LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO Y SUS APORTES A LA SOCIEDAD VOL. II

Miguel A. Sarmiento, Susana I. Herrera,
Maximiliano C. D. Budan, María J. Benac,
Melchor E. Luque, Marcela E. Terribile,
Marta E. Gutiérrez, Marcia B. Rizzo Patron
(compiladores)

UNSE
Universidad Nacional
de Santiago del Estero

LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO Y SUS APORTES A LA SOCIEDAD VOL. II

Miguel A. Sarmiento, Susana I. Herrera,
Maximiliano C. D. Budan, María J. Benac,
Melchor E. Luque, Marcela E. Terribile,
Marta E. Gutiérrez, Marcia B. Rizzo Patron
(compiladores)

Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CICyT)
Universidad Nacional de Santiago del Estero

Rector
Ing. Héctor Rubén Paz

Vicerrectora
Lic. Marcela Hilda Juárez

Subsecretaria de Comunicaciones
Lic. María Gabriela Moyano

Coordinador Editorial
Dr. Lucas Cosci

Facultad de Agronomía y Agroindustrias
Decana: Dra. Myriam Villarreal
Vicedecana: Dra. Judith Ochoa

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías
Decano: Ing. Pedro Juvenal Basualdo
Vicedecano: Dra. Fernanda Mellano

Facultad de Ciencias Forestales
Decano: Dr. Juan Carlos Medina
Vicedecana: Dra. Nancy Giannuzzo

Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud
Decano: Lic. Hugo Marcelino Ledesma
Vicedecano: Lic. Sandra Moreira

Facultad de Ciencias Médicas
Decano Normalizador: Dr. Eduardo Lian Allub

Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas

Presidente: Dra. Susana Herrera
Presidente Alterno: Mg. Ing. Manuel Oscar Palacio

FCEyT- Secretaria Dra. María José Benac
Representante: Mg. Ing. Elsa Marcela Terribile

FCF – Secretario Mg. Ing. Manuel Oscar Palacio
Representante: Dra. Sandra Josefina Bravo

FAyA - Secretaria Dra. Verónica Irene Paz Zanini
Representante: Dr. Sergio Rodríguez

FHCSyS- Secretaria Dra. Marta Elena Gutiérrez
Representantes Lic. Luis Ángel Moyano

FCM - Secretario - Dr. Melchor Emilio Luque

Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CICyT)
Universidad Nacional de Santiago del Estero

LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO Y SUS APORTES A LA SOCIEDAD VOL. II

Miguel A. Sarmiento, Susana I. Herrera,
Maximiliano C. D. Budan, María J. Benac,
Melchor E. Luque, Marcela E. Terribile,
Marta E. Gutiérrez, Marcia B. Rizzo Patron
(compiladores)

UNSE
Universidad Nacional
de Santiago del Estero

Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas -CICyT
La investigación científica en la Universidad Nacional de Santiago del Estero y sus aportes a la sociedad, vol. II / Miguel Ángel Sarmiento [et al.].
- 1a ed compendiada. - Santiago del Estero: EDUNSE, 2024.
- Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-4456-47-2

1. Ciencias Tecnológicas. I. Sarmiento, Miguel Ángel
CDD 607.3

Corrección: Ignacio Ratier
Diseño editorial y maquetación: María Eugenia Alonso
Diseño de tapa: María Eugenia Alonso
Edición: Lucas Cosci

© **EDUNSE**, 2024
Av. Belgrano (s) 1912 - G4200ABT
Santiago del Estero, Argentina
email: infoedunse@gmail.com
www.edunse.unse.edu.ar

Las opiniones expresadas en los libros publicados por EDUNSE no necesariamente reflejan los puntos de vista de la Subsecretaría de Comunicaciones ni del Comité Académico u otras autoridades de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Cualquier tipo de reproducción total o parcial de este libro, no autorizada por los editores, viola derechos reservados.

