta CO_2 \beta \rightarrow \gamma (1 - y_\delta) - \Delta N_2 \beta \rightarrow \gamma y_\delta]} \quad (3)$$

Donde:

$\Delta CO_2 \beta \rightarrow \gamma$: Diferencia de la capacidad de adsorción de CO_2 del material entre los estados β y γ , en mol/m^3 de lecho.

$\Delta N_2 \alpha \rightarrow \beta$: Diferencia de la capacidad de adsorción de N_2 del material entre los estados α y β , en mol/m^3 de lecho.

y_{feed} : Fracción molar de CO_2 en el gas de alimentación del ciclo.

y_δ : Fracción molar de CO_2 en la fase gas en el estado δ del ciclo.

En la Tabla 3 se observan los valores de recuperación de CO_2 para los materiales analizados. Es importante aclarar que estos valores de recuperación representan los valores para alcanzar una pureza del 100% de CO_2 en la corriente de extracto.

Tabla 3. Valores estimados de recuperación de CO_2 para los distintos materiales.

Material	Re CO_2 [%]
Biocarbón	78,2
Zeolita 13X	82,5

Se observa que los porcentajes de recuperación de CO_2 de ambos materiales se encuentran alrededor del 80%, siendo mayor la recuperación en el material zeolítico. La mayor recuperación de CO_2 en la zeolita está asociada a la mayor capacidad de adsorción de CO_2 y su menor afinidad por la adsorción de N_2 , como se observan en los ciclos correspondientes y la representación de cada etapa sobre las isoterma de adsorción. Los valores de recuperación estimados con este método en general son menores a los que se puede predecir con la simulación completa del proceso usando modelos rigurosos como lo demuestra Balashankar (2019). Sin embargo, la metodología resulta sumamente práctica para anticipar las performances de cada material adsorbente en el ciclo propuesto.

4.2 Predimensionado del ciclo

Se realizó el predimensionamiento del ciclo en base a las características de cada material adsorbente analizado. Se consideró como referencia un volumen de lecho de $0,1 m^3$, $L/D=3,90$ y velocidad superficial entre $0,40-1,20 m/s$, seleccionada en base a valores característicos de ciclos similares en magnitudes y propiedades del material como los trabajos de Haghpanah y

col. (2013) y Balashankar y col. (2019). Las dimensiones del lecho se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones del lecho y cantidad de adsorbente para cada material.

	Zeolita 13X	Biocarbón
Altura (m)	1,25	1,25
Diámetro (m)	0,32	0,32
Masa de adsorbente (kg)	68,4	49,9

4.3 Estimación del tiempo del ciclo

El tiempo total del ciclo es el resultado de la suma de los tiempos individuales de cada etapa.

El tiempo de adsorción a través de la columna fue estimado para cada material mediante la Ecuación (4) descripta por Shi (2013).

$$t_{adsorción} [s] = \frac{L}{v} \left(\frac{q_e^* \rho_b}{C_o} + \epsilon_b \right) \quad (4)$$

Donde:

L (m): Longitud del lecho.

v (m/s): Velocidad superficial del gas de alimentación.

q_e^* (mol/kg): Equilibrio de adsorción de CO₂ a las condiciones de operación.

ρ_b (kg/m³): Densidad del lecho.

C_o (mol/m³): Concentración de CO₂ del gas de alimentación.

ϵ_b : Porosidad del lecho.

Para realizar la estimación del tiempo total del ciclo, se utilizaron tiempos típicos de operación de un ciclo con presurización con gas liviano para las etapas restantes en base a las presiones máximas y mínimas y capacidades de las bombas de vacío.

También se estimó la cantidad de CO₂ extraído en cada lecho a partir del CO₂ alimentado y la recuperación de CO₂ calculada anteriormente.

En la Tabla 5 se observan los tiempos estimados de la etapa de adsorción, tiempo total del ciclo, caudales de alimentación y CO₂ extraído en función de la velocidad superficial del gas de alimentación para la zeolita 13X y el biocarbón.

Tabla 5. Duración de las etapas del ciclo de adsorción y caudales de CO₂ recuperados

para distintas velocidades de alimentación a 308 K y 100 kPa.

	v superficial (m/s)		
	0,4	0,8	1,2
t adsorción zeolita (min)	18,8	9,4	6,3
t adsorción biocarbón (min)	1,4	0,7	0,5
t purga (s)	20	20	20
t extracción (s)	30	30	30
t presurización (s)	40	40	40
t ciclo zeolita (min)	20,3	10,9	7,8
t ciclo biocarbón (min)	2,9	2,2	2,0
Q alimentación (m ³ /h)	116,2	232,4	348,5
CO ₂ extraído zeolita (mol/h)	520,7	969,8	1361,2
CO ₂ extraído biocarbón (mol/h)	259,5	343,1	384,4

Se observa que el tiempo de la etapa de adsorción para el biocarbón es menor que el tiempo de la etapa de la zeolita para igual velocidad superficial. El tiempo total del ciclo del biocarbón es menor que el de la zeolita, pero también lo es la cantidad de CO₂ extraído. Esto se debe a su menor capacidad de adsorción de CO₂ respecto a la zeolita.

4.4 Diagrama de layout del ciclo

En la Fig. 10 se visualiza el diagrama de layout del ciclo. El ciclo de adsorción cuenta con una batería de 4 lechos. Cada uno de ellos posee una entrada y una salida, dotadas de válvulas y conductos para la circulación de las distintas corrientes durante las etapas del ciclo. Todas las columnas tienen vinculación con las corrientes de alimentación, refinado y extracto. Se incluyen instrumentos de medición de temperatura y presión, que irán acoplados a un PLC para la operación de apertura y cierre de válvulas en forma sincronizada.

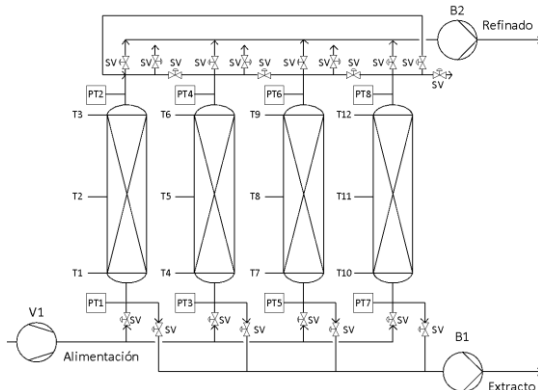


Figura 10. Esquema del ciclo de adsorción de 4 etapas.

5. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos muestran que el biocarbón puede adsorber CO_2 preferencialmente de una mezcla CO_2/N_2 , con composiciones y condiciones similares a las de un gas de combustión. Si bien, su capacidad de adsorción es menor que la del material zeolítico, la utilización de biomasa para la producción de adsorbentes de CO_2 es interesante por sus potenciales beneficios ambientales. La materia prima para la elaboración de estos biocarbores es de bajo costo, disponibilidad y abundancia en la región. Además, los adsorbentes carbonosos no se ven afectados por la presencia de humedad durante la adsorción de CO_2 , contrariamente a lo que sucede con las zeolitas.

El análisis del ciclo VSA de 4 etapas con presurización con gas liviano muestra que es factible la utilización del material renovable, dando un 78,2% de recuperación de CO_2 .

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento de:

-ANCYPT (CONICET – Préstamo BID – PICT – 2016 – 0815)

-Gobierno de Tucumán (Proyecto SIDETEC N°6)

Se reconoce y agradece a las siguientes instituciones por su colaboración.

-Laboratory for Advanced Separation Processes. Universidad de Alberta, Canadá

-Laboratorio de Física del Sólido (LAFISO). FACET – UNT, INFNOA, CONICET.

-Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes

-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

7. REFERENCIAS

- Balashankar, V.S., Rajagopalan, A.K., de Pauw, R., Avila, A.M., Rajendran A., Analysis of a batch adsorber analogue for rapid screening of adsorbents for post-combustion CO_2 capture, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58, issue 8, 3314-3328, 2019.
- Haghpahan, R., Nilam, R., Rajendran, A., Farooq, S., Karimi, I.A., Cycle synthesis and optimization of a VSA process for postcombustion CO_2 capture, *AIChE Journal*, 59, issue 12, 4735-4748, 2013.
- Maring, B.J., Webley, P.A., A new simplified pressure/vacuum swing adsorption model for rapid adsorbent screening for CO_2 capture applications, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 15, 16-31, 2013.
- Montes, P., Trejo González, J.A., Aráoz, M.E., Iglesias, G.L., Trujillo, R.M., Madrid, R.E., Avila, A.M., Renewable carbon-based materials for enhanced ion concentration polarization in sustainable separation devices, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8, issue 4, article 104001, 2020.
- Rajagopalan, A., Avila, A., Rajendran A., Do adsorbent screening metrics predict process performance? A process optimisation based study for post-combustion capture of CO_2 , *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 46, 76-85, 2016.
- Song, C., Pan, W., Srimat, S.T., Zheng, J., Li, Y., Wang, Y.H., Xu, B., Q, Zhu, Q.M., Tri-reforming of natural gas using CO_2 in flue gas of power plants without CO_2 pre-separation for production of synthesis gas with desired H_2/CO ratios, *Studies in Surface Science and Catalysis*, 153, 315-322, 2004.
- Shi, M., Avila, A., Wu, L., Sawada, J.A., Kuznicki, T.M., Kuznicki, S.M., Air separation by silver titanosilicate with enhanced density, *Separation and Purification Technology*, 118, 794-800, 2013.

Nueva alternativa para soportar nanopartículas de $\text{TiO}_2\text{-N}_2$ - Evaluación en fotocátalisis heterogénea promovida bajo luz visible

Pérez, Eliana^{1,2} y Sham, Edgardo.^{1,2}

(1) *Facultad Ingeniería, CIUNSa, Universidad Nacional de Salta.*

perezelianaguadalupe@gmail.com; edgardosham@gmail.com

(2) *Instituto de Investigación para la Industria Química, CONICET.*

RESUMEN

El TiO_2 es muy utilizado en la remoción de contaminantes de medios acuosos por sus excepcionales propiedades. Sin embargo, presenta desde el punto de vista de aplicación tecnológica, 2 limitantes importantes, 1 requiere luz UV y 2 la separación del medio de reacción resulta onerosa por el tamaño manométrico de partículas. En este trabajo se presenta una alternativa novedosa para la inmovilización de nanopartículas de TiO_2 activo bajo luz visible, específicamente TiO_2 dopado con nitrógeno. Una vez sintetizado el sólido, este es adherido a un soporte adecuado mediante una interfaz ligante como la silicona. El material soportado fue caracterizado por microscopía electrónica de barrido. La actividad fotocatalítica fue evaluada en la degradación de tartrazina bajo radiación visible. Los sólidos quedan inmovilizados en el soporte en forma interconectada formando una estructura porosa, con alta carga de catalizador. El catalizador con mayor concentración de N_2 presenta mejor actividad fotocatalítica con un porcentaje de remoción del colorante del 97% luego de 9 horas de reacción. Los ciclos de reutilización muestran un incremento en la actividad fotocatalítica debido a la competencia entre la remoción del colorante y del ácido acético (proveniente de la silicona) producido durante el proceso de curado.

ABSTRACT

TiO_2 is widely used in the removal of contaminants from aqueous media due to its exceptional properties. However, from the technological application point of view, it has 2 important limitations, 1 requires UV light and 2 the separation of the reaction medium is onerous due to the nanometric size of the particles. This work presents a novel alternative for the immobilization of active TiO_2 nanoparticles under visible light, specifically TiO_2 doped with nitrogen. Once the solid has been synthesized, it is adhered to a suitable support by means of a binder interface such as silicone. The supported material was characterized by scanning electron microscopy. The photocatalytic activity was evaluated in the tartrazine degradation under visible radiation. The solids are immobilized in the support in an interconnected way forming a porous structure, with high catalyst load. The catalyst with the higher concentration of N_2 presents better photocatalytic activity with a 97% dye removal percentage after 9 hours of reaction. The reuse cycles show an increase in the photocatalytic activity due to the competition between dye removal and acetic acid (from silicon) produced during the curing process.

Palabras claves: TiO_2 -nitrogeno-soportado-fotocatalisis-ciclos

Keywords: TiO_2 -nitrogen-supported-photocatalysis-cycles

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Fotocatálisis Heterogénea y TiO_2*

La fotocátalisis heterogénea es una de las tecnologías más estudiadas en el tratamiento de efluentes. Esta técnica requiere de un

semiconductor que al ser irradiado con energía igual o mayor a su band gap genere portadores de carga y estos promuevan la formación de especies radicalarias oxidantes capaces de degradar compuestos orgánicos. Entre los semiconductores, el TiO_2 es uno de los más

utilizados por sus excelentes propiedades ópticas, físicas y químicas. Sin embargo, presenta algunas limitaciones que reducen su eficiencia como fotocatalizador y condicionan su aplicación en el tratamiento de contaminantes. Por un lado, la energía de band gap del semiconductor correspondiente al espectro de luz UV, presenta elevada recombinación de portadores de carga y dada su característica nano-particular resulta difícil la separación de los sólidos suspendidos del medio de reacción en reactores de tipo lecho fluidizado.

Con el fin de extender la respuesta del TiO_2 al espectro de luz visible para el aprovechamiento de una fuente natural de energía como la luz solar, ha sido muy estudiado el dopado del óxido con no metales. Particularmente, TiO_2 dopado con nitrógeno ha mostrado óptimos resultados en la remoción de contaminantes bajo luz visible. No obstante, si el sólido fotocatalítico no es debidamente inmovilizado en un material soporte no podrá ser utilizado en aplicaciones fotocatalíticas a escala. Por lo tanto, el estudio y la producción de fotocatalizadores inmovilizados activos bajo luz visible, en diferentes soportes para un efectivo uso, separación y recuperación del material resultan de gran interés para una posterior aplicación.

1.2 Técnicas de síntesis de TiO_2 soportado

En la bibliografía se reportan numerosas técnicas para la fijación de partículas de semiconductores en diferentes sustratos para la fotodegradación de contaminantes. Esto incluye recubrimiento por inmersión (dip coating), spin coating, deposición química de vapor, oxidación anódica, pulverización asistida por aire, oxidación electrolítica por plasma, electrodeposición, bombardeo con haz de iones, etc. En general estas técnicas utilizan soluciones precursoras de TiO_2 o suspensiones de nanopartículas de este óxido. No obstante, hay pocos trabajos sobre el soportado de nanopartículas de TiO_2 activos en el espectro visible.

La técnica mediante la cual se diseña el fotocatalizador soportado debe garantizar: 1) Buena adherencia entre TiO_2 y el sustrato; 2) Sin modificaciones en la estructura cristalina de TiO_2 durante la preparación e inmovilización; 3) Formación de una película uniforme de TiO_2 y 4) Absorción eficaz de la irradiación por la película de TiO_2 . Asimismo, para TiO_2 activo en el

espectro visible, el método escogido también debería asegurar la conservación de las propiedades ópticas de los sólidos de partida. En este sentido, Gao (2005) prepara películas de TiO_2 -CA sobre goma de silicona para remoción de acridina y fenol bajo luz visible por medio de sedimentación fluidificante. Una técnica simple que conduce al cubrimiento del sustrato con una película porosa de fotocatalizador. Por otra parte, Kim (2006) usa silicona sellante como sustrato para TiO_2 . Para ello mezcla la silicona con el sólido y lo extienden sobre una placa de vidrio formando una película, deja secar y luego lo corta en forma de hexaedros para su empleo en la degradación de rodamina B. Abdel-Maksoud (2018) mezcla TiO_2 con una resina epoxi y luego con un endurecedor para finalmente soportarlo en arena. El catalizador soportado muestra buena actividad en la degradación de fenol y resistencia a la abrasión en comparación a la directa inmovilización de TiO_2 por dipcoating para un mismo soporte.

Basado en los antecedentes, en este trabajo se estudiará la actividad fotocatalítica de TiO_2 dopado con nitrógeno soportado en portaobjetos de vidrio (POV) mediante un agente ligante, en este caso, silicona. La silicona es una buena opción porque es un compuesto netamente inorgánico, sin peligro de descomponerse durante las aplicaciones fotocatalíticas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Síntesis de TiO_2 y TiO_2 dopado con N

La síntesis de TiO_2 se realizó siguiendo el procedimiento detallado en el trabajo de Pérez (2017). En resumen, el TiO_2 es sintetizado mediante la hidrólisis de tetraisopropóxido de titanio con agua en C_6H_{12} , un solvente apolar. El sólido obtenido fue filtrado y posteriormente impregnado con solución de urea, precursora del nitrógeno. Por último, el sólido fue secado en un evaporador rotativo y calcinado a 400°C en aire estático para obtener las fases cristalinas del óxido puro y del dopado con N_2 por efecto térmico.

2.2 Inmovilización del fotocatalizador

Se eligió para este fin una silicona transparente universal marca suprabond. Este sellador de silicona tiene gran versatilidad pudiéndose usar

en gran cantidad de materiales, es resistente al agua, la intemperie y a los productos químicos. Durante el curado desprende ácido acético realizándose el mismo a temperatura ambiente. Se escogió ésta por ser más resistente que la silicona neutra a la radiación UV. El soporte elegido fue un vidrio plano (vidrio portaobjeto).

El procedimiento de deposición de los sólidos se realizó con los siguientes pasos:

1. Limpieza del POV con alcohol etílico.
2. Cubrimiento de la superficie del POV con una fina capa de silicona.
3. Dispersión de los sólidos sobre la superficie cubierta con silicona.
4. Secado durante 30 minutos (secado al tacto) y eliminación del sólido sin adherir.
5. Secado durante 60 minutos y aplicación de presión para mejorar el contacto del sólido a la capa de silicona.
6. Secado durante 24 horas (vulcanización).
7. Sonicado de los fotocatalizadores soportados en agua bidestilada durante 2 minutos para completar la eliminación del sólido ocluido y sin adherir al caucho.
8. Secado a temperatura ambiente.

Este procedimiento fue repetido para los 6 portaobjetos, en ambas superficies y para todos los sólidos masivos seleccionados. En la tabla 1 se detalla la nomenclatura que se utilizará para este conjunto de materiales soportados.

Tabla 1. Nomenclatura de los sólidos soportados.

Sólido	Nombre
Sin sólido	SPS
P25 Evonik (ref.com.)	P25-SPS
TiO ₂ 1:1 400	TiO ₂ -1:1SPS
0,5N-TiO ₂ 1:1 400	0,5N-TiO ₂ -1:1SPS
TiO ₂ 1:3 400	TiO ₂ -1:3SPS
2N-TiO ₂ 1:3 400	2N-TiO ₂ -1:3SPS

2.3 Caracterización

Los sólidos soportados fueron caracterizados por Microscopía Electrónica de Barrido. En este trabajo, las micrografías fueron obtenidas con un microscopio electrónico de Barrido marca JOEL modelo JSM 6480 LV.

2.4 Actividad fotocatalítica

Las pruebas fotocatalíticas fueron realizadas bajo irradiación de luz visible provisto por 8 lámparas LED luz cálida y a temperatura ambiente. La concentración y volumen inicial de tartrazina fueron $1 \times 10^{-5} \text{M}$ y 200 ml respectivamente. Los fotocatalizadores soportados fueron colocados dentro del reactor con sus vértices apoyados en las paredes de este. Alícuotas de 4 ml de solución fueron extraídas luego de 20 minutos de agitación en ausencia de luz y cada 60 minutos durante los primeros 360 minutos y luego cada 180 minutos hasta completar los 900 minutos de irradiación.

Las concentraciones de las alícuotas son obtenidas por conversión de medidas de absorbancia de las soluciones utilizando la curva de calibración para tartrazina. Una vez calculada la concentración, el porcentaje de remoción a un tiempo t se obtiene por:

$$\%Rem = \frac{C_0 - C(t)}{C_0} \times 100$$

Donde C_0 es la concentración inicial de la disolución y $C(t)$ es la concentración a un tiempo t. Entiéndase los porcentajes de remoción como la suma de los porcentajes adsorbidos y degradados fotocatalíticamente.

El blanco sin catalizador y con irradiación de luz visible fue medido en presencia del material denominado SPS, observándose actividad nula. Por lo tanto, el efecto de adsorción y degradación del sustrato cubierto con la capa de silicona puede ser despreciado en el análisis de la actividad fotocatalítica de los materiales soportados.

2.5 Reutilización del catalizador soportado

La respuesta fotocatalítica de los catalizadores fue evaluada en 4 ciclos sucesivos. En el primer ciclo, una solución $1 \times 10^{-5} \text{M}$ de tartrazina se puso en contacto con los fotocatalizadores soportados y luego de 20 minutos, el sistema fue irradiado con luz visible durante 540 minutos. En cada ciclo, se parte de una solución $1 \times 10^{-5} \text{M}$.

Al final de cada ciclo, el fotocatalizador soportado fue expuesto a irradiación durante 4 horas en agua bidestilada para su posterior reutilización. Este procedimiento fue realizado con la idea de eliminar posibles subproductos de degradación de tartrazina o tartrazina residual adsorbidos en la superficie del fotocatalizador

como fue reportado por Venkata Subba Rao (2004).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Microscopia Electrónica de Barrido

La micrografía del portaobjeto de vidrio muestra una superficie lisa totalmente limpia y libre de partículas. Al cubrir la misma con una fina capa de silicona se observa rugosidad en el sustrato y la presencia de minúsculas partículas adheridas a la superficie del POV procedentes de contaminación del medioambiente durante el secado.

La Fig. 1 muestra las micrografías MEB de los fotocatalizadores soportados con diferentes sólidos dispersados en la matriz de silicona. Se puede apreciar marcada diferencia en la morfología de P25-SPS respecto de los otros sólidos soportados.

Para P25-SPS se observa muy poca carga de TiO_2 P25 Evonik que se distribuye en toda la superficie con formas irregulares y tamaños de agregados de 10 a 50 μm aproximadamente. En cambio, los sólidos obtenidos por el proceso sol gel se disponen en forma interconectada formando una estructura porosa y con alta carga de catalizador como se observa en las figuras 2[C-F].