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

ÍNDICE

Prólogo.....15
Nori E. Cheeín de Auat

PALABRAS PRELIMINARES.....19
Dr. Miguel Sarmiento

I. ÁREA TEMÁTICA: CIENCIAS BÁSICAS.....22

Biofábricas de nanopartículas como alternativas ecoamigables a problemáticas actuales.....23
Rita D. Dorado, Luciana A. Pécora , Valentina Rey, Verónica I. Paz Zanini, Axel Hollmann , M. Beatriz Espeche Turbay

Electrodo de pasta de carbono modificado con un polielectrolito catiónico y nanopartículas de oro para la detección electroquímica de especies inorgánicas de As (III) 51
Fátima M. Villalba Varas, Verónica I. Paz Zanini

Efecto de la temperatura y tiempo de reacción en las propiedades y posibles aplicaciones de puntos cuánticos de carbono derivados de hojas y corteza de *Schinopsis lorentzii* obtenidos a través de carbonización hidrotermal.....74
Martin F. Montenegro, Valentina Rey, Faustino E. Morán Vieyra

Aplicaciones biotecnológicas del Aceite Esencial de *Aloysia polystachya* (Burrito). Actividad Insecticida y Antimicrobiana 93
Valeria Tapia Mattar, Anahí Bordón, Andrea Cutró, Axel Hollmann, Sergio Rodríguez

II. ÁREA TEMÁTICA: DESARROLLO SOSTENIBLE Y RECURSOS NATURALES.....123

Cultivos de cobertura y calidad de suelos en Santiago del Estero 124
Analia L. Anriquez, Salvador Prieto Angueira, María J. Vásquez, Andrea Godoy, Juan E. Silberman, José L. Delgado

Panorama actual de la Legislación Forestal en Santiago del Estero 153
Gabriela Cardona, Rocío Sánchez Ugalde, Jorge García, Marcela Bissio, Miguel Sarmiento

Cerámico elaborado con arcilla extraída en la localidad 'Los Romanos' 185
Carlos A. Cattaneo, José M. Abdala, Aníbal O. Gomez Khairallah

Investigar y plantar algarrobo blanco como estrategia para la adaptación 204
Rocío Carreras, Amelia Nancy Giannuzzo, Myriam Ethel Ludueña, María Gracia Senilliani

Desarrollo de banco de prueba para determinación de parámetros térmicos de tubos Heat Pipe 230
Enzo V. Storniolo, Carlos A. Cattaneo, Aníbal O. Gomez Khairallah

Calidad de la matriz forestal del Territorio Campesino Indígena y su aporte a la provisión de servicios ecosistémicos en la Provincia de Santiago del Estero 255
Federico F. Rivas, María M. Abt Giubergia, Analía d. V. Guzmán, Miguel M. Brassiolo

Análisis comparativo de absorbedores en colectores solares de barra maciza de hierro y tubulares heat pipe de hierro y de cobre aplicados al calentamiento de aire..... 276
Pablo S. Togo, Gustavo A. Villalba, Aníbal O. Gómez Khairallah, Carlos A. Cattaneo, Enrique M. Biasoni, Ledda I. Larcher, E. Storniolo

Biología de plantas bajo estrés salino: fitohormonas y estrés oxidativo 300
Diego A. Meloni, Martín Moggio, Ramón O. Ledesma, José A. Bezerra da Silva

Mentha spicata L.: del campo a la industria. Agroecología, taxonomía, fitoquímica y farmacología 319
Diego A. Meloni, Allessandro O. Rios, Julia A. Lescano, Fernando Garay, Rosa E. Beltrán

Técnicas agroecológicas que mejoran la sanidad de semillas hortícolas. Una contribución a los productores familiares de Santiago del Estero 339
María V. Parra, Dominga V. Ledesma, Andrea S. Godoy, Marta I. Farías

Estrategias de manejo de ríos de llanura meandriformes. Geomorfología Fluvial 360
Héctor Daniel Farias, Jorge Prieto Villarroya

Plantas y medicina doméstica en contextos rurales del Departamento Figueroa, Santiago del Estero 381
Manuel Oscar Palacio, Enrique Roger, Rita de los Ángeles Díaz

Evaluación integral de un bosque del Chaco Semiárido mediante indicadores 407
Publio A. Araujo, Marta P. Rueda, Marta C. Iturre, Adriana T. Gómez, Víctor A. Rosales, Guadalupe Laitan, Cintya Prado, Carla V. Rueda

Herramientas para el Muestreo en Parcelas Permanentes en Ecosistemas del Chaco Seco Argentino 431
Carla V. Rueda, Marta P. Rueda, Dante E. Loto, Adriana T. Gómez, Andrés Blas, Ignacio N. Gasparri, Marta C. Iturre, Liliana E. Diodato, Publio A. Araujo, Fany Coronel, María G. Laitán

Influencia de la calidad de sitio, la densidad y la edad de rodales de algarrobo blanco en los parámetros nutricionales de los frutos 465
María G. Senilliani, Natalia E. Lescano, Myriam E. Villarreal, Miguel Brassiolo