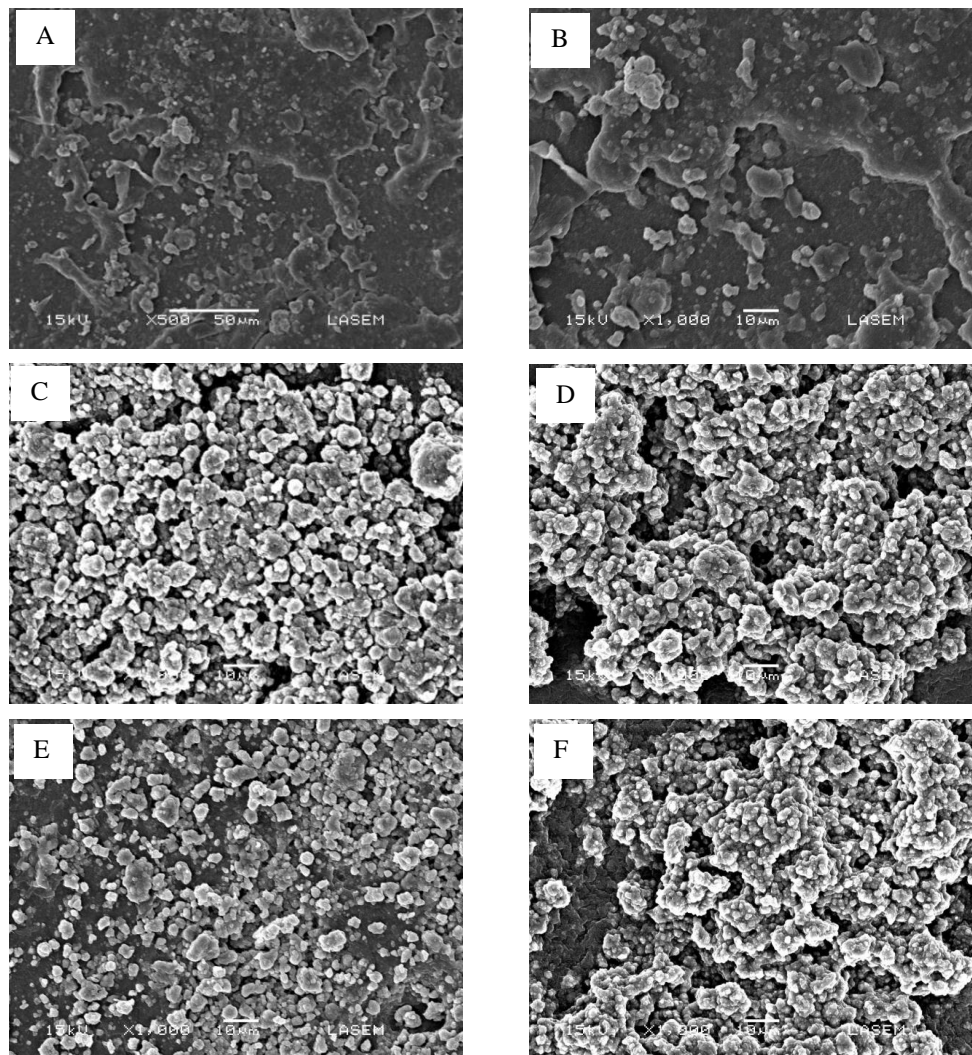


Figura 1. Micrografías MEB de [A] y [B] P25-SPS 500 y 1000X, [C] TiO_2 -1:1SPS, [D] TiO_2 -1:3SPS, [E] 0,5N- TiO_2 -1:1SPS y [F] 2N- TiO_2 -1:3SPS con una magnificación de 1000.

3.2 Pruebas fotocatalíticas con diferentes fotocatalizadores soportados

En la Fig. 2 se muestran las curvas de remoción, de tartrazina en presencia de la serie de sólidos soportados, luego de 4 ciclos de reutilización. P25-SPS adsorbe un 2% del colorante y no muestra actividad fotocatalítica a lo largo de toda la prueba.

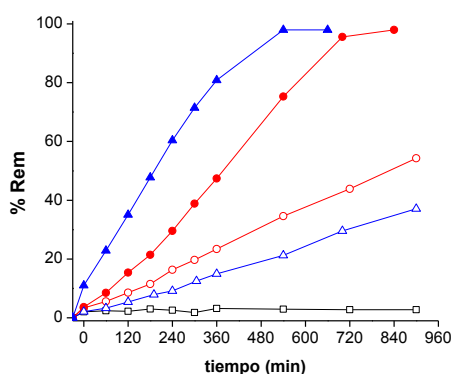


Figura 2. Curvas de remoción de tartrazina en presencia de diferentes sólidos soportados. P25-SPS (□), TiO₂-1:1SPS (○), 0,5N-TiO₂-1:1SPS (●), TiO₂-1:3SPS (△) y 2N-TiO₂-1:3SPS (▲).

Los sólidos no dopados y soportados TiO₂-1:1SPS y TiO₂-1:3SPS muestran actividad fotocatalítica en la degradación de tartrazina bajo luz visible. Luego de 540 minutos de irradiación alcanzan una remoción del 34% y 21% del colorante respectivamente. La respuesta de los sólidos no dopados soportados es atribuida a la sensitización por fijación de moléculas de tartrazina en la superficie del fotocatalizador.

Tabla 2. Porcentajes de colorante adsorbido y removido luego de 540 minutos de irradiación para diferentes fotocatalizadores soportados.

Fotocatalizador	% Adsorbido	% Removido
P25-SPS	2	2
TiO ₂ -1:1SPS	4	34
0,5N-TiO ₂ -1:1SPS	4	75
TiO ₂ -1:3SPS	2	21
2N-TiO ₂ -1:3SPS	11	97

No obstante, 0,5N-TiO₂-1:1SPS y 2N-TiO₂-1:3SPS presentan mejor actividad comparados con los sólidos no dopados soportados respectivos. 2N-TiO₂-1:3SPS muestra la mejor

performance en el tratamiento de tartrazina bajo luz visible con un grado de remoción del 97% después de 540 minutos de iniciada la prueba fotocatalítica (tabla 2). Aunque 0,5N-TiO₂-1:1SPS logra el mismo nivel de remoción de contaminante, pero en un tiempo de 720 minutos. Si bien resulta difícil asegurar que catalizador es el que tiene la mejor actividad, ya que no se puede determinar la superficie activa en cada caso, de las micrografías se podría atribuir a que los fotocatalizadores 2N-TiO₂-1:3SPS y 0,5N-TiO₂-1:1SPS presentan mayor porosidad interagregados, con mayor superficie accesible para que sucedan las reacciones de degradación. También es de destacar que 2N-TiO₂-1:3SPS presenta una mayor concentración de N en el sólido de partida respecto de 0,5N-TiO₂-1:1SPS. Si bien los resultados de actividad fotocatalítica de estos sólidos no soportados en lecho fluidizado son similares, el efecto de la disposición que adquieren los agregados durante la adhesión resulta determinante en la respuesta fotocatalítica.

3.3 Reutilización de los fotocatalizadores soportados

De acuerdo con los resultados anteriores, la técnica seleccionada resulta adecuada para el soporte de los sólidos fotocatalíticos sintetizados y resulta efectiva en la degradación de tartrazina. Sin embargo, además de tener buena respuesta fotocatalítica, el material soportado debe ser capaz de mantener esa performance al ser utilizado en ciclos sucesivos. Para verificar esta hipótesis, se estudió el comportamiento del fotocatalizador con mejor rendimiento.

Los porcentajes removidos de tartrazina en ciclos sucesivos para 2N-TiO₂-1:3SPS se presentan en la Fig. 3. Se observa incremento del porcentaje de colorante adsorbido, así como la remoción por efecto combinado de adsorción y degradación fotocatalítica. Este comportamiento se debe tal vez a la eliminación del ácido acético (proveniente del curado de la silicona) eventualmente adsorbido en el fotocatalizador soportado. Esto quiere decir, que al entrar en contacto el fotocatalizador con la solución de colorante, parte de los sitios activos del fotocatalizador están ocupados por moléculas del ácido por lo que bajo porcentaje de remoción es observado en el primer ciclo. Sin embargo, bajo irradiación de luz visible una parte del ácido es removido por fotocatalisis dejando más superficie

expuesta. De esta forma se incrementan ambos porcentajes entre ciclos. Por otro lado, el incremento de la respuesta fotocatalítica puede ser atribuida a cambios en la hidrofiliicidad de la superficie expuesta del fotocatalizador. Cuando una partícula de semiconductor es irradiada con luz, se generan vacancias de oxígeno, sitio que puede ser ocupado por una molécula de agua disociada incrementando el carácter hidrofílico de la superficie como proponen Wang (1998), Watanabe (1999) y Nakajima (2001). En consecuencia, el aumento de la concentración de grupos OH en la superficie del fotocatalizador puede mejorar la performance fotocatalítica de los materiales.

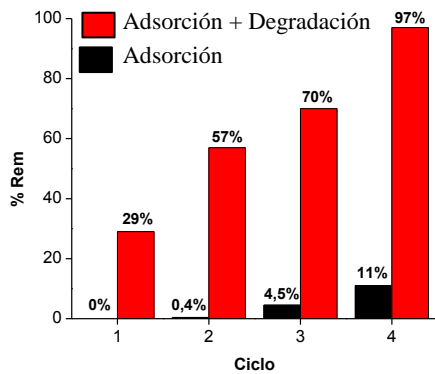


Figura 3: Porcentajes de remoción de tartrazina luego de 540 min de irradiación en presencia de 2N-TiO₂-1:3SPS en 4 ciclos sucesivos.

4. CONCLUSIONES

Los estudios preliminares de fotocatalizadores soportados activos bajo radiación visible son alentadores quedando pendientes los estudios en el tiempo para determinar cuan resistente es la adhesión de la fase activa –soporte y cuál sería la vida útil aceptable del sistema soportado.

REFERENCIAS

- Abdel-Maksoud, Y.K., E. Imam, A.R. Ramadan, Sand supported TiO₂ photocatalyst in a tray photo-reactor for the removal of emerging contaminants in wastewater, *Catalysis Today*, 313, 55-62, 2018.
- Gao, Y., H. Liu, Preparation and catalytic property study of a novel kind of suspended photocatalyst of TiO₂-activated carbon immobilized on silicone rubber film, *Materials Chemistry and Physics*, 92(2): 604-608, 2005.
- Kim, D.S., Y.S. Park, Photocatalytic decolorization of rhodamine B by immobilized TiO₂ onto silicone sealant, *Chemical Engineering Journal*, 116(2), 133-137, 2006.
- Nakajima, A., S. Koizumi, T. Watanabe, K. Hashimoto, Effect of repeated photo-illumination on the wettability conversion of titanium dioxide, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 146(1), 129-132, 2001.
- Pérez, E.G., V. Murgia, E.M. Farfán Torres, E.L. Sham, TiO₂ modificado con nitrógeno para la degradación de hidroquinona bajo luz visible, *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, 3, 183-189, 2017.
- Venkata Subba Rao, K., M. Subrahmanyam, P. Boule, Immobilized TiO₂ photocatalyst during long-term use: decrease of its activity, *Applied Catalysis B: Environmental*, 49, 11, 2004.
- Wang, R., K. Hashimoto, A. Fujishima, M. Chikuni, E. Kojima, A. Kitamura, M. Shimohigoshi, T. Watanabe, Photogeneration of Highly Amphiphilic TiO₂ Surfaces, *Advanced Materials*, 10(2), 135-138, 1998.
- Watanabe, T., A. Nakajima, R. Wang, M. Minabe, S. Koizumi, A. Fujishima, K. Hashimoto, Photocatalytic activity and photoinduced hydrophilicity of titanium dioxide coated glass, *Thin Solid Films*, 351(1), 260-263, 1999.

Desarrollo de scaffolds dermatológicos de Policaprolactona y sobrenadante de *Lactobacillus plantarum* mediante electrospinning

Rodriguez, Gabriela¹; Socci, Cecilia¹; Perez Ibarreche Mariana¹ S; Ponce, Natalia¹; Aguilar, Javier²; Rodriguez, Andrea P¹; Valdez Juan C.³

(1) *Laboratorio de Medios e Interfases, Departamento de Bioingeniería, Universidad Nacional de Tucumán, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Tucumán, Argentina; gabrielarodriguez.86.gr@gmail.com*

(2) *Instituto de Virología "Dr. J.M. Vanella", Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina*

(3) *Cátedra de Inmunología, Facultad de Bioquímica, Química, Farmacia y Biotecnología, Instituto de Microbiología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina*

RESUMEN

Las úlceras de pie diabético son un tipo de heridas crónicas susceptibles a infecciones bacterianas productoras de biofilm, refractarias a los antibióticos y antisépticos. Por otro lado, el sobrenadante de *Lactobacillus plantarum* (SNLP) en úlceras venosas reduce el tiempo de cicatrización, disminuyendo significativamente la carga bacteriana. Por ello, podría ser una buena alternativa terapéutica para heridas crónicas. La Policaprolactona (PCL) es un polímero biocompatible, biodegradable y con excelentes propiedades mecánicas, cuya eficacia en aplicaciones dermatológicas ha sido ampliamente demostrada. La técnica de electrospinning, permite fabricar nanomebranas poliméricas con diferentes grados de porosidad según la aplicación biomédica. Nuestro objetivo es fabricar un scaffold de PCL mediante electrospinning con la incorporación de SNLP por emulsión (PCL+SNLP), analizar su morfología macroscópica, estudiar su efecto antimicrobiano y viabilidad celular con fibroblastos InViv1, usando las técnicas sugeridas por la norma ISO-10993-5. Nuestros resultados indicaron la incorporación del SNLP por el aspecto amarillento de las nanofibras del scaffold. También hubo efecto antimicrobiano, sin encontrarse diferencia significativa, salvo para PCL+SNLP 8% y PCL+SNLPTween 2%. En cuanto a la respuesta de viabilidad celular, fue por encima del 80% para todos los grupos. Concluimos que este biomaterial es adecuado para los primeros estadios de las curaciones de heridas crónicas.

Palabras claves: electrospinning - ulcera de pie diabético – policaprolactona – *Lactobacillus plantarum*

ABSTRACT

Diabetic foot ulcers are a chronic wound type susceptible to biofilm-producing bacterial infections, refractory to antibiotics and antiseptics. On the other hand, *Lactobacillus plantarum* supernatant (SNLP) in venous ulcers reduces the healing time, significantly reducing the bacterial load. Therefore, it could be a good therapeutic alternative for chronic wounds. Polycaprolactone (PCL) is a biocompatible, biodegradable polymer with excellent mechanical properties, whose effectiveness in dermatological applications has been widely demonstrated. The electrospinning technique makes it possible to manufacture polymeric nanomembranes with different porosity degrees depending on the biomedical application. Our aim is to manufacture a PCL scaffold by electrospinning with the incorporation of SNLP by emulsion (PCL+SNLP), to analyze its macroscopic morphology, to study its antimicrobial effect and cell viability with InViv1 fibroblasts, using the techniques suggested by ISO-10993-5 standard. Our results indicated the incorporation of SNLP due to the yellowish appearance of the scaffold nanofibers. There was also an antimicrobial effect, without finding a significant difference, except for PCL+SNLP 8% and PCL+SNLPTween 2%. Regarding the cell viability response, it was above 80% for all groups. We conclude that this biomaterial is suitable for the early stages of chronic wound healing.

Keywords: electrospinning – ulcer foot – polycaprolactone – *Lactobacillus plantarum*

1. INTRODUCCIÓN

La Diabetes Mellitus (DM) es una de las enfermedades crónicas más comunes en el mundo y actualmente que se encuentra en estado de emergencia. En la actualidad, 415 millones de personas son afectadas a nivel mundial, 193 millones no están diagnosticadas y 318 millones padecen intolerancia a la glucosa con riesgo de desarrollar DM en algún momento de su vida. Se espera que este número incremente para el 2040 (Federación Internacional de la Diabetes, 2015) La úlcera de pie diabético (UPD) es una de las afecciones como consecuencia de la DM. Se desarrolla a partir de la neuropatía motora y sensorial que presentan los pacientes, causando deformidad en el pie y pérdida sensorial. También se produce secado en la piel por la neuropatía autónoma por lo que por traumatismo se produce lesiones que luego erosionan dando lugar a las ulceraciones (Armstrong, 2017). Otra de las secuelas, es la aterosclerosis en los vasos sanguíneos de los miembros inferiores comprometiendo la circulación y favoreciendo las infecciones. Esta es la razón por la cual, la cicatrización es un proceso a largo plazo conduciendo a necrosis y gangrenas (Oliver, 2020). A consecuencia de ello, la UPD es una de las mayores causas de amputaciones no traumáticas y se estima que se produce una cada 30 segundos a nivel global (Gregg et al., 2018). Los tratamientos existentes como el desbridamiento quirúrgico, adyuvantes y otras terapias, resultan costosas y no lo suficientemente efectivas. Sin embargo, nuestro equipo ha observado que el tratamiento con *Lactobacillus plantarum* en heridas producidas por quemaduras y en úlceras venosas crónicas reduce el tiempo de cicatrización, por la disminución de la carga bacteriana (Peral et al., 2009; Valdéz et al., 2005) la generación de tejido de granulación y epitelización (Peral, et al., 2010; Valdez et al., 2014). Por otro lado, tecnologías como el electrospinning se ha considerado una técnica eficaz para producir fibras poliméricas a escala nanométrica. Sus principales ventajas incluyen: controlar la composición de nanofibras para lograr la propiedad deseada, disminuir los efectos adversos de los medicamentos sistémicos y crear una concentración efectiva de fármaco en el área

dañada. Además, debido a la alta relación superficie-volumen, la carga de enzimas y otros agentes biológicos se puede lograr fácilmente (Bayat et al., 2019). Así mismo, es una técnica simple, versátil y de bajo costo con la cual se puede utilizar polímeros naturales y sintéticos, como así también distintas combinaciones de estos (Pant et al., 2019). En nuestro laboratorio, hemos diseñado y validado un equipo de electrospinning (Nasrallah, 2013; Masino, 2012) para la fabricación de scaffolds poliméricos. La policaprolactona (PCL), es un biomaterial biocompatible con excelentes propiedades mecánicas, cuya eficacia en aplicaciones dermatológicas ha sido ampliamente demostrada (Rajzer et al., 2014). Otra ventaja que posee debido a su propiedad biodegradable, convierten al PCL en un polímero de uso común en varios dispositivos aprobados por la Administración de Drogas y Alimentos (FDA) de EE. UU (Felice et al., 2018). Por esta razón, el objetivo de este trabajo es fabricar un scaffold de PCL utilizando la técnica de electrospinning con sobrenadante de *Lactobacillus plantarum* (SNLP) incorporado por el método de emulsión (PCL+SNLP), y determinar la morfología de sus fibras. Además, se analizará la actividad antimicrobiana del scaffold fabricado y su viabilidad celular.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Incorporación del SNLP a las soluciones de PCL para la fabricación de scaffolds de PCL con SNLP

Obtención del SNLP: Se cultivó la cepa de *L. plantarum* ATCC 10241 en medio líquido MRS (Man Rogosa Sharpe) a 37°C sin agitación durante 8 horas, luego se centrifugó a 7000 rpm durante 15 minutos a 15°C. Se recuperó el SNLP y se filtró a través de un filtro millipore de 0,22 µm de poros para eliminar las bacterias restantes del sobrenadante. Finalmente, se liofilizó para luego preparar las soluciones a distintas concentraciones del mismo.

Emulsión para las soluciones de PCL+SNLP: Primeramente, se preparó solución PCL solo (Mn, 80000 Sigma-Aldrich USA) al 8% p/v en Dimetilformamida (Cicarelli, Argentina) y cloroformo (Cicarelli, Argentina) con una

relación 80:20. Luego, se prepararon las soluciones de PCL al 8% con el agregado de SNLP (PCL+SNLP) a distintas concentraciones para la fabricación de los scaffolds. En la tabla 1 se describe las distintas preparaciones. A su vez se prepararon soluciones de PCL+SNLP con las mismas concentraciones, pero adicionándoles a cada una Tween 80 al 0,4% (8,2 ul), para de esta forma, determinar una mejor emulsión entre el PCL y el SNLP de cada una de ellas. De esta forma, los grupos quedan conformados de la siguiente manera: PCL solo como grupo control, PCL+SNLP al 2, 4, 6, 8 y 10% como grupo experimentales.

Tabla 1. Preparación de soluciones de PCL con distintas concentraciones de SNLP

Gramos de SNLP liofilizado	µL de agua destilada	µL SNLP agregados a cada sol de PCL 8%	Concentración final de SNLP (%)
0,41	500	50	2
0,82	500	50	4
1,23	500	50	6
1,64	500	50	8
2,05	500	50	10

2.2 Fabricación de scaffolds de PCL+SNLP mediante electrospinning

Los scaffolds de nanofibras fueron fabricados utilizando la técnica de electrospinning (figura 1A). La mezcla de las distintas soluciones, fueron homogeneizadas durante 24 hs con agitador magnético. A continuación, cada una de ellas fueron cargadas en una jeringa de 5 mL. Se aplicó una diferencia de potencial de 8 kV, que genera un campo eléctrico entre la aguja metálica y la placa colectora, cuya distancia entre uno y otro fue de 15 cm. Las nanofibras del scaffold de PCL sin SNLP poseen un diámetro uniforme a lo largo de sus estructuras, con superficies lisas y obtenidas a partir de haces estables en el tiempo, sin haces secundarios observables (imágenes SEM tomadas con el equipo Zeiss Supra 55VP perteneciente al CIME (Centro Integral de Microscopia Electrónica) dependiente del CONICET, Tucumán (figura 1.B).

2.3 Análisis macroscópico de los scaffolds de PCL+SNLP

Para determinar el aspecto macroscópico de los scaffolds de cada grupo, se realizaron fotografías a 20 cm de distancia de la muestra con iluminación natural.

2.4 Efecto antimicrobiano de los scaffolds de PCL+SNLP

Se realizó una curva control del efecto antimicrobiano sobre las distintas concentraciones de SNLP (2, 4, 6, 8 y 10%). Para ello, se colocó en una caja de Petri 10 mL de medio LB agar blando y 50 µL de una suspensión bacteriana de *S. aureus* que corresponde al tubo n° 0,5 de la escala McFarland ($1,5 \times 10^8$ UFC/mL). Luego, se tomaron 10 µL de cada una de las soluciones madre del SNLP y se sembraron por duplicado en cajas de Petri. Por último, incubaron a 37°C durante 24 horas para observar los resultados.

Para determinar el efecto antimicrobiano de los scaffolds, se preparó un inóculo inicial de *Staphylococcus aureus* en medio LB incubado overnight a 37°C. Luego, se tomó una alícuota de 100 µL del inóculo de una suspensión bacteriana que corresponde al tubo n° 0,5 de la escala McFarland ($1,5 \cdot 10^8$ UFC/mL) y se la colocó en 900 µL de medio LB en un tubo eppendorf estéril, se agitó y se tomaron de esta suspensión 100 µL que se colocaron en nuevos tubos eppendorf estériles que contenían 900 µL de medio LB a los cuales, luego de agitarlos, se les adicionó un fragmento de scaffolds de 18 x 18 mm que previamente se esterilizaron mediante UV durante

15 min de cada lado. Se incubaron durante 24 horas a 37°C. Pasadas las 24 horas, las muestras se vortexearon durante un minuto, se realizó el ensayo cuantitativo de diluciones sucesivas en una serie de eppendorf estériles con 900 µL de SF de -1 a -6 y se sembraron en medio LB gar las diluciones -4, -5, -6 y -7 por duplicado, para determinar la inhibición del crecimiento de las colonias, comparándolas con aquellas crecidas en placa control (inóculo inicial). Se incubó cada placa a 37°C durante 24 horas. Para determinar el inóculo inicial de bacterias, se inoculó en LB agar sólido las diluciones de -4 a -7, por duplicado, se incubaron a 37°C durante 24 horas (figura 2).

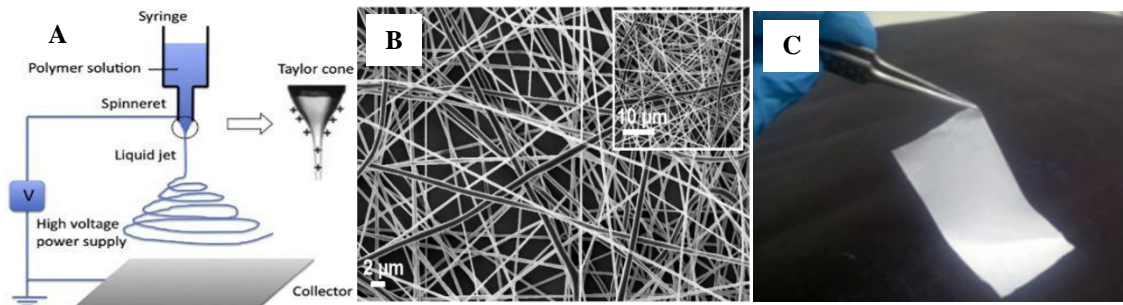


Figura 1. A: Esquema de la técnica de electrospinning. B: Microfotografía de SEM de nanofibras de PCL (resolución). C: Macrografía de scaffold de PCL.

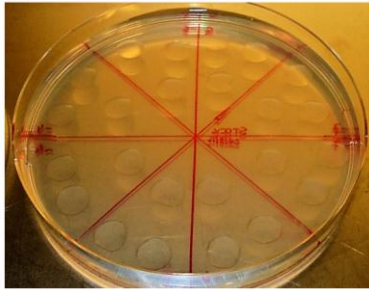


Figura 2. Inóculo inicial de *S. aureus*. Diluciones de -4 a -7.