La silvicultura como herramienta para fortalecer la tolerancia al estrés en plantas de vivero y plantación de Neltuma alba..... 484
María G. Senilliani, Analia del V. Guzmán, Miguel M. Brassiolo, Ana C. Santa-Cruz-Garcia, Adriana T. Gómez, Mauricio Ewens

Reemplazo de arbustales por pastos nativos o implantados: impacto en la salud del suelo..... 500
Juan E. Silberman, Analía L. Anriquez, Ruben D. Coria, Roberto A. Suarez

Estacionalidad, fenología y productividad del bosque chaqueño semiárido de los departamentos Figueroa y Moreno, Santiago del Estero, Argentina 519
Maria Y. Mazur, Hugo Raúl Zerda, José Luis Tiedemann

III. ÁREA TEMÁTICA: ECONOMÍA DEL CONOCIMIENTO.....540

Tecnologías informáticas accesibles e inclusivas.....541
Susana Herrera, Sergio Rocabado, Federico Rosenzvaig, Federico Romano Paz, Rosa Palavecino, Adriana Jimenez, Adriana Macedo, Marcelo Zampar, Marina Nasif, María Morales, Marilena Maldonado, Paula Barrera Nicholson, Maximiliano Budan, Pablo Divi, Patricia Gómez

IV. ÁREA TEMÁTICA: SALUD, EDUCACIÓN Y SOCIEDAD.....571

Estructura social y económica,transformación y desigualdad en la periferia. El caso de Santiago del Estero, Argentina, 1994-2010.....572
Silveti Jorge L, Noelia Gurmendi, Rita G. Salvatierra

Proyectos Tecnológicos para la Enseñanza de la Ingeniería.... 603
Mario F. Soria, Fidol Parra, Gustavo Salcedo, Vladimiro Tkachuk, Lurdes López, Eve L. Coronel, Sandra L. Martínez

V. ÁREA TEMÁTICA: SISTEMAS AGROALIMENTARIOS E INDUSTRIAS.....628

Aplicación de la espectroscopía Raman en la industria cárnica..629
M. Sofía Castaño Ledesma, Claudio D. Borsarelli, Gustavo A. Palma, M. Sumampa Coria

Comportamiento de plántulas de Cucurbita máxima var. zapallito, en condiciones de salinidad con cloruro de sodio..... 656
Alejandra Catan, Gabriela Targa, Alicia Fraño

Tecnología de fluidización para la Deshidratación de Alimentos líquidos 674
Lara V. Lescano Farias, Enrique E. Tarifa, Gustavo A. Salcedo, Lurdes A. López, Anabel Ayunta, Claudia Quincio, Sandra L. Martinez, Eve Liz Coronel

Biodisponibilidad de minerales y análisis sensorial en panes formulados con harinas de frutos sub-aprovechados del monte nativo 701
Natalia E. Lescano, Karina E. Costa Macías, Sara M. Macías, Myriam E. Villarreal

Microorganismos benéficos: sus aplicaciones biotecnológicas y en salud humana..... 729
Jorge N. Gómez, Abraham A. Sesín, Juan J. Carol Paz, María P. Taranto, Ana E. Ledesma, Ana Y. Bustos

Valor agregado a la carne caprina de refugo mediante la elaboración de Snack.....764
Lara V. Lescano Farias, Kimey Elsener, Bruno Zanni, Julia Luna, Maria E. Ninich, Maria S. Pacheco, Aylen Acosta, María M. Paz, Miriam T. Nediani

Propiedades nutricionales, físicas y texturales de panes libres de gluten de habas, mistol y chañar..... 788
Natalia E. Lescano, Karina E. Costa Macias, Fernanda Quiroga, Pablo Ribotta, Myriam E. Villarreal

Cambios bioquímicos y microbiológicos a lo largo de la maduración de quesos frescos elaborados con leche caprina y cultivos autóctono..... 827
Natalia Taboada, Héctor Neme, Soledad López Alzogaray

Efecto del escaldado sobre la actividad catalítica de lipoxigenasa de hortalizas.....851
Analía V. Medina, Lucrecia L. Chaillou, Mónica A. Nazareno

Aplicación de antioxidantes como inhibidores del pardeamiento en vegetales mínimamente procesados.....881
Diego R. Gutiérrez, Maria L. Lemos, Mariana J. Farías, Silvia del C. Rodríguez

Uso de bioestimulantes como estrategia para mitigar el estrés abiótico en cultivos hortícolas regionales. Efecto sobre la respuesta bioquímica. 911
Melisa E. Yonny, Maria L. Toscano-Adamo, Ariel Rodriguez-Torresi, Lucrecia L. Chaillou, Mónica A. Nazareno

VI. ÁREA TEMÁTICA: TRASNSICIÓN ENERGÉTICA Y CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES.....934

Confort térmico y eficiencia energética de jardín de infantes rural en Mitre-Santiago del Estero 935
Gabriela Giuliano, Julieta Saganias, Luciana Thomaschewsky, Carlos Cascio, Beatriz Garzón, Alejando Ferreiro, Carlos Juárez

PRÓLOGO

Nori E. Cheeín de Auat

Las unversidades hoy en día ya no están limitadas a un rol puramente educativo. Están cada vez más integradas con la industria, el ecosistema de innovación, y desempeñan roles cruciales como asesoras en políticas y, en algunos casos, como formuladoras de políticas, ayudando a sus países y a los diferentes actores a enfrentar desafíos complejos. La Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) no es la excepción. En los últimos años, gracias al esfuerzo sostenido de sus investigadores, académicos y personal, la UNSE ha demostrado un crecimiento constante en su producción y calidad científica. Este progreso se refleja en numerosos proyectos, artículos y ponencias presentados en eventos científicos, lo que pone de manifiesto los logros de la institución, el camino recorrido y los desafíos que aún quedan por afrontar.

Como lo destaca la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por su sigla en inglés) en su informe de 2023 "Education at a Glance," "la investigación realizada en las universidades es vital para la innovación, el crecimiento eco-

nómico y el progreso social". Este libro es un claro testimonio de los esfuerzos continuos de la UNSE para cumplir con esa misión.

El mismo está organizado en seis áreas temáticas: Ciencias Básicas; Desarrollo Sostenible y Recursos Naturales; Economía del Conocimiento; Salud, Educación y Sociedad; Sistemas Agroalimentarios e Industrias; y Transición Energética y Construcciones Sustentables, totalizando 37 proyectos cuyos hallazgos científicos no solo están alineados con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y sus objetivos, sino que también abordan cuestiones claves que enfrenta nuestra provincia, Santiago del Estero, y nuestras industrias. Además, los hallazgos de nuestros investigadores tienen una relevancia más amplia, con el potencial de ser aplicados más allá de la provincia, tanto a nivel nacional como internacional.

En particular, el área temática Ciencias Básicas aborda artículos que destacan la intersección entre la química, la biotecnología y la nanotecnología. Los temas incluyen el desarrollo de biofábricas de nanopartículas como alternativas ecoamigables, la modificación de electrodos de pasta de carbono con nanopartículas de oro para la detección electroquímica de arsénico, y el estudio de puntos cuánticos de carbono obtenidos de la Schinopsis lorentzii con aplicaciones potenciales diversas. Además, se abordan las aplicaciones biotecnológicas del aceite esencial de Aloysia polystachya (Burrito), investigando su actividad insecticida y antimicrobiana. Estos trabajos reflejan el compromiso de los investigadores con el avance del conocimiento fundamental y sus aplicaciones prácticas.

El área temática Desarrollo Sostenible y Recursos Naturales reúne proyectos centrados en la gestión y preservación de los recursos naturales en Santiago del Estero, y el desarrollo de tecnologías sostenibles. Los proyectos abordan la mejora de la calidad del suelo, la legislación forestal vigente, y la elaboración de cerámicos con materiales locales. Se plantean además

estrategias del cultivo de algarrobo blanco, y el desarrollo de tecnologías como bancos de prueba para tubos Heat Pipe. Se examinan temas cruciales como la salud de la matriz forestal, técnicas agroecológicas, el uso de plantas en medicina rural, y la influencia de factores ecológicos en la productividad del bosque chaqueño. Estos trabajos subrayan la importancia de prácticas sostenibles y la conservación de los recursos naturales para el bienestar ambiental y socioeconómico de la región.

Las áreas temáticas Economía del Conocimiento y Salud, Educación y Sociedad abordan temas relevantes relacionados con el desarrollo tecnológico, la estructura socioeconómica y la educación, destacando su impacto en la sociedad santiagueña.

En el área temática Sistemas Agroalimentarios e Industrias se reúnen una serie de investigaciones que exploran innovaciones y mejoras en la producción y procesamiento de alimentos, enfocadas en la sustentabilidad y la resiliencia de los cultivos. Se proponen además métodos innovadores para conservar alimentos basados en tecnología de fluidización y la utilización de los frutos de nuestro bosque nativo para un mejor desarrollo del proceso productivo en diversas áreas de la industria alimentaria.