2.5 Efecto de viabilidad celular del scaffold de PCL+SNLP según la norma ISO 10993-5

2.5.1 Evaluación del extracto líquido obtenidos a partir del scaffold de PCL+SNLP mediante la técnica de Rojo Neutro

Para la extracción del extracto líquido, se tomó muestras de 17, 35, 68 y 136 mm² de superficie del scaffold de PCL+SNLP 2, 4, 6 y 8% y de PCL sin SNLP. Se utilizó Dimetilsulfóxido (DMSO) como control negativo al 4%, 3%, 2%, 1% y 0,5% de concentración de acuerdo a lo sugerido a la norma ISO 10993-5 (Biological evaluation of medical devices - Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity). Luego, los distintos grupos experimentales fueron colocados en placas de 12 pocillos. Por consiguiente, se agregó 0,5 ml de medio de cultivo DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium) c/HEPES (solución tampón) con 100U/ml de penicilina y 0,3g/L de L-glu. A continuación, se dejó a 25°C durante 48 horas para finalmente obtener el extracto líquido a partir de los scaffolds. Para el análisis de rojo neutro, se incubaron 100 μl del extracto líquido obtenido en una placa de 96 pocillos con 10 μl de una suspensión celular (10*6 cel/ml) de

fibroblastos de la línea celular InViv1, por 48 horas a 37°C en atmósfera húmeda y 5% CO₂. Como paso final se llevó a 490 nm de absorbancia (Lector microplacas Biotek ELx800) (Borenfreund & Puerner, 1985).

2.5.2 Evaluación de la adhesión celular al scaffold de PCL+SNLP

Se tomó muestras de los scaffolds de 18x18 mm en placas Petri de 100 mm de diámetro con 5 ml de DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium) c/HEPES con 100U/ml de penicilina y 0,3g/L de L-glu. Luego, se incubó 10*6 cel/ml sobre las muestras de scaffolds de los distintos grupos durante 48 horas a 37°C en atmósfera húmeda y 5% de CO₂. Cumplido el tiempo de incubación, se realizó el fijado y tinción celular con naranja de acridina para luego ser observado en el microscopio de fluorescencia.

2.6 Análisis estadísticos

Se utilizó test de student (Test t) para analizar el efecto antibacteriano de los scaffolds de PCL+SNLP.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de la macroscópico de las nanofibras de los scaffolds de PCL+SNLP

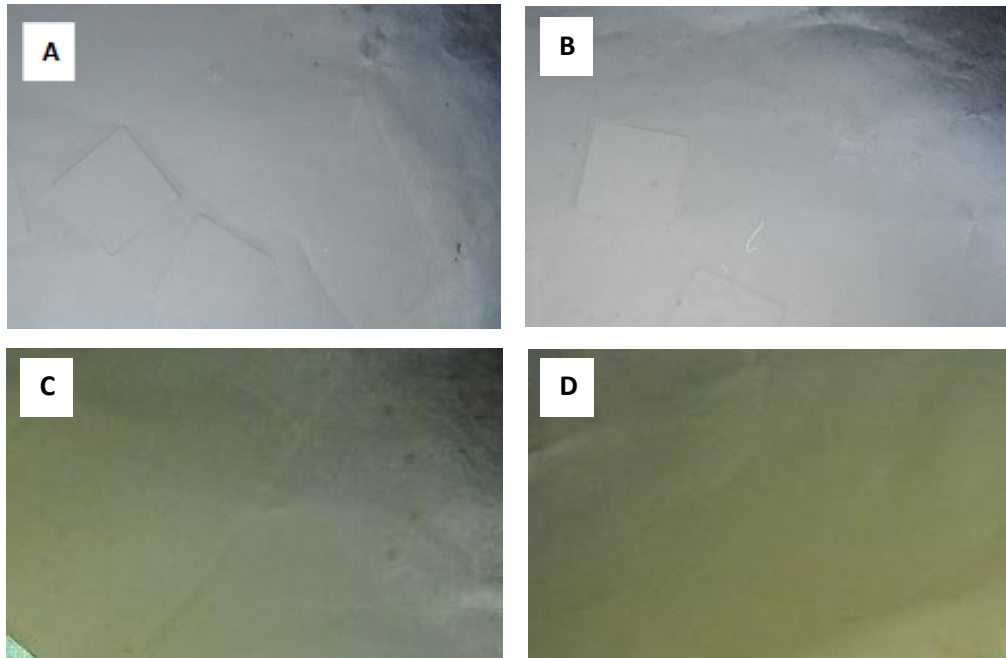


Figura 3. Fotomacrografía de los distintos scaffolds. A: PCL. B: PCL+SNLP 2%. C: PCL+SNLP 4%. D: PCL+SNLP 6%

Los scaffolds de PCL+SNLP presentaron una diferencia en la coloración de las nanofibras. El grupo control de PCL sólo presentó una coloración blanca mientras que los grupos experimentales, esa coloración se tornaba más amarillento a medida que las concentraciones de SNLP aumentaban (figura 3). Esto es debido a la coloración amarillada que presenta el SNLP puro. El cambio de coloración sería un indicativo de que esta sustancia bioactiva se mezcló con el polímero del PCL en la preparación de la solución. En cuanto a la maleabilidad del biomaterial, al presentar un grosor delgado, es difícil su manejo. Las concentraciones del SNLP al scaffold no modifican esta propiedad. Sin embargo, en el grupo de PCL+SNLP 10% las nanofibras resultaron inestables por lo que el depósito de las mismas al colector no fueron los adecuados. Nejaddehbashi et al., (2019) desarrollaron un scaffold de tres capas, cuya capa inferior de PCL al 15% con sulfadizina argéntica incorporado por emulsión como agente antimicrobiano, sin embargo, este antibiótico

no afectó el aspecto macroscópico del mismo. En cambio, en el trabajo de Alhusein et al (2013), fabricaron un scaffold de PCL al 5-10% en emulsión con la zeína (proteína del maíz) para la liberación controlada de la tetraciclina. En este caso, las nanofibras de PCL/zeína toman un aspecto amarillento.

3.2 Efecto antimicrobiano de los scaffolds de PCL+SNLP

Se observa que, en la curva control, las concentraciones que presentan halos de inhibición en ambas placas son las de PCL+SNLP 6%, 8% y 10% (Fig. 4). El test t demostró que no hay diferencia significativa entre las comparaciones realizadas con el PCL y el PCL+SNLP distintas concentraciones, salvo para el scaffold PCL+SNLP 8% ($p=0.057$) y PCL+SNLP Tween 2% ($p=0.068$) que sí presenta diferencia significativa (Fig 5). Sin embargo, los resultados tampoco estuvieron tan alejados del resto de los grupos. También se observó que los scaffolds con tween 80, no tuvieron un efecto significativo en la emulsión del PCL y el SNLP en el momento de preparación de las distintas soluciones.

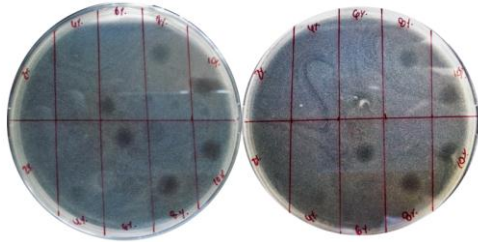


Figura 4. Análisis de la curva control del efecto antimicrobiano del SNLP a distintas concentraciones.

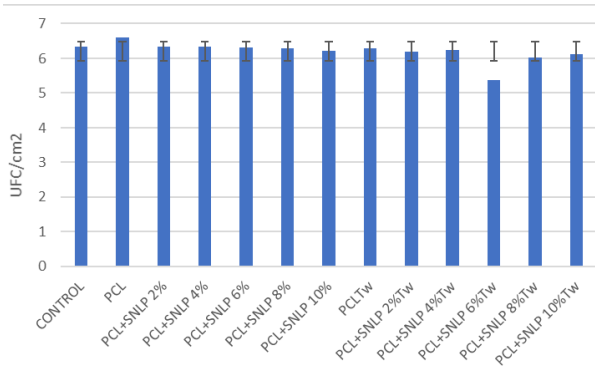


Figura 5. Análisis del efecto antimicrobiano de los scaffolds de PCL+SNLP a distintas concentraciones.

En otros biomateriales desarrollados con PCL en combinación con otras sustancias farmacéuticas, también se ha encontrado actividad antimicrobiana. Por ejemplo, los scaffolds desarrollados por el grupo de Alhusein (2016) de PCL/Zeína con tetraciclina incorporado por inmersión, mostró una excelente actividad antibiótica en destruir biofilms de *S. aureus* MRSA252 en modelos que se asemejan a la situación encontrada en las heridas. Otros materiales como el ácido hialurónico y la fibroína de seda con un extracto vegetal como el Thymol, presentaron actividad bacteriana frente *S. aureus* *P. aeruginosa*, aunque las propiedades para su aplicación en heridas crónicas no fueron suficientes (Miguel et al., 2019). Un scaffold desarrollado mediante electrospinning coaxial con fibras tipo share-core de PCL-ácido hialurónico con impregnaciones de nano partículas de plata, demostraron actividad antimicrobiana para *Staphylococcus aureus* (Gram-positivo, BCRC 10451) y *Escherichia coli* (Gram-negativo, BCRC 11634, esto debido a la presencia de las nanopartículas de plata (Chen et al., 2015).

3.3 Efecto de viabilidad celular del scaffold de PCL+SNLP según la norma ISO 10993-5

Mediante los resultados obtenidos de viabilidad celular mediante la técnica del extracto líquido obtenidos a partir de los scaffolds de PCL+SNLP a distintas concentraciones, se observaron una viabilidad celular por encima del 80% (figura 6), lo que indicaría que se trata de un biomaterial biocompatible. Los scaffolds presentaron adhesión celular como puede observarse en la figura 7, con una adherencia mayor a medida que aumentaba la concentración del SNLP. Las muestras de los scaffolds de PCL+SNLP 10% no se pudieron realizar el análisis de viabilidad celular debido a que presentaba dificultades al momento de incorporar el DMEM, razón por la cual, los datos no están representados.

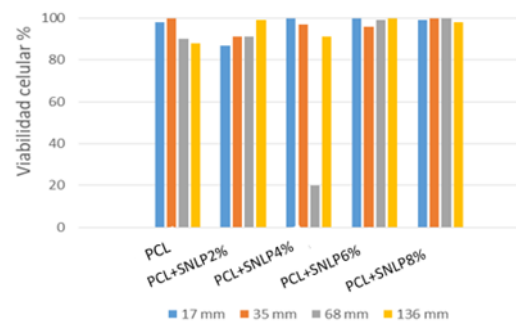


Figura 6. Evaluación de citotoxicidad mediante la técnica de extracto líquido de Rojo Neutro de scaffolds de PCL+SNLP a distintas concentraciones

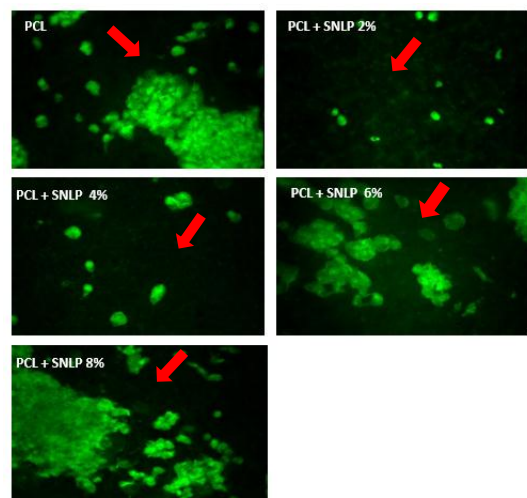


Figura 7. Evaluación de adhesión celular de los scaffolds de PCL+SNLP. Los fibroblastos Invi1 se adhirieron a las nanofibras de los distintos scaffolds (flecha roja). Se observa una mayor adherencia celular en el scaffold PCL + SNLP 8% en relación al PCL solo.

En un modelo de quemaduras en ratón tratadas con SNLP, se observó mejora en la reparación de tejidos, una mayor actividad en los fagocitos sobre *P. aeruginosa* tejidos y una disminución de la apoptosis. Esto podría significar que *L. plantarum* y/o sus subproductos son agentes terapéuticos potenciales para el tratamiento local de heridas de la piel (Valdez et al., 2014). Por otro lado, el PCL/Zeina, en combinación con la tetraciclina, tuvo buena respuesta celular con los fibroblastos de la línea FEK4 (Alhusein et al., 2016).

4. CONCLUSIÓN

Podemos concluir que los scaffolds de PCL+SNLP, presentan efecto antibacteriano sobre *P. aeruginosa* y *S. aureus*, ambas comúnmente encontradas en infecciones de heridas crónicas, sin encontrarse diferencias significativas en los distintos grupos, a excepción de PCL+SNLP 8% y PCL+SNLP Tween 2%. Además, fueron evaluados bajo las normas ISO 10993-5 (evaluación de citotoxicidad para dispositivos médicos) demostrando una viabilidad celular por encima del 80%, lo que indicaría que se trata de un biomaterial biocompatible. A causa de estos resultados, podrían ser candidatos cruciales para el desarrollo de parches dermatológicos con aplicaciones de fines terapéuticos para tratar heridas crónicas de índole patológicas como las UPD. Aun así, este biomaterial, debe continuar siendo estudiado para los siguientes ensayos preclínicos y clínicos.

5. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto está subsidiado por el PDTs (proyecto de desarrollo tecnológico y social) N°574 otorgado por el Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) y por el Proyecto orientado Abel Peirano 2019, ambos dirigidos por la Dra. Rodríguez. También por el subsidio PICT 370 otorgado por el MINCyT, bajo la dirección del Dr. Juan Carlos Valdez. Agradecemos al instituto de virología Dr. Vanella, Facultad de Ciencias

Médicas de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y a la cátedra de Inmunología de la facultad de Bioquímica, Química y Farmacia y de Biotecnología de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). A Félix Colomo, personal de apoyo del LAMEIN.

6. REFERENCIAS

- Alhusein, N., Blagbrough, I. S., & de Bank, P. A., Zein / polycaprolactone electrospun matrices for localised controlled delivery of tetracycline. *Drug Delivery and Translational Research*, 3(6)542–550, 2013.
- Alhusein, N., Blagbrough, I. S., Beeton, M. L., Bolhuis, A., & de Bank, P. A. Electrospun Zein / PCL Fibrous Matrices Release Tetracycline in a Controlled Manner, Killing *Staphylococcus aureus* Both in Biofilms and Ex Vivo on Pig Skin, and are Compatible with Human Skin Cells, *Pharmaceutical Research*, 237–246, 2016
- Bayat, S., Amiri, N., Pishavar, E., Kalalinia, F., Movaffagh, J., & Hahsemi, M. Bromelain-loaded chitosan nanofibers prepared by electrospinning method for burn wound healing in animal models. *Life Sciences*. 229 57–66, 2019
- Borenfreund, E., & Puerner, J. A. Toxicity determined in vitro by morphological alterations and neutral red absorption, *Toxicology Letters*, 24(2–3), 119–124, 1985
- Chen, C. H., Chen, S. H., Shalumon, K. T., & Chen, J. P., Dual functional core-sheath electrospun hyaluronic acid/polycaprolactone nanofibrous membranes embedded with silver nanoparticles for prevention of peritendinous adhesion. *Acta Biomaterialia*, 26, 225–235, 2015.
- Armstrong D., Boulton A., M.D., & Bus S., Diabetic Foot Ulcers and Their Recurrence. *New England Journal of Medicine*, 376(24), 2367–2375, 2017.
- Federación Internacional de la Diabetes. *Atlas de la diabetes*, 2015.
- Felice, B., Sánchez, M. A., Socci, M. C., Sappia, L. D., Gómez, M. I., Cruz, M. K., Felice, C., Rodríguez, A. P. Controlled degradability of PCL-ZnO nanofibrous scaffolds for bone tissue engineering and their antibacterial activity. *Materials Science and Engineering C*, 93(August), 724–738, 2018

- Gregg, E. W., Cheng, Y. J., Srinivasan, M., Lin, J., Geiss, L. S., Albright, A. L., & Imperatore, G. Trends in cause-specific mortality among adults with and without diagnosed diabetes in the USA : an epidemiological analysis of linked national survey and vital statistics data. *The Lancet*, 391(10138), 2430–244, 2018
- Nasrallah, L., *Sistema para electrospinning*. Universidad Nacional de Tucumán, 2013
- Masino, LM, *Equipo de electrospinning*. Universidad Nacional de Tucumán, 2012
- Miguel, S. P., Simões, D., Moreira, A. F., Sequeira, R. S., & Correia, I. J, Production and characterization of electrospun silk fibroin based asymmetric membranes for wound dressing applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121 524-535, 2019
- Nejaddehbashi F, Hashemitabar M, Bayati V, Abbaspour M, Moghimipour E, O. M., Application of polycaprolactone, chitosan, and collagen composite as a nanofibrous mat loaded with silver sulfadiazine and growth factors for wound dressing, *Artificial Organs*, 43(4), 413–423, 2019.
- Oliver TI, M. M. (2020). Diabetic Foot Ulcer. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537328/>
- Pant, B., Park, M., & Park, S.-J. (2019). Drug Delivery Applications of Core-Sheath Nanofibers Prepared by Coaxial Electrospinning: A Review. *Pharmaceutics*, 11(7), 305, 2019.
- Peral, M. C., Rachid, M. M., Gobbato, N. M., Huaman Martinez, M. A., & Valdez, J. C., Interleukin-8 production by polymorphonuclear leukocytes from patients with chronic infected leg ulcers treated with *Lactobacillus plantarum*. *Clinical Microbiology and Infection*, 16(3), 281–286, 2010
- Peral, Maria C., Huaman Martinez, M. A., & Valdez, J. C., Bacteriotherapy with *Lactobacillus plantarum* in burns. *International Wound Journal*, 6(1), 73–81, 2009
- Rajzer, I., Menaszek, E., Kwiatkowski, R., Planell, J. A., & Castano, O., Electrospun gelatin/poly(ϵ -caprolactone) fibrous scaffold modified with calcium phosphate for bone tissue engineering. *Materials Science and Engineering C*, 44, 183–190, 2014
- Valdéz, J. C., Peral, M. C., Rachid, M., Santana, M., & Perdigón, G., Interference of *Lactobacillus plantarum* with *Pseudomonas aeruginosa* in vitro and in infected burns: The potential use of probiotics in wound treatment. *Clinical Microbiology and Infection*, 11(6), 472–479, 2005
- Valdez, J. C., Ramos, A. N., Fernández, D., Rachid, M., Eugenia, M., Cabral, S., Valdecanto, P., Olea, L., Mayor, M. O., *Probiotics and their Potential use in Wound Treatment*, CR Press 2014

Desarrollo de sistema de medición de energía eléctrica

Santillán, Mario A. (1) y Fernández, Norma B. (2)

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero, mariosantillan55@gmail.com*

(2) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero, normafernandezteruel@gmail.com*

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un medidor electrónico de energía eléctrica y de los principales parámetros asociados a la misma, buscando el método más eficaz para implementar sus componentes. El sistema está basado en el uso de un circuito integrado capaz de medir la energía (entre otras magnitudes) en un sistema monofásico, contando con recursos internos para el muestreo de las señales de tensión y corriente, filtrado y compensación de errores; todo esto combinado con los recursos que ofrecen los microcontroladores actuales para la gestión de la información digital.

En la actualidad existe una fuerte tendencia al diseño de dispositivos integrados con cierto grado de inteligencia o prestaciones asociados a la calidad de la energía eléctrica. En este trabajo se realiza la medición de corriente eficaz, tensión eficaz, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, frecuencia de red, forma de onda de tensión, forma de onda de corriente, forma de onda de potencia activa, además del consumo energético. Se incluye también el diseño de un software para computadora capaz de extraer, mostrar y analizar los datos obtenidos por el dispositivo de una manera sencilla e intuitiva.

Palabras claves: medidor- energía eléctrica

ABSTRACT

The present work consists of the design and implementation of an electronic electric energy meter and the main parameters associated with it, seeking the most effective method to implement its components. The system is based on the use of an integrated circuit capable of measuring energy (among other magnitudes) in a single-phase system, with internal resources for the sampling of voltage and current signals, filtering and error compensation; all this combined with the resources offered by current microcontrollers for the management of digital information.

Currently, there is a strong trend towards the design of integrated devices with a certain degree of intelligence or benefits associated with the quality of electrical energy. In this work, the measurement of RMS current, RMS voltage, active power, reactive power, power factor, network frequency, voltage waveform, current waveform, active power waveform, is performed in addition to the energy consumption.

It also includes the design of a computer software capable of extracting, displaying and analysing the data obtained by the device in a simple and intuitive way.

Keywords: meter- electrical energy

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta se inserta en el Proyecto de investigación “La formación por competencias en carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Santiago del Estero” (UNSE), aprobado por CICYT- UNSE Código 23C155. Pretende mostrar las diferentes

competencias adquiridas por un egresado de Ingeniería Electrónica de la UNSE.

Dado el elevado coste de la energía eléctrica, las dificultades que existen para cubrir la demanda mundial, y el efecto nocivo para el medio ambiente que supone la producción masiva de esta, se impone la necesidad de aplicar la máxima

eficiencia energética posible en todos los usos que se haga de la energía eléctrica.

La eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía consumida de los productos y los beneficios finales obtenidos. Se puede lograr aumentarla mediante la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad.

En este contexto es que se desarrolla este proyecto, con el objetivo de diseñar y construir un dispositivo que sea capaz de medir el consumo de la energía eléctrica y las principales variables asociadas a la misma, con el fin de obtener información sobre el comportamiento de una instalación eléctrica domiciliaria monofásica conectada a la red pública, una carga específica, o bien, sobre sistemas de generación propia de energía.

2. OBJETIVOS

Se busca diseñar y construir un dispositivo que realice las funciones de un medidor de energía tradicional y que además permita obtener información adicional sobre variables relacionadas a esta como corriente, tensión, factor de potencia, entre otros.

2.1. Objetivos específicos

- Diseñar un dispositivo sobre la base de los requisitos eléctricos y de exactitud del reglamento técnico y metrológico para los medidores de energía eléctrica, apto para realizar mediciones en sistemas eléctricos que incluyen instalaciones eléctricas domiciliarias monofásicas conectadas a la red pública.

- Obtener información adicional sobre parámetros relacionados al consumo de energía eléctrica como la corriente RMS, tensión RMS, Potencia Activa, Potencia Aparente, Potencia Reactiva, Factor de Potencia y también la Forma de Onda de la Tensión, la Corriente y la Potencia Activa.

- Almacenar la información obtenida por el tiempo requerido por el usuario en el momento de la configuración del dispositivo, dependiendo del tiempo de muestreo de la información y capacidad de la tarjeta de memoria a utilizar, siendo este período no menor a 2 meses.

- Desarrollar un software que permita la programación y calibración del dispositivo,

extraer, presentar y analizar la información almacenada, haciendo uso de herramientas como hojas de cálculo, graficas, análisis de espectro de frecuencias, etc.

3. METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo que se pretende usar es el Modelo de Prototipo. Este permite que el producto en cuestión se construya íntegramente, para que luego se lo ponga a prueba, realizando así una realimentación y permitiendo corregir, mejorar o agregar lo que haga falta para tener un diseño final confiable.

La elección de la tecnología a utilizar, que consiste en la combinación de un microcontrolador PIC y un circuito integrado específico para medición de la energía eléctrica, se da por el conocimiento acumulado en la programación del primero.

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El diseño propuesto se basa en el circuito integrado para medición de energía monofásico ADE7753 de la marca Analog Devices gestionado por el microcontrolador PIC18F4550 de la marca MICROCHIP, el cual es el encargado además del tratamiento, almacenamiento y presentación de la información mediante el manejo de diversos dispositivos periféricos. El sensor de corriente seleccionado es del tipo de efecto Hall y su aptitud para ser incluido en este sistema se explica posteriormente.

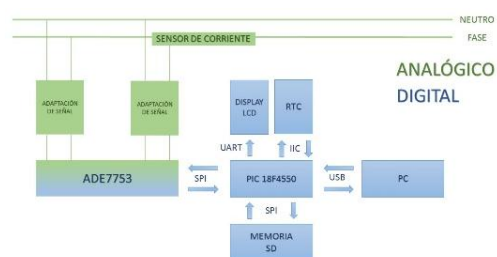


Figura 1. Diagrama de bloques de la propuesta de diseño (elaboración propia)

4.1 Sensor de corriente ACS 758

Sin duda el elemento más crítico en cuanto a la precisión del instrumento es el sensor de corriente. La elección del mismo se realiza en

función de los parámetros descritos en esta publicación científica.



Figura 2. Sensor de corriente ACS758. Fuente <http://www.robotshop.com>

Para determinar la aptitud o no del sensor es necesario plantear los requisitos mínimos que este debe cumplir. En este punto se deben contemplar los valores nominales para las corrientes. Hay 3 corrientes que se deben indicar: Corriente de base o nominal (I_b o I_n), corriente máxima (I_{max}) y la corriente de arranque (I_a).

Figura 3. Primer ensayo del sensor de corriente.



El sensor, según el fabricante, se comporta adecuadamente entre el rango de ± 50 Amps. El valor RMS máximo para estos valores es de:

$$50/\sqrt{2} \text{ Amps.} = 35 \text{ Amps.} \quad (1)$$

El ruido presente en el dispositivo es de 10mV, entonces, la corriente mínima que es capaz de resolver según su hoja de datos es de:

$$10 \text{ (mV)}/40 \text{ (mV/Amp.)} = 0.25 \text{ mA} \quad (2)$$

Entonces

$$I_{aRMS} = \frac{250 \text{ mA}}{\sqrt{2}} = 176.78 \text{ mA} \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que esta corriente se corresponde con la corriente de arranque del medidor cuyo valor se obtiene, para medidores de clase 2:

$$I_a = 0.005 \times I_n \text{ luego} \quad (4)$$

$$I_n = I_a/0.005 = 0.177 \text{ Amp.}/0.005 = 35,4 \text{ Amp}$$

Lo que indica que la corriente nominal mínima para el correcto funcionamiento del sensor, según el fabricante, es 35 A. Un valor muy grande para cualquier medidor de energía y para el mismo sensor, puesto que la corriente máxima debe ser un múltiplo entero de la corriente nominal (mínimo 2). El menor valor de corriente máxima para estos valores sería de 70 Amps, fuera del rango del sensor.

Después del análisis anterior se podría concluir que el sensor no es apto para la aplicación. En este punto es necesario poner a prueba el dispositivo, por lo que se diseñaron varios ensayos con el fin de obtener una conclusión definitiva.



4.1.1 Ensayos del sensor de corriente

Se realizaron 2 ensayos distintos para conseguir valores de corriente entre 0,025 Amps y 3 Amps. El primero consiste en un grupo de 20 resistencias de 270 Ω colocadas en paralelo y alimentadas por un transformador de 6V. Se coloca un amperímetro en serie con las resistencias y un voltímetro a la salida de la placa del sensor.

Figura 4. Instrumentos de medición utilizados en el primer ensayo del sensor de corriente.

La experiencia consiste en ir quitando las resistencias de a una para obtener 20 valores de salida distintos, correspondientes a corrientes medidas desde 0,025 Amps hasta 0,330 Amps. Con estas mediciones se cubre el rango de interés para decidir la aptitud del sensor para el sistema. La segunda experiencia tiene el mismo principio, la diferencia está en que se trabaja con un banco de resistencias y la tensión de línea (220 V) se aplica directamente.

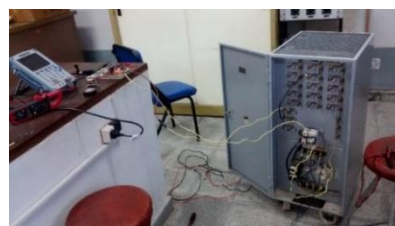


Figura 5. Segundo ensayo del sensor de corriente. Algunos de los datos obtenidos en las experiencias se presentan en la tabla 1

I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)
0	0,2	430	16,54	1350	53,6
25	0,96	450	17,3	1400	55,6
49,6	1,82	540	21,02	1450	57,6
74	2,7	590	23,02	1500	59,4
98	3,6	640	25,02	1600	63,4
121	4,44	680	26,54	1700	67,4
144	5,33	740	29,02	1800	71,5
166	6,15	790	31,02	1900	75,5

Tabla 1. Resultados de las mediciones en los ensayos del sensor de corriente

Cada valor de corriente medido en la entrada del sensor se corresponde con uno de tensión en la salida del circuito y es mostrado en la casilla ubicada inmediatamente a su derecha. Se distinguen con distintos tonos las muestras obtenidas en los 2 ensayos antes explicados.

De la tabla se puede observar que el sensor de corriente es capaz de diferenciar sin problemas valores de corriente a partir de los 25 mA; además es importante conocer el grado de linealidad que presentan estos datos. La alinealidad representa un inconveniente a la hora de encontrar una ecuación que convierta los valores de tensión obtenidos a la salida del circuito en valores de corriente con cierto grado de precisión. Es importante para esto comparar la curva de respuesta en la salida con una recta para determinar si se puede representar la función de transferencia del circuito con una ecuación de primer grado. Con ayuda de herramientas de cálculo se obtiene la ecuación de la recta que se aproxime lo más posible a la curva real. Comparando estas 2 gráficas es posible encontrar el grado de alinealidad del sensor y el circuito de adaptación de señal.

En la figura 6 se observa la curva de entrada / salida del circuito para corrientes en el rango de los 50 mA a los 340 mA. Por cuestiones de dimensión es difícil percibir a simple vista el grado de alinealidad de la curva. La ecuación de la línea recta que más se aproxima a la curva real se muestra en la misma gráfica. Para obtener los valores linealmente ideales correspondientes a cada valor medido, se introduce el valor de cada muestra de corriente a la ecuación.

$$V_{lineal} = 0,0402 \times I_{medido} - 0,6422 \quad (5)$$

Los resultados para la escala de 0 a 200 mA se presentan en la tabla 2:

I_{medido}	V_{real}	V_{lineal}	$Error\%$
49,6	1,82	1,36216	33,61132
74	2,7	2,3406	15,35504
98	3,6	3,303	8,991826
121	4,44	4,2253	5,081296
144	5,33	5,1476	3,543399
166	6,15	6,0298	1,993433
188	7	6,912	1,273148
203,2	7,5	7,52152	0,286112

Tabla 2. Valores reales, valores linealizados y error de linealidad.

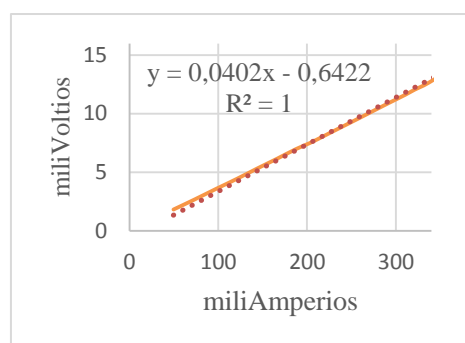


Figura 6. Curva de entrada - salida del circuito de ensayo de sensor y línea de tendencia (50-340 mA).

El error de linealidad se calcula según la siguiente ecuación:

$$Error\% = \frac{V_{real} - V_{lineal}}{V_{lineal}} \times 100 \quad (6)$$

La distribución del error de linealidad puede apreciarse mejor en la figura 7, viéndose claramente que en la parte más baja de la escala se presenta la mayor desviación.

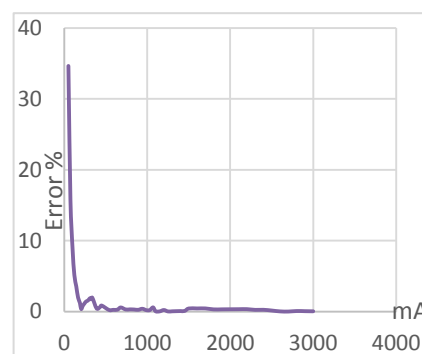


Figura 7. Distribución del error de linealidad porcentual para ensayo del sensor de corriente.

Un error de linealidad del 35 % en cualquier punto del rango de trabajo es inaceptable para cualquier instrumento de medición. Se concluye que aproximar los valores de salida del circuito en el rango completo a una única recta presenta una desviación de la linealidad importante, impidiendo obtener una ecuación sencilla que convierta los valores de tensión de salida del circuito en valores de corriente con un nivel de error aceptable.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, se decidió separar en varias escalas el rango de medición y obtener rectas para cada una. Por cuestiones de espacio, solo se muestra la tabla y la línea de tendencia del fondo de la escala. Cabe destacar que esta sección es la de mayor interés al presentarse allí el mayor error por linealidad.

I_{medido}	V_{real}	V_{lineal}	$Error\%$
49,6	1,82	1,7965	1,3081
74	2,7	2,7115	0,42412
98	3,6	3,6115	0,31843
121	4,44	4,474	0,75995
144	5,33	5,3365	0,1218
166	6,15	6,1615	0,18664
188	7	6,9865	0,19323

Tabla 3. Valores reales, valores linealizados y error de linealidad de la primera recta para corrección de curva.

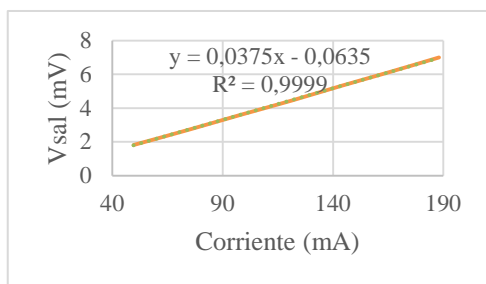


Figura 8. Curva de entrada - salida del circuito de ensayo de sensor y primera línea de tendencia (50-190 mA).

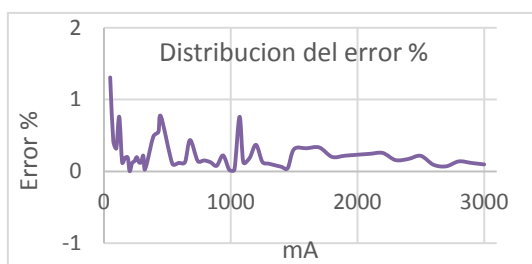


Figura 9. Distribución del error porcentual de linealidad para ensayo del sensor de corriente con 5 curvas de corrección.

La nueva distribución del error de linealidad en el rango de medición se muestra en la figura 9.

Observando la gráfica puede verse que el mayor error por alinealidad es menor a 1,4 % y aparece en la parte más baja de la escala; un nivel mucho menor que en la distribución anterior.

4.1.2 Conclusión

El dispositivo presenta un error de linealidad máximo de 1,4% que se corresponde con un nivel de corriente de entrada de 49,6 mA, la cual es aparte, la mínima corriente que puede distinguir el circuito con un error aceptable. Por esto, es coherente comenzar analizando a esta corriente como la corriente de arranque mínima. Analizando la tabla 4 se puede encontrar el valor de corriente de base para el valor de corriente de arranque determinado anteriormente. El caso más favorable es realizar la correspondencia de las corrientes según lo establecido para un medidor de clase 2. Entonces:

$$I_{b \min} = \frac{I_{a \min}}{0,005} \rightarrow I_{b \min} = \frac{0,05 \text{ A}}{0,005} = 10 \text{ A} \quad (7)$$

Tipo de conexión	Clase del medidor				
	0,2S	0,5S	0,5	1	2
Directa	-	-	-	0,004 Ib	0,005 Ib
Con TI	0,001 In	0,001 In	0,002 In	0,002 In	0,003 In

Tabla 4. Corrientes de arranque para medidores de energía eléctrica de estado sólido. Fuente: Reglamento técnico y metrológico para medidores de energía eléctrica.

Observando la tabla 5 se encuentra que el valor de $I_b = 10 \text{ A}$ esta dentro de los valores normales, por lo que la corriente de base y de arranque mínimas para el circuito del sensor de corriente y su adaptación de señal han sido determinados

Medidores	Valores normales (A)
De conexión directa, (Ib)	5- 10- 15- 20
Alimentados por TI, (In)	1- 1,5- 2,5- 5

Tabla 5. Valores de corriente nominales para medidores de energía eléctrica de estado sólido. Fuente: Reglamento técnico y metrológico para medidores de energía eléctrica.

En lo referido al error, los valores normales se muestran en la tabla 6. Sin olvidar que el error que se considera en la tabla se refiere al error total y no al error de linealidad, si se toma la norma para medidores de conexión directa de clase 2, el error máximo para la corriente de arranque y valores próximos es de 2,5% y para el resto del rango es de 2%. El error de linealidad máximo presente en el dispositivo es de 1,4% en un punto y menor a 0,8% en el resto del rango de medición. El margen para el resto de los errores en la medición es mayor al 1%

Valor de la corriente para medidores	Límites de errores en porcentaje para los medidores de clase	
	1	2
De conexión directa	1	2
$0,05 I_b \leq I < 0,1 I_b$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
$0,1 I_b \leq I \leq I_{m\acute{a}x}$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
$0,1 I_b \leq I < 0,2 I_b$	$\pm 1,5$ $\pm 1,5$	$\pm 2,5$ -
$0,2 I_b \leq I \leq I_{m\acute{a}x}$	$\pm 1,0$ $\pm 1,0$	$\pm 2,0$ $\pm 2,0$

Tabla 6: Límites de errores en % para medidores estáticos de clases 1 y 2. Fuente: Reglamento técnico y metrológico para medidores de energía eléctrica

5. PROTOTIPO

La figura 10 muestra el esquema de conexión del sistema a la red y a la carga. Se incluyen 4 borneras, 2 para la entrada de fase y neutro y 2 para las respectivas salidas. Ambas entradas se conectan aguas arriba de una llave termomagnética que brinda protección a los cortocircuitos y a las sobrecargas además de funcionar como comando.

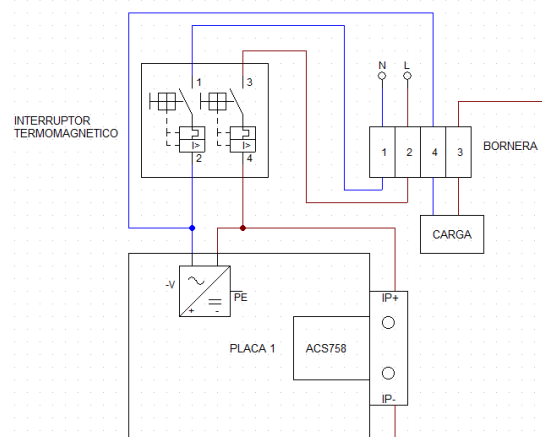


Figura 10. Esquema de conexión del sistema a la red de distribución eléctrica y a la carga.



Figura 71. Fotografía del sistema completo conectado internamente.

Figura 12. Fotografía del sistema con tapa colocada.

6. SOFTWARE PC

El software para PC fue desarrollado en el entorno de programación LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). El instrumento virtual creado consta



de 4 pantallas; la primera corresponde a la configuración del sistema adquisidor de datos del dispositivo y los 3 restantes a los diferentes tipos de forma de onda.



Figura 83. Pantalla para configuración y extracción de datos de datalogger.

6.1 Presentación de la información

Con el fin de obtener un respaldo de la información en un formato más convencional y práctico para su análisis se brinda la opción de exportar el contenido a plantillas Excel con un solo clic. A continuación se muestran algunos ejemplos.

6.1.1 Adquisidor de datos

En la tabla 6 se muestra como la información obtenida en el modo datalogger del dispositivo se organiza automáticamente al generar una planilla de Excel. Los datos están ordenados según la fecha y hora de su obtención. En el ejemplo la frecuencia de muestreo es de 5 segundos/muestra y se realizaron 5 mediciones, utilizando como carga una computadora portátil conectada a su cargador.

N°	POT. ACT. (W)	POT. APA. (VA)	POT. REAC. (Var)	FECHA Y HORA
1	63,77	112,39	92,54	19/11/16 01:37:40
2	62,66	110,77	91,35	19/11/16 01:37:45
3	62,66	111,04	91,67	19/11/16 01:37:50
4	65,33	115,34	95,06	19/11/16 01:37:55
5	62,44	110,24	90,85	19/11/16 01:38:00

Tabla 6. Muestreo de Potencias Activa, Aparente y Reactiva.

En la misma planilla también se generan automáticamente las gráficas de cada uno de los parámetros medidos. En la figura 14, a modo de ejemplo, pueden observarse los niveles de potencia consumidos por la carga en cada una de las muestras obtenidas.

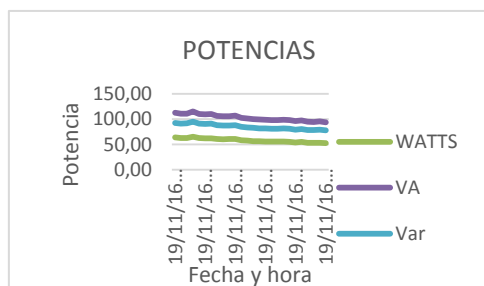


Figura 94. Gráfica de las distintas potencias en el tiempo

6.1.2 Forma de onda

La forma de onda de la corriente es la más interesante para su análisis. En la tabla 7 se muestra la disposición de los datos y de los distintos parámetros más relevantes. Esta información es utilizada para generar las gráficas formas de onda de la corriente y su espectro de frecuencias.

N° ARMÓNICO	NIVEL (AMPS)	FECHA: 26/08/16 HORA: 17:41:49 DURACION (SEGS): 1 FRECUENCIA FUNDAMENTAL: 49,94 HZ DAT%: 1,038 IRMS: 5,13 AMPS IMAX: 7,18 AMPS IMIN: -7,21 AMPS
0	0,000	
1	7,258	
2	0,008	
3	0,023	
4	0,008	

Tabla 7. Disposición de los datos

En las figuras 15 y 16 se muestran fragmentos de las formas de onda de corriente para distintas cargas. En la primera se observa la gráfica correspondiente a una plancha de 1000 W, en la segunda la de una computadora portátil.

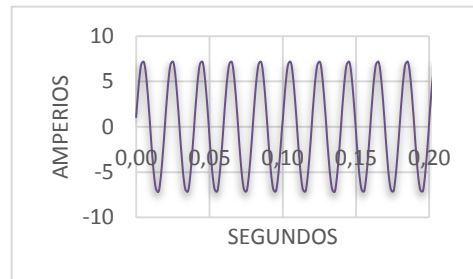


Figura 105. Forma de onda de corriente con una plancha como carga

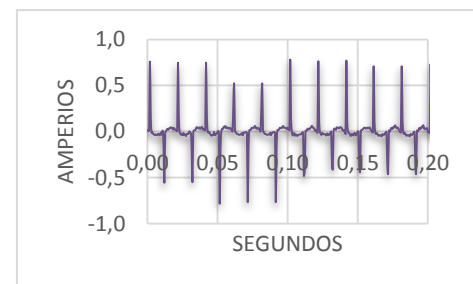


Figura 116. Forma de onda de Corriente con una PC como carga

Observando las formas de onda para las distintas cargas puede observarse como en el caso de una carga casi totalmente resistiva la señal de la corriente tiene una forma senoidal similar a la de la tensión y con una distorsión armónica total apenas superior al 1%. En el caso de una carga con alto nivel de ruido como lo es la computadora y su cargador, la forma de onda presenta deformaciones y grandes picos de corriente impulsiva. Esto se traduce en un nivel de distorsión armónica total del 174%. Cuando las cargas se conectan simultáneamente, la corriente en la plancha prevalece en la composición de la forma de onda debido a que su amplitud es mucho mayor. Igualmente se percibe una cierta deformación en los valores próximos a las corrientes instantáneas máxima y mínima. La distorsión armónica total es del 2,2%, casi el doble que sin la segunda carga conectada.

En las figuras 17 y 18 se ven los espectros de frecuencias para la carga 1 y la carga 2. El análisis de estas gráficas complementa lo analizado anteriormente. En la primera gráfica se observa la predominancia casi absoluta de la frecuencia fundamental con respecto a los distintos armónicos. Esto se condice con el bajo nivel de distorsión armónica total de la carga resistiva.

En el caso de la computadora la influencia de los armónicos en la señal de corriente queda evidenciada por la gran amplitud de los mismos. La influencia de los armónicos impares es mucho mayor que la de los pares, lo que indica que se aproxima a una señal alternada según la teoría de series trigonométricas de Fourier.

$$f(t) = -f(t+T/2)$$

$$f(t) = a_1 \cos(\omega_1 t) + b_1 \text{sen}(\omega_1 t) + a_3 \cos(3\omega_3 t) + b_3 \text{sen}(3\omega_3 t) + \dots$$

(8)

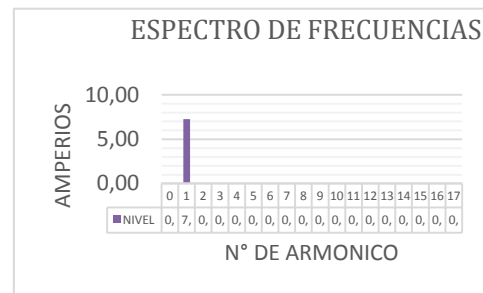


Figura 127. Espectro de frecuencias de la forma de onda de corriente con una plancha como carga

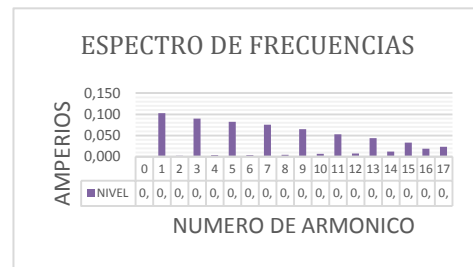


Figura 138. Espectro de frecuencias de la forma de onda de corriente con una PC como carga

7. CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo realizado, expuesto en este artículo científico, se lograron los siguientes resultados:

- Se pudo construir un dispositivo sobre la base de los requisitos eléctricos y de exactitud del reglamento técnico y metrológico para los medidores de energía eléctrica de estado sólido, apto para realizar mediciones en sistemas eléctricos que incluyen instalaciones eléctricas domiciliarias monofásicas conectadas a la red pública.
- Se obtuvo información sobre parámetros relacionados al consumo de energía eléctrica como la corriente RMS, tensión RMS, Potencia Activa, Potencia Aparente, Potencia Reactiva, Factor de Potencia y también la Forma de Onda de la Tensión, la Corriente y la Potencia Activa.
- Se logró almacenar la información obtenida por el tiempo requerido por el usuario en el momento de la configuración del dispositivo.
- Se desarrolló un software que permite la configuración del dispositivo, extraer, presentar y analizar la información almacenada, haciendo

uso de herramientas como hojas de cálculo, gráficas, análisis de espectro de frecuencias, entre otras.

8. REFERENCIAS

- KOON, William. Current sensing for energy metering. USA: Analog Devices, Inc. <http://www.analog.com/UploadedFiles/Technical_Articles/16174506155607IIC_Paper.pdf>
- Jordí Mayné. Sensores, acondicionadores y procesadores de señal. SILICA. <www.jcee.upc.es/JCEE2002/MAYNEPONENCIA.pdf>
- ENGLISH, STEPHEN; SMITH, DAVE. A (2001). Power meter reference design based on the ADE7756. Nota de aplicación AN-564. <http://www.analog.com/Analog_Root/static/pdf/library/applicationNotes/an564.pdf>
- KAPLAN, RACHEL. Frequently asked Questions (FAQs), Analog Devices Energy (ADE) products. [online]. Nota de aplicación AN-639. [2003].