Finalmente, el área temática Transición Energética y Construcciones Sustentables muestra un caso de estudio específico de eficiencia energética en un jardín de infantes de nuestra provincia.

Este libro representa el camino que se está siguiendo actualmente, integrando el trabajo académico con la industria, reforzando la educación a través de la investigación y la innovación, y manteniendo la misión de "estimular el intercambio de experiencias profesionales e investigativas con los demás miembros de la comunidad". Estas 37 contribuciones demuestran el potencial como comunidad académica y como universidad. El lector queda invitado a indagar en estos trabajos, que son testimonio del compromiso de la Universidad Nacional de Santiago del Estero con el avance de la ciencia ante los problemas que

enfrentamos como sociedad, industria y país. Este libro no solo celebra los logros alcanzados hasta la fecha, sino que también proyecta una visión: la consolidación de la UNSE como un actor relevante en el desarrollo científico de la provincia.

PALABRAS PRELIMINARES

Dr. Miguel Sarmiento
Presidente Comité Editorial

El trabajo que tiene en sus manos procede de la investigación científica y tecnológica llevada a cabo por los autores, mediante proyectos financiados por la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Representa la concreción del proceso de comunicación científica, ya que se trata de un conjunto de capítulos que contienen resultados generados genuinamente en el marco de los proyectos.

Difundir los avances científicos y tecnológicos no es tarea fácil. Hay pocos medios disponibles, tanto para difundir como para acceder a información sobre las producciones científicas, en un lenguaje accesible a la sociedad. La Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSE (SeCyT), el Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la UNSE (CICyT), conjuntamente con la Editorial Universitaria EDUNSE, constituyen uno de los canales que promueven la difusión y divulgación de los conocimientos científico-tecnológicos de la UNSE. Estos permitie-

ron concretar la edición de la presente obra, es decir, del Volumen II del libro La investigación científica en la Universidad Nacional de Santiago del Estero y sus aportes a la sociedad, dando continuidad al Volumen I, publicado en 2022.

Este volumen reúne treinta y siete contribuciones que fueron redactadas por directores e integrantes de los proyectos de investigación, los cuales se encuentran comprometidos a cumplir con una de las funciones principales de la universidad: producir y difundir conocimientos en concordancia con las áreas y temas estratégicos de investigación de la UNSE.

El Comité Editorial considera que es importante aunar esfuerzos entre autores y editores para que la edición de este libro no se interrumpa bajo ninguna circunstancia, publicando volúmenes con una frecuencia de dos años. De esta manera, la UNSE contaría con un dispositivo que permita dar a conocer regularmente los resultados de sus investigaciones, tanto a la comunidad académico-científica como a la sociedad santiagueña. Sería una forma de reanudar el trabajo que, allá en los 90, realizaron integrantes del CICyT, con la Revista de Ciencia y Tecnología de la UNSE, en sus versiones Serie Científica y Serie Divulgación.

Cabe resaltar que, a partir de este volumen, se ha implementado y utilizado una plataforma automática para la gestión de los manuscritos. Con gran esfuerzo, la UNSE ha adquirido una licencia de la plataforma Open Journal System (OJS), la cual otorga relevancia, transparencia y eficiencia a la gestión de artículos. La instalación y configuración ha sido posible gracias al trabajo en equipo entre la SeCyT y UNIRED, y a la colaboración de integrantes del Comité Editorial. El OJS garantizó un proceso de evaluación serio y estandarizado, donde se vinculan autores, editores y evaluadores. Por otra parte, la experiencia adquirida en OJS permite que, paulatinamente, se vayan incorporando a esta plataforma las revistas científicas de la UNSE. Disponer de un OJS aumenta la calidad de la investi-

gación científica de la UNSE y fortalece a la institución en los procesos de acreditación académica.

Se agradece a los autores por la confianza volcada en el Comité Editorial de este libro y se los invita a continuar enviando sus contribuciones a las convocatorias de los volúmenes futuros.

Finalmente, se invita a los lectores a disfrutar de los capítulos de este volumen, mediante los cuales podrán conocer qué se investiga en la UNSE, cómo están integrados los equipos de investigación, qué métodos de investigación se aplican en cada caso y qué equipamiento está involucrado, qué trabajos de campo se realizan, qué experiencias de laboratorio se llevan a cabo, qué tecnologías innovadoras se diseñan, entre otras cuestiones interesantes.