Estudio de remoción de azul de metileno a partir hidrogeles a base de pectina, goma brea y montmorillonita

Slavutsky, Aníbal M¹; Bertuzzi, María A¹.

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. Instituto de Investigaciones para la Industria Química, Consejo Nacional de Investigaciones.*
amslavutsky@gmail.com; bertuzzi@unsa.edu.ar

RESUMEN

El azul de metileno, es un contaminante que puede encontrarse en diferentes efluentes industriales. Uno de los procesos más empleados para la remoción de contaminantes, involucra los procesos de adsorción. Para esto, pueden emplearse hidrogeles, que gracias a su multiplicidad de grupos funcionales, pueden retener cationes y aniones. Además, la incorporación de nanoarcillas como la montmorillonita, mejora estas propiedades. El objetivo del presente trabajo, es estudiar la capacidad de remover azul de metileno por parte de hidrogeles formulados a partir de pectina, goma brea y montmorillonita. Para esto, se estudió la cinética de adsorción y las isotermas de adsorción por parte de los hidrogeles. Los resultados indican que este tipo de materiales son capaces de retener al colorante estudiado. La velocidad de adsorción, responde al modelo cinético de pseudo segundo orden. Los valores experimentales de las isotermas de adsorción, presentan un mejor ajuste frente al modelo de Freundlich. Además, el proceso de adsorción es favorable desde el punto de vista termodinámico.

ABSTRACT

Methylene blue is a pollutant that can be found in different industrial effluents. One of the most used processes for the removal of contaminants involves the adsorption processes. For this, hydrogels can be used, which thanks to their multiplicity of functional groups, can retain cations and anions. Furthermore, the incorporation of nanoclays such as montmorillonite improves these properties. The objective of this work is to study the ability to remove methylene blue by hydrogels formulated from pectin, brea gum and montmorillonite. For this, the adsorption kinetics and adsorption isotherms by hydrogels were studied. The results indicate that these types of materials are capable of retaining the studied dye. The adsorption rate responds to the pseudo second order kinetic model. The experimental values of the adsorption isotherms show a better fit for the Freundlich model. Furthermore, the adsorption process is favorable from the thermodynamic point of view.

Palabras claves: Isotermas de adsorción-Cinética-Remoción colorantes

Keywords: Adsorption isotherms-Kinetics-Dye removal

1. INTRODUCCIÓN

El azul de metileno (AM) es un contaminante común que puede encontrarse en los efluentes industriales de diferentes industrias (farmacéutica, textil y de tinturas). Es un monocatión, clasificado como colorante alcalino, con propiedades redox. Hay diferentes enfermedades que han sido relacionadas con su presencia en el medio ambiente, tales como enfermedades respiratorias, náuseas y vómitos. Además, su presencia en reservas acuíferas,

puede generar una disminución de la penetración de luz solar, provocando daños importantes en la vida acuática (Kausar 2018; Wang 2018). El tratamiento de efluentes puede llevarse adelante a través de diferentes estrategias, por ejemplo, precipitación química, intercambio iónico, proceso de separación con membranas, tratamientos biológicos, adsorción, etc. Los procesos de adsorción, son fenómenos de transferencia de materia, donde una sustancia sólida (adsorbente), puede remover selectivamente un compuesto disuelto de una

solución. La capacidad de adsorción de un adsorbente, depende de varios factores tales como pH, fuerza iónica del medio, temperatura, carga del adsorbente y tiempo de contacto entre el adsorbente y la solución (Pakdel 2018). Los adsorbentes generalmente utilizados incluyen residuos orgánicos o minerales (carbono activado), residuos agrícolas, biomasa (principalmente de algas), materiales poliméricos, entre otros. El uso de hidrogeles para el tratamiento de efluentes ha sido estudiado por varios autores. Estos materiales, son capaces de adsorber una gran cantidad de agua y fluidos biológicos. Generalmente, los hidrogeles pueden formularse a partir de polielectrolitos de carga opuesta. Pueden ser formulados a partir de biopolímeros que pueden presentar carga eléctrica en diferentes condiciones ambientales, tales como grupos amino, carboxilos e hidroxilos. Estos grupos pueden interactuar entre sí a través de fuerzas de Van der Waals, puente hidrogeno, fuerzas de Coulomb e interacciones ácido-base (Luo 2014). Además, diferentes estudios muestran que la incorporación de nanoestructuras, tales como las nanoarcillas, provee a los hidrogeles cambios en sus propiedades, mejora significativamente su capacidad de adsorción, propiedades mecánicas y capacidad de retención de solutos. La montmorillonita (MMT) es una nanoarcilla perteneciente al grupo de las esmécticas, clasificada como un filosilicato 2:1. Estos materiales presentan un espacio interlaminar de 1nm de espesor, con una gran capacidad de intercambio catiónico y área superficial (Ogata 2016). La combinación de hidrogeles con MMT han demostrado una mayor efectividad en la remoción de sustancias tóxicas (Fiol 2006; Xu 2008; Lazaridis 2010; Lezehari 2012; Vieira 2018; Aichour 2019). Recientemente, nuestro grupo de investigación desarrolló un hidrogel, a base de pectina (P) y goma brea (GB), con propiedades apropiadas para ser empleados en la remoción de sustancias tóxicas. Dentro de las propiedades analizadas se destaca la alta capacidad de hinchamiento y retención de agua y sus propiedades mecánicas (Slavutsky 2019). El objetivo de este trabajo es evaluar la cinética de remoción de AM de hidrogeles formulados a base de P/GB/MMT.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Formulación de hidrogeles*

Los hidrogeles se formularon a partir de goma brea (obtenida de acuerdo a lo descrito por Bertuzzi (2012), pectina bajo metoxilo (LM 104-AS, GENUS®) y montmorillonita (Minarco S.A. Intercambio catiónico de 89.8 meq/100g.). Los hidrogeles se obtuvieron de acuerdo con la técnica descrita por Slavutsky (2016 y 2019). Sintéticamente, se preparan soluciones de GB y P ambas al 3%. Se ajusta el pH de la solución de GB a un valor de 2.5, empleando HCl 1N. La MMT se incorporó en la solución de pectina en una concentración del 5% p/p_{polímero}. Luego se procede a mezclar las soluciones en una proporción 1:1 a una temperatura 60°C y se agita vigorosamente. Después se coloca en baño de ultrasonido durante 30 min. Por último se centrifuga a 3000 rpm y se elimina el sobrenadante. Los hidrogeles se mantienen a 5°C durante 24 h. Los xerogeles se obtienen por secado en estufa a 40°C durante 24 h.

2.2 *Microscopía electrónica de barrido (MEB)*

Se estudiaron las características morfológicas de los hidrogeles mediante un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), marca JEOL Modelo JSM 6480 LV, con una capacidad de aceleración de voltaje entre 0,2 a 30 Kv provisto de sensores de electrones secundarios y retrodifundidos de alto y bajo vacío. Las muestras fueron previamente liofilizadas con el objetivo de mantener la microestructura intacta.

2.3 *Estudios de adsorción de AM*

Los estudios de remoción de AM por parte de los hidrogeles P/GB/MMT se realizaron de acuerdo a lo descrito por Peng (2016). Aproximadamente 0.1g de hidrogel se colocaron en un tubo de centrifuga de 50 mL con 20 mL de soluciones de AM de diferentes concentraciones. Las soluciones de AM se prepararon a partir de una solución madre de 1g/L de AM. Las muestras se mantuvieron en agitación constante (100 rpm) durante 24 h, a fin de garantizar que el sistema alcanzara el equilibrio. Finalizado ese tiempo, se tomó una alícuota de la solución y se determinó la concentración de AM. Para esto se realizó previamente una curva patrón de AM. Las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 664 nm. La cantidad de adsorbato retenido en la muestra se determinó

como la capacidad de adsorción (q_e) y se calculó de acuerdo a la ecuación (1):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{W} \times V \quad (1)$$

Donde C_0 , es la concentración inicial del adsorbato; C_e , es la concentración del adsorbato en el tiempo ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); W , es el peso del xerogel (g) y V , es el volumen de la solución (L). La eficiencia de remoción (%R) se calculó de acuerdo a la ecuación (2):

$$\%R = \frac{W_e - W_0}{W_0} \quad (2)$$

Donde W_0 y W_e son el peso inicial y final del contaminante (g) en la solución, cuando se alcanza el equilibrio.

2.4 Estudio de la Cinética de adsorción

Los estudios de cinética de adsorción se realizaron a $\text{pH} = 2.5$ y temperatura de 25°C . Se estudió el efecto de la carga de AM en la solución en un rango de concentraciones de 10-75 ppm. Para esto se tomaron alícuotas a diferentes tiempos y se determinó mediante la absorbancia, la concentración de AM en solución. Se ajustaron los siguientes modelos cinéticos:

Modelo cinético de pseudo primer orden (PPO) (Ecuación 3):

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 \cdot t}) \quad (3)$$

Donde q_t es la adsorción de AM en el tiempo t ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); k_1 ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) es la constante de velocidad de equilibrio de la adsorción de pseudo primer orden.

Modelo cinético de pseudo segundo orden (PSO) (Ecuación 4):

$$q_t = \frac{k_2 \cdot q_e^2 \cdot t}{1 + k_2 \cdot q_e \cdot t} \quad (4)$$

Donde k_2 ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) es la constante de velocidad de equilibrio de la adsorción de pseudo segundo orden.

2.5 Estudio de Isotermas de adsorción

Este estudio se realizó a $\text{pH} = 2.5$ y 25°C . Se estudió el rango de concentraciones de 0-300 ppm de AM. A partir de los datos experimentales se obtuvieron las isotermas de adsorción empleando diferentes modelos:

Modelo de Lagmuir: el modelo asume que la energía de sorción es uniforme sobre la superficie del adsorbente (Ecuación 5).

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (5)$$

Donde q_{max} ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) es la adsorción máxima en la cobertura de monocapa y K_L ($\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$) es la constante de equilibrio de adsorción de Langmuir relacionada con la energía de adsorción.

Modelo de Freundlich: es aplicable a superficies de adsorción heterogéneas con adsorción multicapa (Ecuación 6).

$$q_e = K_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

Donde K_F ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) es la constante de Freundlich que indica la capacidad de adsorción y n es el exponente adimensional de la ecuación de Freundlich.

2.6 Análisis estadístico

Todos los modelos fueron analizados y ajustados empleando el software Graph Pad Prism. Se calculó el desvío estándar de los parámetros y los intervalos de confianza (IC). Para estudiar el ajuste de los modelos (bondad de ajuste) se determinaron el R^2 , la suma de los cuadrados absolutos (SCA) y el desvío estándar de los residuos ($S_{x,y}$) del modelo. Dado que muchos autores indican que solo el empleo del R^2 no es suficiente para discernir que modelo matemático presenta el mejor ajuste estadístico, se calcularon diferentes funciones de error a fin de conocer cuál es el modelo de isoterma o cinética de adsorción que mejor representa los datos experimentales (Foo 2010). Para esto, se empleó la función de error de chi-cuadrado (χ^2) y el modelo AIC desarrollado por Akaike (Akaike, 1974).

3 RESULTADOS

3.1 Microestructura de los hidrogeles

En la Fig. 1. se observa la microestructura de los hidrogeles obtenidos. La estructura porosa se obtiene por el desplazamiento de las moléculas de agua durante el liofilizado. Las imágenes indican que la interacción entre GB, pectina y MMT permiten formar una red tridimensional con un tamaño de poro regular, característico de este tipo de estructuras. La matriz porosa puede actuar como canales para el agua, por lo que el hidrogel puede absorber grandes cantidades de agua, lo que conduce a una gran proporción de hinchamiento. El tamaño de los poros se puede relacionar con las propiedades de transporte de materia desde y hacia el hidrogel, lo que está relacionado con sus propiedades para actuar como agente de liberación y adsorción de sustancias de interés. Los hidrogeles exhiben una porosidad variable y una estructura de celda cerrada con dimensiones en el rango de 0.01–0.1 μm . Estos hidrogeles superporosos, se conectan para formar un sistema de canales abiertos, que facilitan la transferencia de materia con el medio líquido que lo rodea.

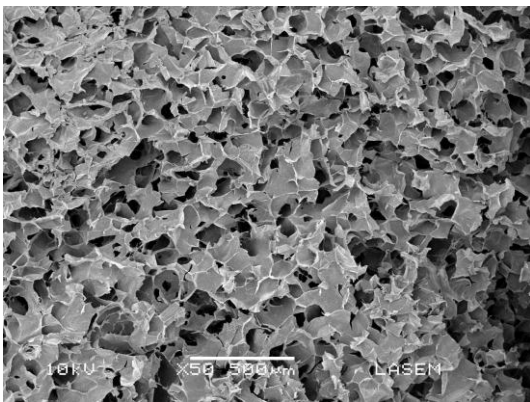


Figura 1. Microestructura de hidrogeles obtenidos por SEM

3.2 Cinética de adsorción

La adsorción del adsorbato depende tanto de la adsorción real del adsorbato en los sitios del adsorbente, definida por las correspondientes constantes cinéticas y de equilibrio, como de su transferencia de masa hacia estos sitios, caracterizada por el correspondiente coeficiente de difusión. Los estudios cinéticos de adsorción en sistemas líquido/sólido a menudo se llevan a cabo en condiciones en lote en los que la concentración transitoria de adsorbato en la solución se ajusta mediante un modelo cinético

adecuado. El estudio de la cinética de adsorción es importante porque a partir de diferentes modelos, puede conocerse la carga y los mecanismos involucrados en este fenómeno, que es uno de los criterios para determinar la eficiencia del adsorbente. La comprensión de la cinética está limitada en gran medida por la complejidad teórica de los mecanismos de adsorción. Se han desarrollado muchos modelos de variada complejidad para predecir la tasa de adsorción del adsorbente en el adsorbato. Para esto es necesario lograr un buen ajuste de los datos experimentales a los diferentes modelos. En la Tabla 1 se observan los resultados de los parámetros estadísticos obtenidos para los diferentes ensayos realizados. Un análisis preliminar de los parámetros obtenidos para ambos modelos permite indicar que los mismos presentan un buen ajuste, ambos modelos son aceptados desde el punto de vista estadístico (desvío estándar e IC). Respecto al R^2 , SCA y el Sy,x , son similares en todos los casos, por lo que no es posible discernir respecto a cuál de los dos modelos presenta mejor ajuste. Con el fin de comparar los dos modelos y estudiar cual presenta el mejor ajuste, se realizó el cálculo computacional AIC. Los valores obtenidos, se encuentran resumidos en la Tabla 2. Los resultados indican que en todos los casos el modelo que mejor ajusta es el modelo cinético de pseudo segundo orden. Respecto a los resultados obtenidos de los parámetros calculados a partir de ambos modelos, se observa que la cantidad de AM adsorbido por el hidrogel en el equilibrio (q_{max}), se incrementa con el contenido de AM en solución. Esta puede atribuirse a los sitios activos altamente disponibles cuando hay menor cantidad de moléculas de colorante en solución. La capacidad de adsorción superior a una concentración inicial alta se debe a la generación de fuerzas impulsoras significativas causadas por el gradiente de concentración (Benhouria 2015). En la Fig. 2, se observa el efecto de la concentración de AM en solución en la cinética de adsorción de los hidrogeles y la curva obtenida a partir del modelo de pseudo segundo orden.

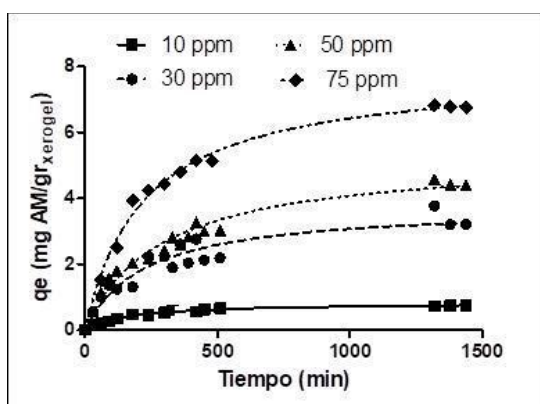


Figura 2. Punto experimentales y modelo de PSO de la cinética de adsorción de los hidrogeles en función de la concentración de AM

Se puede observar, que a medida que aumenta la concentración de AM en la solución, incrementa la cantidad de AM adsorbido. A su vez, la velocidad de adsorción aumenta a medida que aumenta la concentración de AM en solución (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros cinéticos y estadísticos obtenidos para los modelos cinéticos de PPO y PSO

Modelo	10 ppm		30 ppm		50 ppm		75 ppm	
	PPO	PSO	PPO	PSO	PPO	PSO	PPO	PSO
q_e	0.7247	0.8353	3.234	3.774	4.406	5.205	6.706	7.865
k	0.00483	0.007103	0.003642	0.001157	0.00307	0.0007264	0.003821	0.0005694
Desvío estándar								
q_e	0.01466	0.01839	0.2042	0.2999	0.1516	0.2826	0.2335	0.3627
k	0.000295	0.000665	0.000623	0.000362 4	0.000271	0.000165 6	0.000364	0.0001054
Intervalo de confianza 95%								
q_e	0.6942 to 0.7552	0.7970 to 0.8735	2.809 to 3.659	3.150 to 4.397	4.090 to 4.721	4.617 to 5.793	6.232 to 7.181	7.128 to 8.603
k	0.004215 to 0.005445	0.00571 to 0.00848	0.00234 to 0.00493	0.000403 to 0.001911	0.002504 to 0.003635	0.000382 to 0.001071	0.003081 to 0.004562	0.0003551 to 0.0007837
Bondad de ajuste								
DF	34	34	34	34	34	34	34	34
R^2	0.9810	0.9866	0.8537	0.8730	0.9578	0.9417	0.9022	0.9108
SCA	0.02578	0.01820	4.109	3.567	1.950	1.127	15.96	14.55
$Sy.x$	0.03504	0.02944	0.4423	0.4121	0.3047	0.2317	0.6852	0.6541

Las ecuaciones de PPO y PSO se basan en el supuesto de que la tasa de adsorción es una función directamente proporcional (PPO) o cuadrática (PSO) de la diferencia entre las capacidades de adsorción en equilibrio y en el tiempo t . Los parámetros cinéticos k_1 y k_2 son factores de escala de tiempo que indican qué tan rápido se podría alcanzar el equilibrio. Las condiciones experimentales, incluida la dosis de adsorbente, la concentración inicial de soluto, el pH, la temperatura, la velocidad de agitación y el tamaño de partículas, podrían afectar los valores de k_1 y k_2 . En consecuencia, tales parámetros

agrupados incorporan muchos procesos físicos y características operativas que son simplemente constantes empíricas, ya que no pueden relacionarse con los mecanismos subyacentes. Azizian (2004) propuso interpretaciones teóricas de las ecuaciones de PPO y PSO basadas en el modelo cinético de Langmuir y señaló que k_1 es una combinación de constantes de velocidad de adsorción (k_a) y desorción (k_d) ($k_1 = k_a.C_0 + k_d$) mientras que k_2 es una función compleja de la concentración inicial de soluto. La conclusión de este trabajo es que las constantes k_1 y k_2 son las constantes de velocidad observadas del fenómeno de adsorción general, en lugar de las constantes

de velocidad intrínsecas. En este contexto, un buen ajuste de cualquiera de las dos leyes de velocidad k_1 o k_2 no asegura que la cinética esté realmente controlada por el paso de adsorción en sí. De hecho, muchos estudios que informaron que la cinética de pseudo-segundo orden se ajustaba bien a sus datos no concluyeron que el paso de adsorción realmente controlara el proceso. En algunos casos, se observó que los resultados se describen satisfactoriamente por esta ley de velocidad y, al mismo tiempo, se encontró que la difusión contribuía significativamente. En otros casos, se ha propuesto la difusión como el proceso de control de la velocidad (Moussout 2018; Ezzati 2019). En este trabajo, se observa que el modelo PSO describe con un buen ajuste los datos obtenidos. Es interesante notar que a medida que aumento la concentración de AM en solución, la adsorción exhibió un rápido aumento inicial seguido de una estabilización. Esto puede estar relacionado al fácil acceso del AM a los sitios de adsorción (tiempos cortos) y a una posible relajación del material con el tiempo que habilita lentamente nuevos sitios (tiempos largos).

3.3 Isoterma de adsorción

En general, una isoterma de adsorción es una curva que describe la situación de equilibrio entre la retención y liberación o movilidad de una sustancia desde un medio acuoso o ambiente acuático a una fase sólida a temperatura y pH constantes. El equilibrio de adsorción (la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida y el restante en la solución) se establece cuando una fase que contiene adsorbato ha estado en contacto con el adsorbente durante un tiempo suficiente para establecer el equilibrio. Normalmente, la correlación matemática, el diseño operativo y la práctica aplicable de los sistemas de adsorción, suelen representarse gráficamente expresando la concentración del adsorbente en la fase sólida frente a su concentración residual en fase líquida. Sus parámetros fisicoquímicos, junto con los supuestos termodinámicos subyacentes, proporcionan una idea del mecanismo de adsorción, las propiedades de la superficie y el grado de afinidad de los adsorbentes (Allen 2004; Limousin 2007).

Tabla 2. Tabla de valores obtenidos por aplicación del modelo AIC

Comparación entre modelos	10 ppm	30 ppm	50 ppm	75 ppm
Modelo más simple	PPO	PPO	PPO	PPO
Probabilidad de que se correcto	1.79%	16.41%	0.18%	15.82%
Modelo alternativo	PSO	PSO	PSO	PSO
Probabilidad de que se correcto	98.21%	83.59%	99.82%	84.18%
Relación de probabilidades	54.86	5.09	546.67	5.32
Modelo preferido	PSO	PSO	PSO	PSO
Diferencia AICc	8.010	3.255	12.61	3.343

En la Fig. 3 se observan los datos experimentales y las curvas obtenidas a partir de los modelos de Langmuir y Freundlich. En la Tabla 4, se observan los resultados de los parámetros empleados para ajustar los datos experimentales obtenidos. Como se observa, de acuerdo los estadísticos de prueba ambos modelos ajustan bien a los datos experimentales, no obstante, al comparar ambos modelos el modelo de Freundlich presenta una mayor bondad de ajuste ($\chi^2_{\text{Freundlich}} < \chi^2_{\text{Langmuir}}$).

Desde el punto de vista del modelo teórico, el efecto de la constante de Langmuir K_L sobre la forma de la curva de isoterma se relaciona con la cobertura de la superficie (q_e/q_{max}). Esta relación con el aumento de K_L en cada punto de C_e , sugiere que K_L puede representar la afinidad de los sitios de adsorción. Las curvas de las

isotermas de Langmuir pueden aproximarse gradualmente a líneas rectas cuando se reduce el valor de K_L . La isoterma de Langmuir puede reducirse a una ecuación lineal cuando el término $K_L \cdot C_e$ se desprecia a baja concentración, lo que indica que el proceso de adsorción sigue la ley de Henry a baja concentración (Tan 2017). De esta manera, se deduce que la isoterma de Langmuir permite predecir la capacidad máxima de adsorción de monocapa a alta concentración (q_{max}). El modelo de Langmuir predice una q_{max} en el equilibrio de $19.11 \text{ mg}_{\text{AM}}/\text{gr}_{\text{xerogel}}$. El % de remoción en el equilibrio, es del 93% de AM. A su vez, de acuerdo con Hall y col., 1966, es posible determinar si la adsorción de una sustancia es termodinámicamente favorable a partir de una expresión a partir de un factor de

separación adimensional, denominado R_L (Ecuación 7):

$$R_F = \frac{1}{1 + K_L \cdot C_0} \quad (7)$$

Cuando R_F es mayor que 1, el proceso no es favorable; cuando es igual a 1, la isoterma es lineal y cuando es menor que 1, el proceso es favorable. Empleando los valores de los parámetros obtenidos, el valor de R_L a lo largo de la isoterma es menor que 1, lo que indica que el proceso es termodinámicamente favorable.