I. ÁREA TEMÁTICA: CIENCIAS BÁSICAS

BIOFÁBRICAS DE NANOPARTÍCULAS COMO ALTERNATIVAS ECOAMIGABLES A PROBLEMÁTICAS ACTUALES

Rita D. Dorado[2] , Luciana A. Pécora[1], Valentina Rey[1,2], Verónica I. Paz Zanini[1,2], Axel Hollmann [3], M. Beatriz Espeche Turbay [1,2]

Resumen

El término microorganismos se encuentra usualmente asociado a procesos no deseables como contaminaciones o infecciones; sin embargo, el uso de los mismos a través del empleo de la biotecnología ha permitido entender el rol benéfico de estos en diferentes áreas. Una de estas áreas es la nanobiotecnología en donde mediante el uso herramientas biotecnológicas se producen materiales cuyas dimensiones se encuentran

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Santiago del Estero. Argentina
2 Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC). Universidad Nacional de Santiago del Estero. CONICET. Santiago del Estero. Argentina
3 Centro de Investigaciones en Biofisica Aplicada y Alimentos (CIBAAL). Universidad Nacional de Santiago del Estero. CONICET. Santiago del Estero. Argentina

dentro de la escala del nanómetro. Dichos materiales cuentan con características únicas gracias a la mayor relación área/volumen, lo cual garantiza una mayor superficie de contacto, haciéndolos ideales para procesos en los que se requiere intensificar la interacción con esta última. Problemáticas actuales asociadas a contaminantes ambientales de naturaleza sintética y microorganimos resistentes a las terapias convencionales son ámbitos en los cuales la nanobiotecnología se encuentra en pleno desarrollo. Por lo expuesto, el presente capítulo aborda esta temática y nuestra contribución mediante el empleo de bacterias como biofábricas de nanopartículas.

Palabras clave: nanobiotecnología, síntesis biogénica, nanopartículas

1. Introducción

La nanobiotecnología es un campo emergente y prometedor en la actualidad que fusiona las disciplinas de la biotecnología y nanotecnología a través del empleo de un sistema biológico para la síntesis de nanomateriales (NM) y nanopartículas (NP) de manera más ecoamigable (De Morais et al., 2014).

La nanotecnología es una de las áreas de investigación científica multidisciplinaria más activa y en pleno desarrollo en la ciencia de materiales modernos. Hoy en día, las tecnologías requieren reducir lo más posible el tamaño de los componentes que utilizan, conservando o mejorando sus propiedades específicas para que realicen algún tipo de función útil y de esta manera ampliar los límites alcanzados en diversos campos como la medicina, electrónica, química e ingeniería. Es por ello que la nanotecnología, logra captar un gran interés y puede ser usada como un desafío, o solución prometedora a muchos problemas en el campo científico y/o tecnológico. En tanto

que la biotecnología es una rama interdisciplinaria de las ciencias biológicas en donde se emplea organismos vivos o parte de ellos, para obtener un bien o un servicio útil para el hombre.

La nanobiotecnología puede realizar aportes al área de las ciencias biológicas a través de la mirada de la nanotecnología, incorporando nanomoléculas a sistemas biológicos o miniaturizando soluciones biotecnológicas a tamaño nanométrico con el fin de lograr un mayor alcance y eficacia, mejorando así los métodos biotecnológicos tradicionales y superando sus limitaciones como los efectos secundarios causados por terapias convencionales (Rothaermel & Thursby, 2007). Por lo cual, los resultados obtenidos pueden redundar en ensayos y terapias más efectivas y económicas que pueden usarse en múltiples campos.

1.1 Nanotecnología

En general, la nanotecnología se ocupa del diseño, desarrollo y aplicación de materiales, dispositivos u otras estructuras que se encuentran en una escala nanométrica, es decir, que poseen una dimensión entre 1 a 100 nanómetros, lo cual implica la modificación o el desarrollo de materiales dentro de ese tamaño (Hosokawa et al., 2018; Lidén, 2011). Las propiedades fisicoquímicas y biológicas de estos NM tienden a cambiar o diferir drásticamente a las del sólido masivo del mismo material. Este fenómeno ocurre debido al cambio del estado de enlace de los átomos o las moléculas que construyen las partículas. Por ejemplo, si un cubo de 1 cm de lado se divide en un cubo de 1 µm, el número de partículas aumenta a 10^{12} y al dividirse en uno de 10 nm, entonces asciende a 1018, por lo tanto, el área superficial específica se vuelve diez mil y un millón de veces más grande, respectivamente. Debido a que en la dimensión nanométrica el área superficial específica disponible de las estructuras aumenta, la alta proporción de átomos o molé-

culas ubicadas en la superficie de dichas partículas juegan un papel importante volviéndolas más activas al facilitar la unión o contacto con los materiales. Es esta relación de área superficial-volumen extremadamente grande la responsable de las propiedades únicas (electrónicas, ópticas, eléctricas, magnéticas, químicas, biológicas y mecánicas) que exhiben los NM (Hosokawa et al., 2018).