Por otro lado, a diferencia del modelo de Lagmuir, la isoterma de Freundlich como modelo empírico tiene una forma matemática extremadamente simple. Es obvio que la Ecuación (6) se puede derivar de una función de potencia ($y = x^\alpha$) donde y se convierte en q_e mediante la multiplicación de y por K_F donde $\alpha = 1/n$. Por tanto, la isoterma de Freundlich sigue una función de potencia de naturaleza matemática. Dado que una función de potencia es una función creciente, la curva de isoterma no alcanza una meseta a medida que aumenta la concentración de soluto. A menudo, este modelo, se critica por carecer de una base termodinámica porque no se reduce a la ley de Henry a baja concentración. Como resultado, la isoterma de Freundlich no describe el comportamiento de saturación de un adsorbente.

Además, el efecto de la constante n afecta la forma de las curvas de isoterma. La forma de las curvas de isoterma es convexa ($n > 1$) (sesgada hacia el eje vertical), lineal ($n = 1$) o cóncavo ($n < 1$) (sesgado hacia el eje horizontal). Estos comportamientos corresponden a adsorción favorable, lineal y desfavorable, respectivamente. Por tanto, el parámetro de n refleja una medida de la intensidad de adsorción o la heterogeneidad de la superficie y la superficie adsorbente se vuelve más heterogénea cuando el valor de $1/n$ se acerca a cero. Cabe destacar que no es posible obtener valores de $n > 10$ (Hu 2018; Guo 2019).

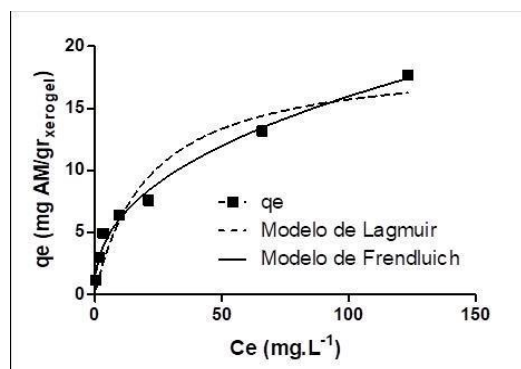


Figura 2. Puntos experimentales y modelos de isoterma de sorción obtenidos a partir de los modelos de Lagmuir y Freundlich.

Por esta razón, el valor de n que se encuentra en el rango de 1 a 10 confirma la condición favorable para la adsorción. Además, la constante de Freundlich K_F indica la capacidad de adsorción y podría definirse como el coeficiente de adsorción o distribución para una concentración de equilibrio unitario. Por lo tanto, un mayor valor de K_F representa una mayor capacidad de adsorción (Tabla 4). Los parámetros del modelo, indican que la adsorción corresponde a una superficie heterogénea y el fenómeno de adsorción resulta espontánea. Estos resultados indican que los hidrogeles formulados a base de P/GB/MMT presentan buenas características para ser empleados en la remoción de azul de metileno en las condiciones estudiadas.

4 CONCLUSIONES

Se estudió la capacidad de adsorción de azul de metileno por parte de hidrogeles formulados a partir de goma brea, pectina y MMT. El estudio de la microestructura, indica que el hidrogel obtenido presenta una estructura tridimensional porosa, lo que favorece los fenómenos de transferencia de materia. Los resultados indican que en las condiciones estudiadas el modelo cinético de pseudo segundo orden es el que mejor explica los resultados obtenidos. A su vez, el estudio de las isoterma de adsorción muestra que la adsorción responde al modelo de Freundlich. La misma, se da de forma espontánea y la adsorción ocurre de forma heterogénea. Los resultados del presente estudio, indican que la adsorción de AM por parte de los hidrogeles formulados a partir de pectina, goma brea y MMT, es favorable termodinámicamente, por lo

que es posible su aplicación en la remoción de este tipo de contaminantes.

Tabla 3. Parámetros obtenidos y análisis estadístico obtenidos a partir de los modelos de isotermas de Lagmuir y Freundlich.

	Lagmuir		Freundlich
Parámetros del modelo			
q_{\max}	19.11	K_f	2.362
K_L	0.04636	n	2.409
Desvío estándar			
q_{\max}	1,346	K_f	0,1479
K_L	0.009967	n	0.08586
Intervalo de confianza 95%			
q_{\max}	16.30 to 21.93	K_f	2.053 to 2.672
	0.02550 to		
K_L	0.06722	n	2.229 to 2.589
Bondad de ajuste			
DF	19		19
R^2	0.9208		0.9864
SCA	48.68		8.337
$Sy.x$	1.601		0.6624
χ^2	8.450703765		3.011593223

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo, agradecen el financiamiento otorgado por el Consejo de Investigación de la UNSa (Proyecto N° 2617).

6 REFERENCIAS

- Aichour, A., Zaghoulane-boudiaf, H., Binti, F., Zuki, M. Journal of Environmental Chemical Engineering Low-cost, biodegradable and highly effective adsorbents for batch and column fixed bed adsorption processes of methylene blue, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 103409, 2019.
- Akaike, H. A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, 716-723, 1974.
- Allen, S. J., Mckay, G., Porter, J. F. Adsorption isotherm models for basic dye adsorption by peat in single and binary component systems, *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 322–333, 2004.
- Azizian, S., Kinetic models of sorption: a theoretical analysis, *Journal Colloid Interface Science*, 276, 47–52, 2004.
- Benhouria, A., Islam, M. A., Zaghoulane-Boudiaf, H., Boutahala, M., Hameed, B. H. Calcium alginate-bentonite-activated carbon composite beads as highly effective adsorbent for methylene blue, *Chemical Engineering Journal*, 270, 621–630, 2015.
- Bertuzzi, M. A., Slavutsky, A. M., Armada, M. Physicochemical characterisation of the hydrocolloid from Brea tree (*Cercidium praecox*), *International Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 2012.
- Ezzati, R. Derivation of Pseudo-First-Order , Pseudo-Second-Order and Modified Pseudo-First-Order Rate Equations from Langmuir and Freundlich isotherms for adsorption, *Chemical Engineering Journal*, 123704, 2019.
- Fiol, N., Escudero, C., Poch, J., Villaescusa, I. Preliminary studies on Cr (VI) removal from aqueous solution using grape stalk wastes encapsulated in calcium alginate beads in a packed bed up-flow column, *Reactive & Functional Polymers*, 66, 795–807, 2006.
- Foo, K. Y., Hameed, B. H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10, 2010.
- Guo, X., Wang, J. A general kinetic model for adsorption: Theoretical analysis and modelling, *Journal of Molecular Liquids*, 288, 110-111, 2019.
- Hu, Q., Wang, Q., Feng, C., Zhang, Z., Lei, Z., Shimizu, K. Insights into mathematical characteristics of adsorption models and physical meaning of corresponding parameters, *Journal of Molecular Liquids*, 254, 20–25, 2018.
- Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., Aftab, K., Nazli, Z., Nawaz, H., Nouren, S. Dyes adsorption using clay and modified clay: A review, *Journal of Molecular Liquids*, 256, 395–407, 2018.
- Lazaridis, N. K., Keenan, H. Chitosan beads as barriers to the transport of azo dye in soil column, *International Journal of Biological Macromolecules*, 173, 144–150, 2010.
- Lezehari, M., Baudu, M., Bouras, O., Basly, J. Science Fixed-bed column studies of pentachlorophenol removal by use of alginate-

- encapsulated pillared clay microbeads, *Journal of Colloid and Interface*, 379, 101–106, 2012.
- Limousin, G., Gaudet, J. P., Charlet, L., Sznknect, S., Barthès, V., Krimissad, M., Sorption isotherms: a review on physical bases, modeling and measurement, *Applicate Geochemistry*, 22, 249–275, 2007.
- Luo, Y., Wang, Q. Recent development of chitosan-based polyelectrolyte complexes with natural polysaccharides for drug delivery, *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 353–367, 2014.
- Moussout, H., Ahlafi, H., Aazza, M., Maghat, H. Critical of linear and nonlinear equations of pseudo-first order and pseudo-second order kinetic models, *Karbala International Journal of Modern Science*, 4(2), 244–254, 2018.
- Ogata, F., Ueta, E., Kawasaki, N. Adsorption capability of ionic dyes onto pristine and calcined activated clay, e-J, *Surface Science. Nanotechnology*, 14, 209–215, 2016.
- Pakdel, P. M., Peighamardoust, S. J. Review on recent progress in chitosan-based hydrogels for wastewater treatment application, *Carbohydrate Polymers*, 201, 264–279, 2018.
- Peng, N., Hu, D., Zeng, J., Li, Y., Liang, L., Chang, C. Superabsorbent Cellulose-Clay Nanocomposite Hydrogels for Highly Efficient Removal of Dye in Water, *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(12), 7217–7224, 2016.
- Plazinski, W. Applicability of the film-diffusion model for description of the adsorption kinetics at the solid/solution interfaces, *Applied Surface Science*, 256(17), 5157–5163, 2010.
- Slavutsky AM, Bertuzzi MA. (2016) Obtención de hidrogeles a partir de pectina, goma brea y montmorillonita. *The J. of the Argentine Chem. Soc.*, 103(1-2), 2016.
- Slavutsky, A. M., Bertuzzi, M. A. Formulation and characterization of hydrogel based on pectin and brea gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123, 784-791, 2019.
- Tan, K. L., Hameed, B. H. Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 74, 25–48, 2017.
- Vieira, M. L. G., Martinez, M. S., Santos, G. B., Dotto, G. L., Pinto, L. A. A. Azo dyes adsorption in fixed bed column packed with different deacetylation degrees chitosan coated glass beads, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 3233–3241, 2018.
- Wang, W., Zhao, Y., Bai, H., Zhang, T., Ibarra-Galvan, V., Song, S. Methylene blue removal from water using the hydrogel beads of poly(vinyl alcohol)-sodium alginate-chitosan-montmorillonite, *Carbohydrate Polymers*, 198, 518–528, 2018.
- Xu, D., Hein, S., Loo, S. L., Wang, K. The Fixed-Bed Study of Dye Removal on Chitosan Beads at High pH, *Industrial Engineering Chemical Research*, 8796–8800, 2008.

Electrodeposición de Polianilina sobre mantas de acero inoxidable recubiertas con Policaprolactona y nanotubos de carbono para la fabricación de sustratos conductores

Socci, María C.^{1,2}; Rodríguez María G.^{1,2}, Sánchez María A.^{1,2}, Juárez, Jerónimo A.², Felice, Carmelo J.^{1,2}, Rodríguez, Andrea P.^{1,2}

(1) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

cecisocci85@gmail.com

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

cecisocci85@gmail.com

RESUMEN

La Ingeniería de Tejidos (IT) es una rama de la medicina regenerativa con potencial para crear sustitutos de órganos y tejidos que han sufrido daños. Los andamios de bioingeniería son estructuras porosas tridimensionales capaces de modular una respuesta celular. Específicamente en la reparación de tejido nervioso, la policaprolactona (PCL) y la polianilina (PANI), son polímeros atractivos para el diseño de *scaffolds* neurales. A su vez, la utilización de nanotubos de carbono (NTC), mejora las propiedades mecánicas y conductoras de los polímeros cuando forman *composites*. En este trabajo, se diseñaron y depositaron nanomembranas de PCL/NTC sobre de telas conductoras de acero inoxidable por la técnica de *electrospinning*. A su vez, se llevó a cabo la electrodeposición de PANI y PANI-NTC sobre las membranas utilizando la técnica galvanostática (TG). Las mantas obtenidas fueron caracterizadas por espectroscopia de impedancia y microscopía electrónica de barrido (SEM). Como conclusión, se logró optimizar el protocolo de electrodeposición de PANI y PANI-NTC mediante TG y se observó que la conductividad de las membranas aumentó luego de la deposición de PANI-NTC. En este trabajo se lograron fabricar sustratos conductores a partir de materiales biocompatibles, con potencial para aplicación en Ingeniería de tejido nervioso.

Palabras claves: ingeniería de tejidos - *electrospinning* - electropolimerización - polímeros.

ABSTRACT

Tissue Engineering (TE) is a branch of regenerative medicine with the potential to create substitutes for organs and tissues that have suffered damage. Bioengineered scaffolds are three-dimensional porous structures capable of modulating a cellular response. Specifically in nerve tissue repair, polycaprolactone (PCL) and polyaniline (PANI) are attractive polymers for the design of neural scaffolds. In turn, the use of carbon nanotubes (CNT) improves the mechanical and conductive properties of polymers when they form composites. In this work, PCL / CNT nanomembranes were designed and deposited on conductive stainless steel by electrospinning technique. In addition, the electrodeposition of PANI and PANI-CNT was carried out on the membranes using the galvanostatic technique (GT). The blankets obtained were characterized by impedance spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). In conclusion, it was possible to optimize the electrodeposition protocol for PANI and PANI-CNT by GT and it was observed that the conductivity of the membranes increased after the deposition of PANI-CNT. In this work, conductive substrates were manufactured from biocompatible materials, with potential for application in nervous IT.

Keywords: Tissue engineering - electrospinning - electropolimerization - polymers

1. INTRODUCCIÓN

La expectativa de vida se ha cuadruplicado en los últimos tres siglos y como consecuencia han surgido situaciones que las terapias actuales no pueden resolver como es el caso de las fallas en órganos o el reemplazo de tejidos. La Ingeniería de tejidos parte como una rama de la medicina regenerativa, combina principios de ingeniería y ciencias biológicas para crear sustitutos funcionales del tejido nativo y facilitar el mantenimiento, reparación y restauración en el tejido dañado (Ranjan 2020), (Kim 2011). Para restaurar, mantener o mejorar la función de un órgano o tejido, la IT se basa en tres pilares fundamentales que se muestran en la figura 1.

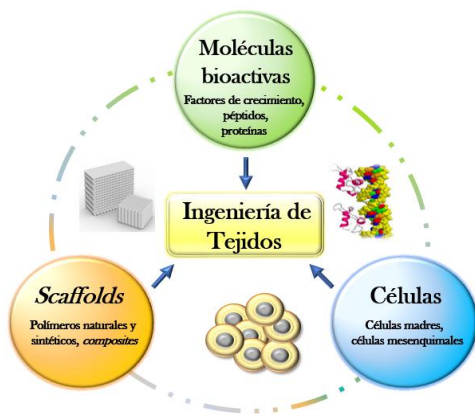


Figura 1. Pilares de la Ingeniería de tejidos. Esquema adaptado de Caballero Aguilar (2019).

El sistema nervioso es el más complejo del cuerpo humano. Cuando ocurre un daño en el mismo se ven afectadas las funciones motoras y sensoriales. Las lesiones del sistema nervioso central conformado por cerebro y médula espinal, generalmente conducen a una discapacidad permanente ya que la regeneración espontánea del tejido está limitada y esto conlleva a problemas socioeconómicos considerables (Zaszczynska 2020). Existen numerosos enfoques y tratamientos pero por el momento muy pocos resultan en una recuperación o resolución total (Madhusudanan 2020). En este sentido los scaffolds de IT parecen prometedores para la regeneración y recuperación de funcionalidad de los nervios lesionados (Ghorbani 2020). Los andamios de bioingeniería presentan

características atractivas: imitan la matriz extracelular del tejido, son biodegradables y biocompatibles, brindan soporte mecánico frente a los esfuerzos que ocurren en el tejido circundante, pueden responder a estímulos eléctricos si se los combina con materiales electroactivos para promover y restaurar la capacidad de conducir impulsos nerviosos en tractos neurales dañados (Deb 2018). Los polímeros naturales y sintéticos son los biomateriales más utilizados para el diseño y fabricación de matrices de aplicación biomédica (Moreno 2016). En este caso, la combinación de la PCL, un poliéster sintético alifático, con PANI, un polímero conductor, y NTC, utilizados como relleno, han demostrado ser una opción atractiva que mejora las propiedades mecánicas y conductoras de scaffolds con potencial aplicación en IT Nervioso (Molinari 2018). Entre algunas de las aplicaciones de los NTC descritas en la bibliografía, podemos mencionar: desarrollo de biosensores, transportadores de fármacos y agentes bioactivos y como rellenos en matrices poliméricas para proporcionar refuerzo estructural e impartir nuevas propiedades, como ser conductividad eléctrica, o guías del crecimiento celular (Ghasemi-Mobarakeh, L. 2011).

La técnica de *electrospinning* es un método simple, versátil y económico ideal para la síntesis de estructuras biomiméticas ya que pueden obtener nanofibras con dimensiones que imitan el entorno de la matriz extracelular (Chew 2016).

Por otro lado, para la síntesis de diferentes polímeros se pueden emplear técnicas electroquímicas, las más comúnmente empleadas son: de corriente constante o galvanostático (TG), de potencial constante o potencioestático (TP) y el potencial de barrido o voltametría cíclica (VC) (Song 2013) La electropolimerización de PANI es una técnica sencilla que permite el depósito de películas poliméricas “limpias” y con buena adherencia al sustrato (Sanchis Bermúdez, C. 2012).

El objetivo de este trabajo es obtener sustratos conductores a partir de materiales biocompatibles. Para ello se fabricaron nanomembranas fibrilares compuestas por PCL-NTC mediante la técnica de *electrospinning*. Las mismas fueron depositadas sobre telas conductoras de acero inoxidable para ser utilizadas como sustrato para la electropolimerización de PANI y PANI-NTC

sobre su superficie. La combinación de estos materiales tiene potencial para aplicaciones biológicas ya que pueden evaluarse sus capacidades para modular una respuesta celular como adhesión y proliferación y, por sus características bioeléctricas, se convierten en sustratos prometedores para la estimulación y regeneración de células nerviosas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se utilizaron cortes cuadrados de 3 cm de lado de tela de acero inoxidable AISI 316 p^o500, PCL (PM 80000, Sigma-Aldrich), NTC (Nanocyl 7000), Cloroformo (CHL) y dimetilformamida (DMF) (Sintorgan, Argentina), HCl al 37% y Anilina (Anedra) doblemente destilada antes de su uso.

2.2 Limpieza de telas de acero

Las telas de acero inoxidable pasaron por diferentes etapas de lavado para eliminar impurezas. El orden de soluciones empleadas fue: 1) Agua destilada a una temperatura de 80-90°C, 2) Ácido acético 1% en agua destilada 3) Agua destilada a 80-90°C, 4) Acetona 5) Alcohol isopropílico absoluto o alcohol etílico absoluto 6) Agua destilada. Cada lavado se llevó a cabo en un ultrasonificador de baño marca Cole-Parmer modelo 08849-02 durante 10 min.

2.3 Preparación de soluciones para electrospinning

Se preparó una dispersión de NTC al 0,7% en Dimetilformamida siguiendo el protocolo utilizado por Molinari (2018). La solución de PCL/NTC fue preparada disolviendo 4,4 g de PCL en 20 g de la dispersión de NTC y se mantuvo en agitación magnética durante 4 h. La concentración final de PCL fue del 18 %. p/v.

2.4 Procedimiento de electrospinning

Se llevó a cabo utilizando un equipo de *electrospinning* básico perteneciente al Instituto LAMEIN fabricado por el Ig. Luis Masino. Las nanofibras PCL/NTC fueron depositadas sobre un colector metálico plano para obtener fibras con disposición al azar. A su vez, sobre el colector se colocó papel de aluminio y los recortes de tela de acero inoxidable. La distancia entre el colector y

la punta de la aguja fue de 15 cm, el flujo de trabajo 1ml/h, el voltaje utilizado fue 12 kV. La deposición de las nanofibras PCL-NTC sobre las telas de acero se realizó durante 1 min y el ensayo fue llevado a cabo a temperatura ambiente.

2.5 Preparación de solución Buffer para caracterización por Espectroscopia de Impedancia

Para la caracterización de las muestras (pre y post electropolimerización), se utilizó una solución buffer 0,1 M (9 g de NaCl, 0,8 g de fosfato sódico dibásico y 0,14 g de fosfato potásico monobásico para 1 L de agua destilada).

2.6 Preparación de soluciones para electrodeposición de PANI y PANI-NTC

Para llevar a cabo los ensayos galvanostáticos, se prepararon 3 soluciones de anilina (ANI). Solución A: ANI 0,1 M en HCl 1M; Solución B: ANI 0,1 M con 0,1 % de NTC oxidados en HCl 1M.; Solución C: ANI 0,1 M con 0,1 % de NTC oxidados en HCl 1M con tratamiento de sonicación previa de 15 min.

2.7 Técnicas electroquímicas: deposición de PANI por TG

Todos los ensayos fueron llevados a cabo utilizando el equipo Solartron 12508W constituido por un Analizador de Respuesta en Frecuencia (Solartron 1250) y un Analizador de Interfase Electroquímica (Solartron SI1287) del LAMEIN, en una celda electroquímica tripolar (figura 2).

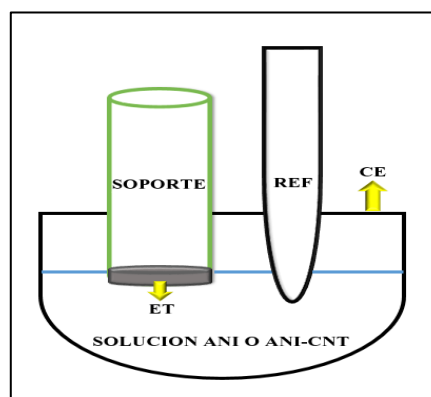


Figura 2. Esquema de celda electroquímica tripolar utilizada. ET: electrodo de trabajo (tela de acero con PCL-NTC). REF: electrodo de referencia, CE: contraelectrodo.

2.8 Electrodeposición de PANI y PANI-NTC por Técnica Galvanostática

Para llevar a cabo los ensayos por TG, las muestras se organizaron en seis grupos experimentales (Tabla 1). Se emplearon como electrodos de trabajo los recortes de tela de acero (sustrato I) y tela de acero recubiertos con PCL/NTC (sustrato II) y se utilizaron las 3 soluciones de anilina descritas con anterioridad. Para seleccionar las condiciones de trabajo, se llevaron a cabo ensayos de electrodeposición de PANI en telas de acero sin nanomembranas, a diferentes intensidades de corriente (I) y tiempos para determinar el valor óptimo de trabajo.

Tabla 1. Grupos experimentales para aplicación de TG

GRUPO	SUSTRATO	SOLUCION
1	Tela de acero (I)	A
2	Tela de acero (I)	B
3	Tela de acero (I)	C
4	Tela de acero recubierta con PCL/NTC (II)	A
5	Tela de acero recubierta con PCL/NTC (II)	B
6	Tela de acero recubierta con PCL/NTC (II)	C

2.9 Caracterización por Espectroscopia de Impedancia

Se llevó a cabo la medición del módulo de impedancia (Z) antes y después de la electrodeposición de PANI y PANI-NTC utilizando el buffer 0,1 M descrito con anterioridad. Para estos ensayos se utilizó el diagrama de bode

2.10 Caracterización por Microscopía electrónica de barrido

Las muestras se recubrieron previamente con oro por pulverización catódica (JEOL JFC-1200, Japón) y posteriormente fueron visualizadas con un microscopio Zeiss Supra 55VP (Carl Zeiss GmbH, Alemania) en el CIME, Centro Integral de Microscopía Electrónica (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Universidad Nacional de Tucumán).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Procedimiento de electrospinning

Se realizó exitosamente el depósito de solución de PCL/NTC durante 1 min sobre los recortes de tela de acero inoxidable por la técnica de *electrospinning*. En la figura 3b se puede observar el recubrimiento homogéneo de las telas con las nanofibras de PCL/NTC. Las mismas servirán como electrodos de trabajo para llevar a cabo el depósito de PANI y PANI-NTC.

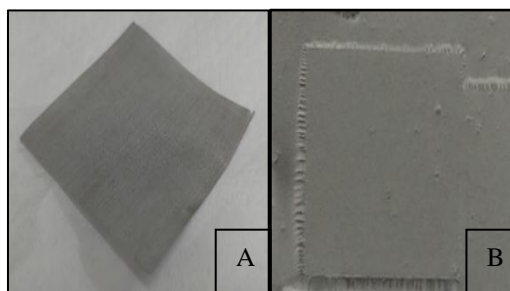


Figura 3. Tela de acero inoxidable sin recubrimiento (3 A) y telas recubiertas con PCL/NTC (3 B).

3.2 Técnicas electroquímicas: deposición de PANI por Técnica Galvanostática

Para la optimización de la técnica, se realizaron los ensayos de electrodeposición de PANI sobre las telas de acero inoxidable variando la corriente y el tiempo hasta encontrar un valor óptimo. Para este ensayo de TG se seleccionó un valor intermedio entre 10 [mA] y 38 [mA] ya que a 10 [mA] el depósito de PANI no fue apreciable y a 38 [mA] la tela sufría daños. Es por eso que los parámetros elegidos para este ensayo fueron $I=20$ [mA] y $t=900$ [s].

En la figura 4 se puede observar que el potencial inicialmente es de 1,1 V y luego desciende rápidamente hasta estabilizarse en valores que

oscilan entre 0,25 y 0,45 V. Este potencial corresponde a uno de los tres estados de oxidación de la PANI: la esmeraldina base, considerada como la forma más útil debido a su alta estabilidad a temperatura ambiente y el hecho de que, sobre el dopaje con ácido, la forma de sal de emeraldina de la PANI resultante es altamente conductora de la electricidad.

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos:

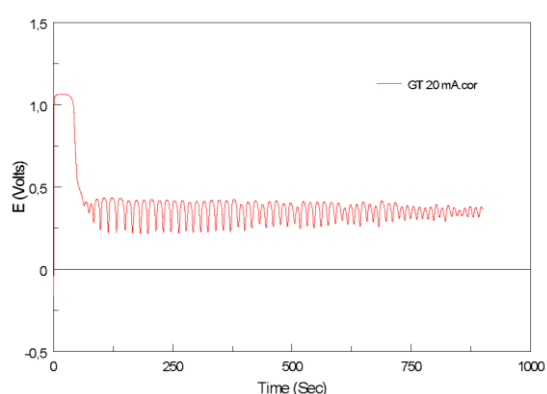


Figura 4. TG con I= 20 [mA] y t= 900 [s]

El sustrato obtenido en este ensayo presentó un depósito homogéneo, de color verde azulado característico de la esmeraldina base, y la tela de acero no sufrió rupturas (Figura 5).

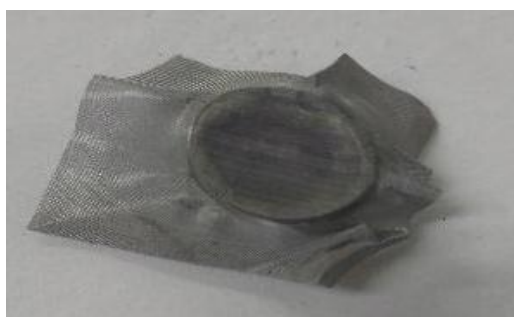


Figura 5. Tela de acero luego de TG con I= 20 [mA] y t= 900 [s] con depósito de PANI.

3.3 Caracterización por Espectroscopia de Impedancia

Al realizar las caracterizaciones previa y post polimerización de la PANI sobre las telas de

acero, podemos observar una disminución en los valores del módulo de impedancia (Figura 6). Los valores correspondientes se produjeron utilizando una frecuencia de 0.05 [Hz]:

- Antes de TG: 11900 [Ω].
- Después de TG: 1293,8 [Ω].

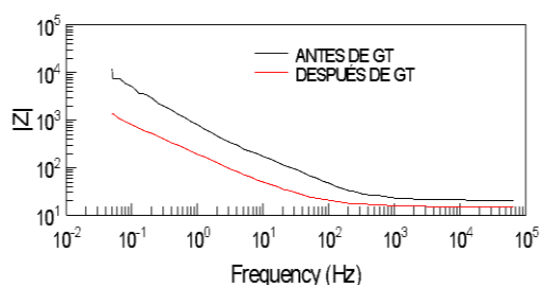


Figura 6. Módulo de impedancia (Z) expresado en [Ω] antes y después de técnica galvanostática con I= 20 [mA] y t= 900[s]. GT: técnica galvanostática por sus siglas en inglés.

Una disminución del módulo de impedancia pone en evidencia el efecto que produce el depósito de un polímero conductor sobre la superficie de acero inoxidable. Esto conduce a mejorar las características conductoras del sustrato.

3.4 Electrodeposición de PANI y PANI-NTC por Técnica Galvanostática

Tabla 2. Resultados del módulo de impedancia en los seis grupos experimentales

Grupos	Sustrato	Solución	Z antes de GT [Ω]	Z después de GT [Ω]	Depósito
1	I	A	21012.7	2171.8	Homogéneo, verde y azul.
2	I	B	20817	740.328	No homogéneo verde y azul.
3	I	C	34133	1290.02	Homogéneo verde y azul
4	II	A	18438.6	3152.7	Homogéneo verde y azul
5	II	B	13787.7	535.11	No homogéneo verde y azul.
6	II	C	19230.33	763.89	Homogéneo verde y azul.

En la tabla 2 podemos observar los resultados del módulo de impedancia en los seis grupos experimentales antes y después de la electrodeposición. En los grupos 3 y 6 existe una mayor diferencia entre los valores resultantes. El grupo 3 corresponde a la tela de acero con el depósito de PANI-NTC con sonicación previa en solución de HCl 1M, pero cabe resaltar que es más interesante lo que ocurre en el grupo 6, ya que el mismo corresponde a la tela de acero con la manta de PCL-NTC en solución de PANI-NTC con sonicación. Esto resulta de interés ya la PCL es un sustrato biocompatible ampliamente utilizado en Ingeniería de tejidos que además logra recubrirse con un polímero conductor y biocompatible como lo es la PANI logrando así un *composite* de interés. Ahora si comparamos lo que ocurre entre los grupos 4, 5 y 6 (todos correspondientes a tela de acero recubierta con PCL-NTC), podemos destacar que la mayor disminución del módulo de impedancia ocurre en el grupo 6, en el cual la electrodeposición ocurre utilizando una solución de PANI-NTC y con previo sonicado. Esto podría indicar que el agregado de NTC produce un efecto favorable que aumenta la conductividad del sustrato cuando se somete a un tratamiento previo de sonicación.

3.5 Caracterización por Microscopía electrónica de barrido

De las muestras obtenidas se escogieron las más representativas de cada grupo experimental y se tomaron imágenes en dos magnificaciones: 500X, y 5.00 KX para los grupos 1, 2 y 3 y 500X y 50 KX para los grupos 4, 5 y 6.

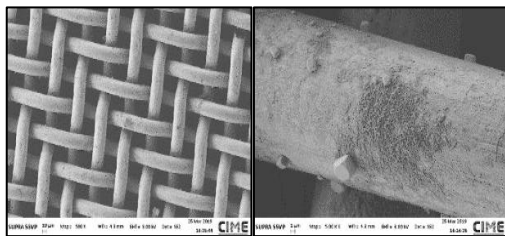


Figura 7. Grupo 1: tela de acero con depósito de PANI con solución HCl 1M. A: imagen 500X y B: imagen 5KX.

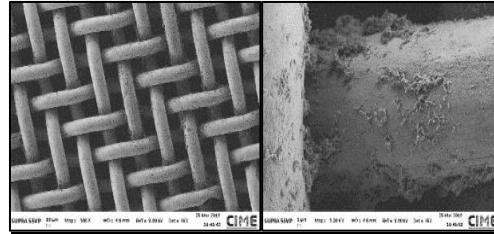


Figura 8. Grupo 2: tela de acero con depósito de PANI-NTC en solución HCl 1M. A: imagen 500X y B: imagen 5 KX.

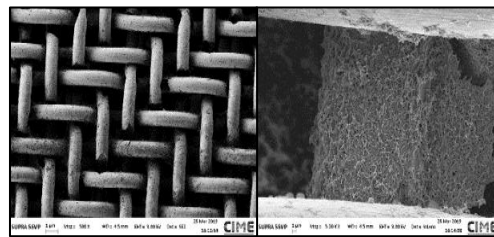


Figura 9. Grupo 3: tela de acero con depósito de PANI-NTC con sonicación previa en solución HCl 1M. A: imagen 500X y B: imagen 5 KX.

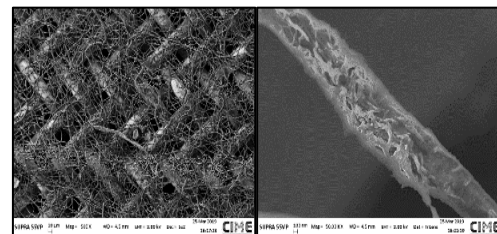


Figura 10. Grupo 4: tela de acero con PCL/NCT con depósito de PANI en solución HCl 1M. A: imagen 500X y B: imagen 50 KX.

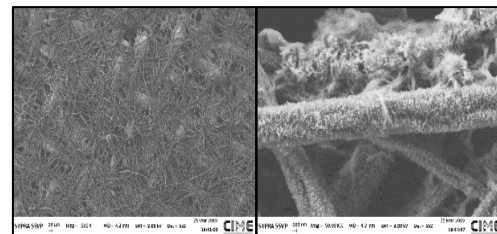


Figura 11. Grupo 5: tela de acero con PCL/NCT con depósito de PANI-NTC en solución HCl 1M. A: imagen 500X y B: imagen 50 KX.

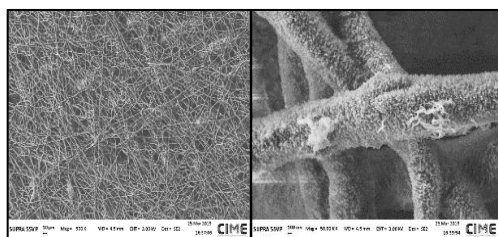


Figura 12. Grupo 6: tela de acero con PCL/NCT con depósito de PANI-NTC con previa sonicación en solución HCl 1M. A: imagen 500X y B: imagen 50 KX.

Se puede observar en las imágenes que todas las muestras presentan recubrimiento polimérico con las distintas soluciones utilizadas para la electropolimerización de PANI y PANI-NTC por técnica galvanostática. En las figuras 7, 8 y 9, correspondientes a la tela de acero, las fibras de las telas se recubrieron de manera parcial, mostrando zonas en las que la PANI se encontraba más concentrada. En cambio, en las figuras 10, 11 y 12, correspondientes a las telas de acero con PCL/NCT, se puede apreciar con claridad que las nanofibras de PCL están totalmente recubiertas por PANI y se ve un mayor recubrimiento en aquellas que fueron tratadas con la solución de ANI-NTC lo que nuevamente pone en evidencia el posible efecto positivo de los NTC sobre la polimerización de la PANI.

4. CONCLUSIÓN

Se fabricaron exitosamente sustratos conductores depositando nanofibras de PCL/NTC sobre telas de acero inoxidable por la técnica de *electrospinning* para ser utilizados como electrodos de trabajo para la electrodeposición de PANI y PANI-NTC. Por otro lado, se optimizó la técnica galvanostática, encontrando valores óptimos para la electropolimerización de PANI y PANI-NTC.

Se comprobaron los efectos que produce la incorporación de NTC. Tanto en las telas de acero como en las telas de acero con PCL/NTC, se observó una disminución de la impedancia luego de la electropolimerización de PANI y en las imágenes de microscopía esto coincidió con un mayor depósito del polímero de manera uniforme. Esto se evidenció en aquellos grupos en donde la solución de anilina con NTC era previamente sonicada aumentando así la propiedad conductora de los sustratos.

Estas mantas conductoras de estructura nanométrica podrían ser prometedoras para aplicación en Ingeniería de tejidos sobre todo en aquellos que requieren estimulación eléctrica como es el caso del tejido nervioso.

5. REFERENCIAS

- Aguilar, L. M. C., Silva, S. M., & Moulton, S. E. Growth factor delivery: Defining the next generation platforms for tissue engineering. *Journal of Controlled Release*, 306, 40-58. 2019.
- Chew, S., Wen, Y., Dzenis, Y. & Leong, K. The Role of Electrospinning in the Emerging Field of Nanomedicine. *Curr. Pharm. Des.* 12, 4751–4770 2006.
- Deb, P., Deoghare, A. B., Borah, A., Barua, E. & Das Lala, S. Scaffold Development Using Biomaterials: A Review. *Mater. Today Proc.* 5, 12909–12919. 2018.
- Ghasemi- Mobarakeh, L., Prabhakaran, M. P., Morshed, M., Nasr- Esfahani, M. H., Baharvand, H., Kiani, S., & Ramakrishna, S. Application of conductive polymers, scaffolds and electrical stimulation for nerve tissue engineering. *Journal of tissue engineering and regenerative medicine*, 5(4), e17-e35. 2011.
- Ghorbani, F., Zamanian, A., Kermanian, F. & Shamoosi, A. A bioinspired 3D shape olibanum-collagen-gelatin scaffolds with tunable porous microstructure for efficient neural tissue regeneration. *Biotechnol. Prog.* 36, 1–12. 2020.
- Kim M. S., Kim, H. K., Min, B. H., Chun, H.J., Han, D.K., Lee H. B. Polymeric Scaffolds for Regenerative Medicine. *Polymers Reviews* 51. Pag. 23-52. 2011.
- Madhusudanan, P., Raju, G. & Shankarappa, S. Hydrogel systems and their role in neural tissue engineering. *J. R. Soc. Interface* 17. 2020.
- Molinari, F., Medrano, A. V., Bacigalupe, A., Escobar, M. M. & Monsalve, L. N. Different dispersion states of MWCNT in aligned conductive electrospun PCL/MWCNT composites. *Fullerenes Nanotub. Carbon Nanostructures* 26, 667–674. 2018.
- Moreno, M., H. Amaral, M., M. Sousa Lobo, J. & C. Silva, A. Scaffolds for Bone Regeneration: State of the Art. *Curr. Pharm. Des.* 22, 2726–2736. 2016.
- Ranjan, V. D., Zeng, P., Li, B., Zhang, Y. In vitro cell culture in hollow microfibers with

- porous structures . *Biomater. Sci.* 2020.
- Sanchis Bermúdez, C. Título de tesis: Síntesis y caracterización de polianilinas auto-dopadas por copolimerización de Anilina y Ácido 2-aminobenzenosulfónico: aplicaciones como biosensores y electrocatalizadores. 2012
- Song, E. & Choi, J.-W. Conducting Polyaniline Nanowire and Its Applications in Chemiresistive Sensing. *Nanomaterials* **3**, 498–523 2013.
- Zaszczyńska, A., Sajkiewicz, P., Gradys, A. Piezoelectric scaffolds as smart materials for neural tissue engineering. *Polymers (Basel)*. **12**, 2020

Diseño de un equipo esterilizador eficiente de aire

Tarifa, Enrique E.^{1,2}; Martínez, Sergio L.¹ y Vera, Carlos R.^{2,3}

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*

eetarifa@fi.unju.edu.ar; smartinez@fi.unju.edu.ar

(2) *CONICET*

(3) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Litoral.*

cvera@fiq.unl.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo, se presenta el diseño de un equipo esterilizador eficiente de aire, orientado especialmente al tratamiento de aire de un cuarto de aislamiento de una persona con COVID-19. El equipo consta de un soplador, un economizador y una celda de calentamiento. El aire que ingresa al economizador es precalentado por el aire que egresa. La celda de calentamiento es la responsable de alcanzar la temperatura de esterilización. Para realizar el diseño, se desarrolló un modelo estacionario de simulación, y se obtuvo la solución analítica. Los resultados de las simulaciones realizadas muestran que el equipo cumple con su objetivo y mantiene un bajo consumo de electricidad en el punto de diseño. El análisis de flexibilidad muestra que el desempeño del equipo sigue siendo bueno cuando es sometido a condiciones diferentes a las del punto de diseño que pueden presentarse en el lugar donde será empleado.

ABSTRACT

In this work, the design of an efficient air sterilizer equipment is presented, specially oriented to the air treatment of an isolation room for COVID-19 patients. The equipment consists of a blower, an economizer and a heating cell. The air entering the economizer is preheated by the exhausting air. The heating cell is responsible for reaching the sterilization temperature. To carry out the design, a stationary simulation model was developed, and the analytical solution was obtained. The results of the simulations carried out show that the equipment meets its objective and maintains low electricity consumption at the design point. The flexibility analysis shows that the performance of the equipment continues to be good when it is subjected to conditions different from those of the design point, which may occur in the place where it will be used.

Palabras claves: esterilizador – economizador – COVID-19

Keywords: sterilizer – economizer – COVID-19

1 INTRODUCCIÓN

A fines de 2019, se inició la pandemia de la COVID-19 causada por el coronavirus SARS-CoV-2. Actualmente, la Organización Mundial de la Salud (*Vías de transmisión del virus de la COVID-19*, 2020) acepta que la transmisión aérea del virus podría ser posible en circunstancias y lugares específicos en que se efectúan procedimientos o se administran tratamientos que pueden generar aerosoles (por ejemplo, intubación endotraqueal, broncoscopia, aspiración abierta, administración de un fármaco por nebulización, ventilación manual antes de la intubación, giro del paciente a decúbito prono,

desconexión del paciente de un ventilador, ventilación no invasiva con presión positiva, traqueostomía y reanimación cardiopulmonar). Por sus siglas en inglés, estos procedimientos se denominan AGP (*aerosol generating procedure*). Para los lugares donde un AGP pueda tener lugar, se recomienda una cantidad mínima de renovaciones de aire (*Reducing the Risk of Transmission*, 2020). Tradicionalmente, se emplean filtros para purificar el aire en instalaciones sanitarias. Estos equipos son efectivos para una gran variedad de microorganismos con tamaños mayores que 0.3 μ m, como esporas de hongos y bacterias. Sin embargo, los virus son más pequeños, y no

pueden ser completamente retenidos por los filtros (*Respiratory Protection*, 2020).

Para el caso de los virus, un adecuado complemento para los filtros es el posterior tratamiento térmico del aire. Este concepto surgió en los años cincuenta para la esterilización del aire destinado a biorreactores. La esterilización se logra calentando el aire a una temperatura suficientemente alta, y manteniéndolo a esa temperatura durante el tiempo necesario para alcanzar el grado de esterilización requerido (Elsworth, 1955).

En el presente trabajo, se describe el diseño de un equipo esterilizador eficiente de aire. Para ello, el equipo incorpora un economizador, un intercambiador de calor que precalienta el aire que ingresa usando el aire caliente que egresa del equipo. El diseño se realiza empleando un modelo estacionario que contempla tanto la parte energética como la parte biológica del proceso.

2 REQUERIMIENTOS

Como se adelantó, se recomienda realizar renovaciones de aire en los lugares donde se lleva a cabo un AGP. Estas recomendaciones estiman que un cambio de aire remueve el 63 % del virus; y que luego de 5 cambios, menos del 1 % del virus permanece en el aire. Teniendo esto en cuenta, se recomiendan de 10 a 12 ACH (*air changes per hour*, cambios de aire por hora) durante 20 min como mínimo para un cuarto destinado a la aislación de un paciente. En cambio, se recomiendan 6 ACH durante 1 h para un cuarto vecino (*Respiratory Protection*, 2020).

Para verificar los valores recomendados, el cuarto se modela como un sistema con parámetros concentrados. Para ello, se considera que luego de un AGP, la concentración del virus en el cuarto es C_0 . Si el aire se cambia con una velocidad de Φ ACH durante t h, la relación de la concentración final C del virus en relación a C_0 se puede estimar planteando el balance del virus en el cuarto:

$$\frac{dC}{dt} = -\Phi C \quad (1)$$

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\Phi t} \quad (2)$$

Esta última ecuación reproduce los valores sobre los que se basan las recomendaciones existentes para los cuartos de aislamiento y cuartos vecinos. Por lo tanto, los valores recomendados serán

considerados para el diseño del equipo que se propone en este trabajo.

3 LA SIMULACIÓN

La simulación es el proceso de crear una representación abstracta (un modelo) para representar sistemas del mundo real. La simulación se puede emplear para explorar cambios y alternativas. Especialmente, cuando las experiencias en el sistema real implican costos y riesgos elevados, la simulación se convierte en la única alternativa viable de bajo costo y libre de riesgo.

Para que los resultados obtenidos por simulación sean realistas, tanto el modelo como los datos empleados deben ser suficientemente exactos. Por lo tanto, si se emplean modelos ampliamente probados y datos provenientes de fuentes confiables, la validación experimental del modelo no es imprescindible en la etapa de diseño de un equipo.

El diseño del equipo que se propone involucra un ambiente de alto riesgo, el cual, para realizar experimentos, demanda una instalación especializada equivalente a un laboratorio con bioseguridad nivel 4. Esta alternativa está fuera del alcance de este trabajo, y no es necesaria cuando se está evaluando un diseño conceptual. Por lo tanto, se empleó la simulación para realizar el diseño del equipo propuesto. Para hacerlo, se recurrió a un modelo tradicional y comprobado, combinado con datos provenientes de literatura especializada.

4 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

La Fig. 1 presenta el equipo esterilizador de aire propuesto en este trabajo. El aire es impulsado por un soplador para ingresar a los tubos del economizador: un intercambiador de tubos y coraza sin baffles. Allí se precalienta, y luego ingresa a la celda de calefacción, donde alcanza la temperatura requerida. Finalmente, el aire ingresa a la coraza del economizador, en contracorriente al aire frío que ingresa por los tubos, y se enfría antes de regresar a la habitación. La temperatura de la celda es fijada por un calentador eléctrico y controlador de temperatura.

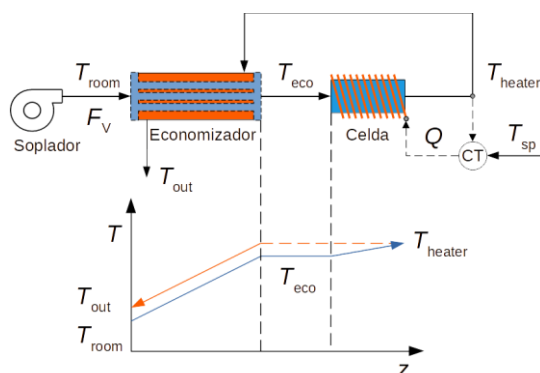


Figura 1. Equipo esterilizador de aire.

La destrucción térmica de los microorganismos comienza ya en los tubos del economizador y finaliza en la coraza. La temperatura del aire que sale del equipo es mayor que la temperatura de la habitación, y es una medida de la eficiencia energética del equipo: mientras menor sea esta temperatura, mayor es la eficiencia del equipo. En comparación con el uso de filtros o luz ultravioleta, el equipo que se propone presenta costos de mantenimiento casi nulos.

5 DESTRUCCIÓN TÉRMICA

La destrucción térmica de los microorganismos puede modelarse como una reacción química con cinética de primer orden junto con la ecuación de Arrhenius (Deindoerfer, 1957):

$$r_M = k C_M \quad (3)$$

$$k = A e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (4)$$

donde C_M es la concentración del microorganismo, r_M es la velocidad de esterilización, k es la constante de velocidad, A es el factor preexponencial, Ea es la energía de activación, R es la constante universal de los gases, y T es la temperatura absoluta.