El crecimiento de la nanotecnología se ha expandido rápidamente en los últimos años, permitiendo la síntesis de varios tipos de NM novedosos e impactando en diversas áreas como la economía y el medio ambiente, ofreciendo claros avances tecnológicos en numerosas áreas, incluida la medicina, la fabricación, electrónica, producción y utilización de energía más eficientes, y control y remediación de la contaminación (Biswas & Wu, 2005). Sin embargo, estos avances deben equilibrarse con una comprensión clara de los problemas potenciales que están asociados con la creciente disponibilidad de tales partículas reactivas en la salud humana y el medio ambiente (Neal, 2008). En este contexto, el número de materiales de tamaño nanométrico disponibles comercialmente está aumentando (De Lima et al., 2012), entre estos, las NP metálicas son el nanomaterial más utilizado en la actualidad. Las NP de origen metálico como el oro, platino, paladio, magnesio, titanio, cobalto y plata han ganado particular atención principalmente por las potenciales aplicaciones en diversos campos de la ciencia, debido a las características únicas de las NP en relación a sus propiedades morfológicas/estructurales, térmicas, electromagnéticas, ópticas, mecánicas y su alta capacidad catalítica, inherentes a su tamaño nanométrico.

La selección de la metodología de síntesis de estas NP es crucial ya que se buscan nuevos métodos de síntesis con un manejo controlado de los parámetros de interés como el tamaño y su distribución, morfología y propiedades físicas y químicas, dirigidos hacia una producción de NP reproducibles y con propiedades útiles para aplicaciones específicas. Por lo

antes mencionado, es fundamental la comprensión del mecanismo de formación, crecimiento y estabilización de estos NM (Hernández Díaz, 2013).

2. Métodos de síntesis de nanopartículas metálicas

Las NP metálicas se definen como agregados aislados de átomos de metales rodeados de una cápsula protectora o estabilizadora que evita su aglomeración (Lewis, 1993; Bönnemann & Richards, 2001;Potocnik, 2011). Existen numerosos métodos disponibles para sintetizar NP, sin embargo, como se mencionó anteriormente el desafío actual se dirige hacia una síntesis con control de los parámetros de crecimiento por lo que el enfoque de la metodología de síntesis es muy importante. Los métodos de síntesis reportados pueden clasificarse según la estrategia de síntesis, fuente de energía utilizada, así como por la naturaleza del proceso.

Considerando la estrategia de síntesis se presentan dos métodos básicos "de arriba hacia abajo" (*Top down*) y "de abajo hacia arriba" (*Bottom up*) (Wang & Xia, 2004). El método de arriba hacia abajo implica esencialmente el uso de materiales a granel y reducirlos a NP mediante procesos físicos, químicos o mecánicos; mientras que el método de abajo hacia arriba ensambla átomos y moléculas individuales en nanoestructuras más grandes para generar materiales de tamaño nanométrico (Lee & Jun, 2019; Pacioni et al., 2015; X. F. Zhang et al., 2016; Rey et al., 2021).

En función a la fuente de energía empleada, los métodos de síntesis de NP pueden clasificarse en métodos de rayos láser, plasma, calentamiento *Joule*, pulverización catiónica (*sputtering*), rayo de electrones, microondas, hidrotérmico, liofilización, combustión y flama.

De acuerdo a la naturaleza del proceso se pueden clasificar en procesos de síntesis físicos, químicos, biológicos o alguna

combinación de estos (Abbasi et al., 2016) En los procesos físicos, las NP metálicas se sintetizan generalmente por la técnica de ablación láser y evaporación o condensación (Lee & Jun, 2019; Abbasi et al., 2016). En los procesos de síntesis química el enfoque más común consiste en la reducción química mediante agentes reductores orgánicos e inorgánicos. Estos agentes reductores reducen los iones de las sales metálicas y conducen a la formación de unidades de átomos metálicos, que es seguida por la aglomeración en grupos oligoméricos. Estos grupos eventualmente conducen a la formación de partículas metálicas con características coloidales (Abbasi et al., 2016).