Los parámetros de la ecuación de Arrhenius definen la resistencia térmica del microorganismo. En particular, para el coronavirus SARS-CoV-2, el valor del factor preexponencial es $A = 2.17393 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$ mientras la energía de activación es $Ea = 135692 \text{ J/mol}$ (Yap, 2020).

6 MODELO ESTACIONARIO

Es una práctica común en ingeniería química emplear un modelo estacionario para el diseño de

intercambiadores de calor. El método de diseño más empleado es iterativo. Consiste en proponer valores tentativos para los parámetros del equipo, y luego verificar si las salidas cumplen con las especificaciones requeridas. Si ello no ocurre, se proponen nuevos valores para los parámetros (Kern, 1991). Dicho método fue utilizado en este trabajo, para lo cual se desarrolló el modelo estacionario que se describe a continuación.

El modelo estacionario del equipo está compuesto por las ecuaciones constitutivas y los balances estacionarios necesarios para modelar el proceso:

$$\frac{dT_i}{dz} = \alpha_i (T_o - T_i) \quad (5)$$

$$\alpha_i = \frac{UA_i}{v_i A_i \rho_i C_{Pi} L_e} \quad (6)$$

$$\frac{d(v_i C_{Mi})}{dz} = -r_{Mi} \quad (7)$$

$$\frac{dT_o}{dz} = \alpha_o (T_o - T_i) \quad (8)$$

$$\alpha_o = \frac{UA_o}{v_o A_o \rho_o C_{Po} L_e} \quad (9)$$

$$\frac{d(v_o C_{Mo})}{dz} = r_{Mo} \quad (10)$$

$$\frac{dT_h}{dz} = \frac{1}{v_h A_h \rho_h C_{Ph} L_h} Q \quad (11)$$

$$\frac{d(v_h C_{Mh})}{dz} = -r_{Mh} \quad (12)$$

$$T_{heater} = T_{sp} \quad (13)$$

$$Q = Ab_T Q_{max} \quad (14)$$

donde se emplea el subíndice “i” para las propiedades en un tubo, el subíndice “o” para las propiedades en la coraza, “e” para las propiedades del economizador y “h” para las propiedades de la celda calentadora. T es la temperatura, UA es el producto del coeficiente global de transferencia de energía y del área de transferencia, v es la velocidad del aire, A es el área transversal de flujo, ρ es la densidad del aire, C_p es la capacidad calorífica específica del aire, L es longitud, C_M es la concentración molar del microorganismo, T_{sp} es el *set point* del controlador, Q es la potencia suministrada a la celda, Ab_T es el *bias* del controlador y Q_{max} es la potencia máxima del calentador.

7 SOLUCIÓN ANALÍTICA

El modelo descrito puede ser resuelto numéricamente. Sin embargo, dado que es un objetivo futuro plantear un modelo de optimización, se optó por obtener la solución analítica. A continuación, se describen los pasos dados para conseguir dicha solución.

En el estado estacionario, el flujo másico de aire se mantiene constante en todo el equipo, por lo que, en el economizador, se tiene un “flujo balanceado”: el mismo flujo en los tubos que en la coraza. Además, se tiene:

$$C_{Pi} = C_{Po} = C_{Pe} \quad (15)$$

$$UA_o = N_t UA_i = UA_e \quad (16)$$

$$v_o A_o \rho_o = N_t v_i A_i \rho_i = F_v \rho \quad (17)$$

donde N_t es el número de tubos. Por lo tanto, $\alpha_i = \alpha_o = \alpha_e$. Luego, como T_i y T_o tienen la misma pendiente, su diferencia $\Delta T = T_o - T_i$ es constante en todo el economizador:

$$\alpha_e = \frac{UA_e}{F_v \rho C_{Pe} L_e} \quad (18)$$

$$\frac{dT_i}{dz} = \frac{dT_o}{dz} = \alpha_e \Delta T \quad (19)$$

$$T_{out} = T_{room} + \Delta T \quad (20)$$

$$T_{eco} = T_{sp} - \Delta T \quad (21)$$

donde, para el aire en las condiciones de la habitación, F_v es el flujo volumétrico y ρ es la densidad. T_{eco} es la temperatura del aire a la salida de los tubos del economizador, y T_{out} es la temperatura del aire a la salida de la coraza del economizador.

Debido a que UA_e y C_{Pe} no son muy sensibles a la temperatura, α_e puede ser considerada constante. Entonces, la solución de la ec. (19) es:

$$T_i = T_{room} + \alpha_e \Delta T z \quad (22)$$

$$T_o = T_{out} + \alpha_e \Delta T z \quad (23)$$

donde ΔT se calcula como sigue:

$$T_{eco} = T_{room} + \alpha_e \Delta T L_e = T_{sp} - \Delta T \quad (24)$$

$$\Delta T = \frac{T_{sp} - T_{room}}{1 + \alpha_e L_e} \quad (25)$$

Entonces, como α_e y ΔT son constantes, tanto T_i como T_o tienen perfiles lineales como los presentados en la Fig. 1. Los perfiles lineales de temperatura son comunes en los economizadores de reactores autotérmicos con “flujo balanceado” (Froment, 2010).

Del balance global de energía, se tiene:

$$\Delta T = T_{out} - T_{room} = T_{sp} - T_{eco} = \frac{Q}{F_v \rho C_{Pe}} \quad (26)$$

$$Q = F_v \rho C_{Pe} \Delta T \quad (27)$$

$$Ab_T = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (28)$$

Considerando una densidad de flujo de calor constante, típico de los calentadores eléctricos, se tiene el perfil de temperatura en la celda:

$$T_h = T_{eco} + \Delta T \frac{z}{L_h} \quad (29)$$

Dado que ΔT es constante, T_h también tiene un perfil lineal, como se muestra en la Fig. 1.

Por otra parte, el perfil de concentraciones del microorganismo puede ser obtenido resolviendo las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \frac{d(v_i C_{Mi})}{dz} &= -r_{Mi} = k_i C_{Mi} \\ &= -Ae^{-\frac{Ea}{RT_i}} C_{Mi} = -Ae^{-\frac{Ea}{R(T_{room} + \alpha_e \Delta T z)}} C_{Mi} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\frac{d(v_o C_{Mo})}{dz} = Ae^{-\frac{Ea}{R(T_{out} + \alpha_e \Delta T z)}} C_{Mo} \quad (31)$$

$$\frac{d(v_h C_{Mh})}{dz} = -Ae^{-\frac{Ea}{R(T_{eco} + \Delta T \frac{z}{L_h})}} C_{Mh} \quad (32)$$

La solución es la siguiente:

$$\beta_e = A \frac{T_{room}}{F_v} \frac{1}{\alpha_e \Delta T} \quad (33)$$

$$\beta_h = A \frac{T_{room}}{F_v} \frac{L_h}{\Delta T} \quad (34)$$

$$\gamma = \frac{Ea}{R} \quad (35)$$

$$N_{Mroom} = F_v C_{Mroom} \quad (36)$$

$$N_{Mi} = N_{Mroom} e^{-\beta_e N_i A_i} e^{i\left(-\frac{\gamma}{T_{room}}\right)} e^{\beta_e N_i A_i} e^{i\left(-\frac{\gamma}{T_i}\right)} \quad (37)$$

$$C_{Mi} = \frac{T_{room}}{F_v T_i} N_{Mi} \quad (38)$$

$$N_{Mheater} = \frac{F_v T_{sp}}{T_{room}} C_{Mheater} \quad (39)$$

$$N_{Mo} = N_{Mheater} e^{\beta_e A_o} e^{i\left(-\frac{\gamma}{T_{sp}}\right)} e^{-\beta_e A_o} e^{i\left(-\frac{\gamma}{T_o}\right)} \quad (40)$$

$$C_{Mo} = \frac{T_{room}}{F_v T_o} N_{Mo} \quad (41)$$

$$N_{Meco} = \frac{F_v T_{eco}}{T_{room}} C_{Meco} \quad (42)$$

$$N_{Mh} = N_{Meco} e^{-\beta_h A_h \text{ei}\left(\frac{\gamma}{T_{eco}}\right)} e^{\beta_h A_h \text{ei}\left(\frac{\gamma}{T_h}\right)} \quad (43)$$

$$C_{Mh} = \frac{T_{room}}{F_v T_h} N_{Mh} \quad (44)$$

La función $\text{ei}(x)$ es la función integral de la exponencial de un argumento único, que se define como:

$$\text{ei}(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^t}{t} dt \quad (45)$$

Con el fin de verificar que la celda no se sobrecaliente durante la operación del equipo, se calcularon las siguientes variables:

$$q_h = \frac{Q}{P_h L_h} \quad (46)$$

$$T_{wh} = \frac{T_{sp} + T_{eco}}{2} + \frac{q_h}{h_h} \quad (47)$$

donde q_h es la densidad de flujo de calor que suministra la celda, P_h es el perímetro de la celda y h_h es el coeficiente de transferencia de calor del aire en la celda.

Si bien en el modelo no se realizó corrección por presión, se estimó la caída total de presión para seleccionar el soplador. La simplificación realizada es aceptable debido a que la pérdida máxima de presión admitida para el equipo se fijó en 10 % porque si no se elevan demasiado los costos de adquisición del soplador y del consumo eléctrico de ese equipo.

La caída de presión ΔP_i en los tubos, ΔP_h en la celda y ΔP_o en la coraza fueron calculadas con la ec. (48). El factor de fricción f fue calculado de la misma forma que en el trabajo de Peccini (2019). El valor de la caída de presión total ΔP_T se usó para calcular la potencia B consumida por el soplador:

$$\Delta P = f \frac{\rho L v^2}{D} \quad (48)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_i + \Delta P_h + \Delta P_o \quad (49)$$

$$B = F_v \Delta P_T \quad (50)$$

Para estimar los coeficientes de transferencia de energía, se empleó la correlación de Sleicher (1975):

$$Nu = 5 + 0.012 Re^{0.83} (Pr + 0.29) \varphi \quad (51)$$

$$\varphi = \left(\frac{T_w}{T}\right)^n \quad (52)$$

$$n = -\log_{10} \left(\frac{T_w}{T}\right)^{0.25} + 0.3 \quad (53)$$

Para el flujo laminar, se consideró $Nu = 4.364$.

Para estimar las propiedades del aire, se ajustaron correlaciones por regresión a datos experimentales (Green, 2008).

La eficiencia térmica del equipo es (Kroeger, 1967):

$$\varepsilon = 1 - \frac{T_{out} - T_{room}}{T_{sp} - T_{room}} \quad (54)$$

Introduciendo ΔT en esa ecuación, y suponiendo que es casi independiente de T_{sp} , se puede estimar la sensibilidad de la eficiencia con respecto al *set point*:

$$\frac{d\varepsilon}{dT_{sp}} = \frac{\Delta T}{(T_{sp} - T_{room})^2} \quad (55)$$

la cual, para valores comunes, resulta en el orden de 10^{-3} . Por lo tanto, la eficiencia es casi independiente de T_{sp} .

Como ya se explicó previamente, el equipo se diseñó empleando un método iterativo. Para reducir estas iteraciones, se tuvieron en cuenta las consideraciones que se exponen a continuación.

La ec. (27) muestra que para minimizar el consumo de energía se debe minimizar ΔT . La ec. (25) plantea que, para reducir ΔT , se debe aumentar α_e . A su vez, por la ec. (18), el aumento de α_e puede lograrse aumentando UA_e/L_e . Como los tubos vienen en medidas estándares, se fijó el diámetro en $3/8''$. Por lo tanto, para minimizar el consumo de energía, se debe aumentar L_e . Sin embargo, este aumento está acotado por la máxima caída de presión permitida. Por otra parte, el grado de esterilización deseado se debe alcanzar ajustando L_h y T_{sp} . Para que el equipo tenga la capacidad de tratar el caudal F_v especificado, se debe ajustar la cantidad de tubos N_i .

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño se planteó para un cuarto destinado al aislamiento de un paciente con COVID-19. Se considera que el cuarto tiene un volumen de 40 m^3 . Para este tipo de cuarto, se recomienda

una renovación de aire de 10 ACH (*Reducing the Risk of Transmission*, 2020).

El sistema tiene dos variables de perturbación importantes, T_{room} y C_{Mroom} . Para el diseño, se tomaron los siguientes valores nominales de esas variables: $T_{\text{room}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ y $C_{\text{Mroom}} = 1 \text{ mol m}^{-3}$. Si bien es difícil de asignar un valor nominal a la concentración del microorganismo en el cuarto debido a la variedad de situaciones que se presentan, el valor arbitrario que se adoptó no afecta el valor que el modelo reporta para la relación $C_{\text{Mout}}/C_{\text{Mroom}}$. Esto es así porque la destrucción térmica fue modelada como una reacción de primer orden.

Por otra parte, el sistema tiene dos variables manipulables, F_v y T_{sp} . Estas variables pueden ser ajustadas para compensar las variaciones de las variables de perturbación durante la operación del equipo.

La Tabla 1 presenta los resultados de la simulación realizada empleando los valores de la Tabla 2 para los parámetros del equipo. En esta última tabla, D es diámetro, y el superíndice "max" indica el máximo valor permitido para la variable correspondiente.

Tabla 1. Resultados de la simulación para el caso de un cuarto de aislamiento.

Variable	Valor
Q (W)	1971
B (W)	1656
ΔP (Pa)	14905
$C_{\text{Mout}}/C_{\text{Mroom}}$	8×10^{-7}
T_{out} ($^\circ\text{C}$)	40
q_h (W m^{-2})	440
T_{wh} ($^\circ\text{C}$)	126

Tabla 2. Parámetros del equipo.

Parámetro	Valor
Espesor de los tubos del economizador (mm)	0.7
Material de los tubos del economizador	acero
Espesor de la pared de la celda (mm)	1
Material de la celda	cobre
F_v ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	1.111×10^{-1}
ΔP^{max} (Pa)	15000
$C_{\text{Mout}}^{\text{max}}/C_{\text{Mroom}}$	10^{-6}
$T_{\text{out}}^{\text{max}}$ ($^\circ\text{C}$)	40
q_h^{max} (W m^{-2})	7750
$T_{\text{wh}}^{\text{max}}$ ($^\circ\text{C}$)	500
T_{room} ($^\circ\text{C}$)	25
C_{Mroom} (mol m^{-3})	1
N_t	56
L_e (m)	7
T_{sp} ($^\circ\text{C}$)	128
L_h (m)	20
D_o (m)	0.1058
D_h (m)	0.0710

Los resultados muestran que ΔP , $C_{\text{Mout}}/C_{\text{Mroom}}$ y T_{out} alcanzan los valores máximos permitidos. Esto significa que el diseño está limitado por la capacidad del soplador y por las condiciones impuestas al aire ya esterilizado. El resultado obtenido concuerda con la experiencia que se tiene en el diseño de intercambiadores de calor.

La potencia requerida para el calentamiento es proporcional a la diferencia de temperatura entre el aire que sale del equipo y el que ingresa. Esta diferencia es de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Lo que resulta en una eficiencia del economizador de $\varepsilon = 85 \%$. El flujo en el interior del economizador es turbulento, con Re cercano a 15000 y coeficientes de transferencia de calor próximos a $130 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Con el fin de evaluar la capacidad de esterilización del equipo, la Fig. 2 muestra el perfil de concentraciones del virus SARS-CoV-2 a lo largo del equipo. Como puede apreciarse, el virus es destruido antes de llegar a la celda de calentamiento, mientras el aire se calienta hasta $128 \text{ }^\circ\text{C}$. La velocidad de destrucción se vuelve apreciable a partir de 5 m, a una temperatura de $89 \text{ }^\circ\text{C}$. Sin embargo, para la porción anterior a los 5 m, la velocidad de destrucción es menor debido a que el aire no alcanzó una temperatura suficientemente alta. En ese sector, la disminución de la concentración que se observa

se debe casi exclusivamente a la dilución del virus causada para el efecto de la temperatura en la densidad del aire. Al aumentar la temperatura, disminuye la densidad, haciendo que la concentración del microorganismo disminuya a medida que el aire avanza en el interior de los tubos.

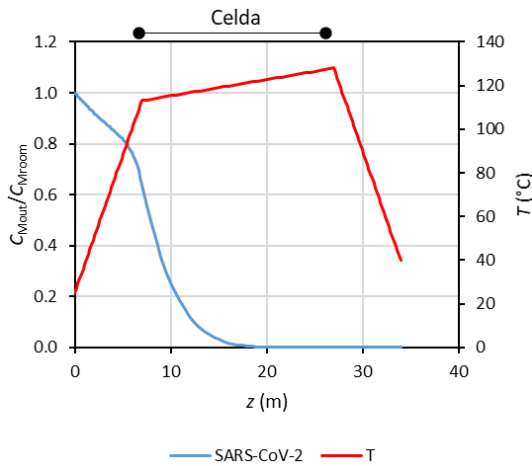


Figura 2. Perfil de la concentración del virus SARS-CoV-2.

La Fig. 3 presenta el efecto que tiene el flujo de aire sobre las variables principales del proceso. Estos valores están expresados como porcentajes referidos a los valores que toman en el caso base, $F_v = 1.111 \times 10^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este valor de flujo es considerado como el máximo admisible para la operación segura del equipo que garantiza el grado de esterilización especificado en el diseño. Para valores menores de flujo, la figura muestra que T_{out} , y en consecuencia la eficiencia ε , se mantienen prácticamente constantes. Sin embargo, tanto la potencia de calentamiento Q como la del soplador B dependen directamente del flujo de aire tratado. La concentración del virus a la salida presenta una fuerte dependencia con respecto al flujo del aire. La conducta de las variables analizadas confirma que el equipo puede ser operado con flujos de aire menores que el especificado para el diseño, y que esta operación es más segura y más económica.

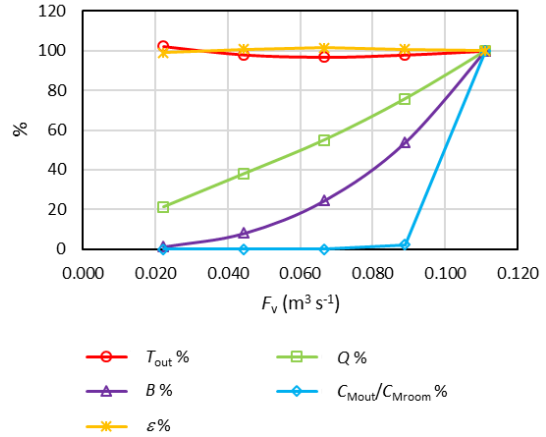


Figura 3. Efecto del flujo de aire procesado sobre las variables del proceso.

Como la temperatura T_{room} del cuarto es una perturbación para el equipo, es bastante importante evaluar el impacto que tiene en la operación del mismo. La Fig. 4 presenta el efecto de esa variable sobre las principales variables del proceso. Nuevamente, estos valores están expresados como porcentajes con respecto al caso base, $T_{room} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

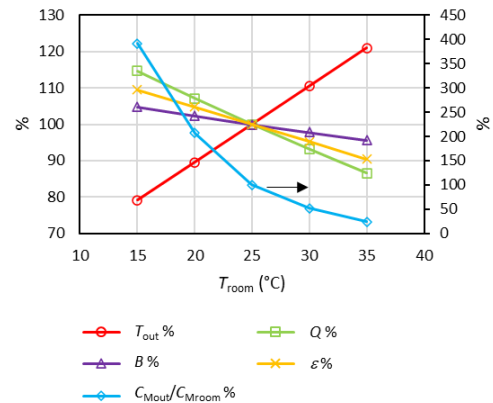


Figura 4. Efecto de la temperatura del cuarto sobre las variables del proceso. La relación de concentraciones se lee en el eje derecho.

En dicha figura, puede apreciarse que la eficiencia ε , la potencia de calentamiento Q y la del soplador B son prácticamente insensibles a esta perturbación. No obstante, como se esperaba, la temperatura de salida T_{out} directamente depende de T_{room} . Por otra parte, la concentración del virus tiene una fuerte dependencia inversa con respecto a T_{room} . Por lo tanto, esta temperatura es una variable crítica para la operación del equipo. Si es menor que el valor de diseño, la concentración del virus a la salida aumenta

significativamente, aunque todavía se mantiene en valores seguros. Si la temperatura es mayor que el valor de diseño, la temperatura de salida se eleva, pudiendo llegar a afectar el nivel de confort en el cuarto. Sin embargo, el aumento de la temperatura de salida puede ser una ventaja en invierno, cuando la COVID-19 se propaga más rápidamente. En el caso de que la temperatura del cuarto ya sea elevada de por sí, se puede liberar el aire esterilizado a la atmósfera sin ningún peligro de contaminar el exterior.

9 CONCLUSIONES

En este trabajo, se presentó el diseño de un equipo eficiente para la esterilización de aire contaminado con el virus SARS-CoV-2. El diseño fue realizado para producir 10 ACH en un cuarto destinado al aislamiento de una persona afectada por la COVID-19.

Para el diseño, se desarrolló un modelo estacionario, y se obtuvo la solución analítica. La solución obtenida se la empleó para llevar a cabo un método iterativo de diseño.

La flexibilidad del diseño obtenido fue evaluada para flujos menores que el de diseño, y para temperaturas del cuarto por encima y por debajo de la adoptada para el diseño. En ambos casos, la operación del equipo mostró ser segura, cumpliendo con los objetivos propuesto en su diseño.

El paso siguiente de esta investigación será la optimización del diseño, para lo cual habrá que incorporar consideraciones económicas involucradas tanto en la construcción como en la operación del equipo.

10 REFERENCIAS

- Deindoerfer, F. H. Microbiological process discussion; calculation of heat sterilization times for fermentation media. *Applied Microbiology*, 5(4), 221-228, 1957.
- Elsworth, R., Telling, R. C., & Ford, J. W. S. Sterilization of air by heat. *The Journal of Hygiene*, 53(4), 445-457, 1955.
- Froment, G. F., Bischoff, K. B., & Wilde, J. D. *Chemical Reactor Analysis and Design* (Third). Wiley, 2010.
- Green, D. W., & Perry, R. H. *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (Eighth). McGraw-Hill Education. /content/book/9780071422949, 2008.
- Kern, D. Q. *PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR* (Vigésimo Tercera Edición). CECOSA, 1991.
- Kroeger, P. G. Performance Deterioration in High Effectiveness Heat Exchangers Due to Axial Heat Conduction Effects. En K. D. Timmerhaus (Ed.), *Advances in Cryogenic Engineering* (pp. 363-372). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0489-1_38, 1967.
- Peccini, A., Lemos, J. C., Costa, A. L. H., & Bagajewicz, M. J. Optimal Design of Double Pipe Heat Exchanger Structures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(27), 12080-12096. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b01536>, 2019.
- Reducing the risk of transmission of COVID-19 in the hospital setting*. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/wuhan-novel-coronavirus-infection-prevention-and-control/reducing-the-risk-of-transmission-of-covid-19-in-the-hospital-setting>, 2020.
- Respiratory Protection for Airborne Exposures to Biohazards* (Technical Data Bulletin N.º 174; pp. 1-10). 3M. <https://multimedia.3m.com/mws/media/4099030/respiratory-protection-against-biohazards.pdf>, 2020.
- Sleicher, C. A., & Rouse, M. W. A convenient correlation for heat transfer to constant and variable property fluids in turbulent pipe flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 18(5), 677-683. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(75\)90279-3](https://doi.org/10.1016/0017-9310(75)90279-3), 1975.
- Vías de transmisión del virus de la COVID-19: Repercusiones para las recomendaciones relativas a las precauciones en materia de prevención y control de las infecciones*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>, 2020.
- Yap, T. F., Liu, Z., Shveda, R. A., & Preston, D. *A Predictive Model of the Temperature-Dependent Inactivation of Coronaviruses*. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv.12152970.v4>, 2020.