Dependiendo de la metodología seleccionada puede ser necesaria la promoción de la reacción, ya sea empleando temperaturas altas o bajas, o bien fuentes de energía radiante (Rey et al., 2018). Los métodos químicos por lo general utilizan agua o disolventes orgánicos para preparar las NP y es esencial utilizar agentes protectores para estabilizar las mismas evitando su agregación o aglomeración durante el curso de la preparación (Lee & Jun, 2019). En este tipo de síntesis, los agentes reductores y estabilizantes se pueden cambiar o modificar para lograr las características deseadas de las NP en términos de distribución de tamaño, forma y velocidad de dispersión.

En los métodos de síntesis biológica, también denominados métodos de síntesis biogénica o síntesis verde, la síntesis de NP se lleva a cabo mediante el empleo de entidades biológicas como los microorganismos, biomasa de un microorganismo, plantas o sus extractos y también mediante la participación de proteínas, azúcares, fenoles y otras enzimas. De esta forma, la síntesis biológica representa una alternativa limpia, presumiblemente no tóxica, amigable con el medio ambiente y que además su uso, en algunas ocasiones, iguala o sobrepasa las expectativas de las NP sintetizadas por métodos físicos y químicos, en cuanto a costo y calidad de las NP obtenidas (Li et al., 2011; Abbasi et al., 2016; Lee & Jun, 2019).

3. Síntesis de nanopartículas metálicas empleando bacterias

El desarrollo de procesos experimentales de inspiración biológica para la síntesis de NP se está convirtiendo en una rama importante de la nanotecnología, dando de esta manera paso al concepto de nanobiotecnología. La síntesis de materiales de nanoescala mediante el desarrollo de la nanobiotecnología, con agentes reductores naturales, confiables y ecológicos resulta prometedora para reemplazar las síntesis fisicoquímicas que son más complejas, y cuyos residuos del proceso pueden ser nocivos para el medio ambiente. Este último concepto de reducir el impacto medio ambiental, ha llevado a la exploración de varios métodos químicos y bioquímicos para la producción de NP, sin embargo el empleo de microorganismos ha demostrado ser extremadamente efectivos en este proceso que vincula la síntesis y la protección ambiental (Li et al., 2011; Meenal et al., 2003; Hamouda et al., 2019; Akter & Huq, 2020).

Entre las diferentes clases de NP metálicas, las NP de plata (NPAg) y de oro (NPAu) se destacan debido a que tienen propiedades químicas y físicas inusuales que las hacen atractivas para numerosas aplicaciones potenciales en diferentes campos que incluyen la óptica, optoelectrónica, catálisis, las ciencias médicas, farmacéuticas y biotecnológicas para el desarrollo de agentes antimicrobianos, terapéuticos, biosensores, administración de fármacos, terapia génica, diagnóstico de enfermedades, entre otras (Durán et al., 2005; Meenal et al., 2003; Ahmad et al., 2003).

En las últimas décadas, se han evaluado algunos microorganismos, o productos de los mismos, como potenciales agentes reductores y estabilizadores en la síntesis de NPAg y NPAu (Hussain et al., 2003; Shahverdi et al., 2007; Lin et al., 2005; Ahmad et al., 2003). Se ha demostrado que sobrenadantes de los cultivos de ciertas especies bacterianas como *Bacillus subtilis, Klebsiella pneumoniae, Escherichia coli* y *Enterobacter cloa-*

cae, son capaces de promover la síntesis extracelular de NPAg, con tan solo exponer durante un periodo de cinco minutos sales de plata ante los extractos filtrados de estos microorganismos (Shahverdi et al., 2007). Algunas especies también son capaces de reducir iones de oro y plata en solución o transportar los iones metálicos al interior de la célula bacteriana para sintetizar NP metálicas en presencia de enzimas o bien mediante la secreción de agentes reductores (enzimas) hacia el medio de cultivo (Li et al., 2011; Shahverdi et al., 2007).

Si bien el mecanismo exacto de producción intra o extracelular de NP a partir de bacterias, o biomasa de ellas no se conoce exactamente, uno de los procesos fundamentales en la síntesis biológica implica la biosorción y bioreducción (Lin et al., 2005). En este proceso, los iones metálicos en solución son generalmente absorbidos por los grupos químicos funcionales de los compuestos o biopolímeros que constituyen la pared celular del microorganismo y luego son reducidos *in situ* a átomos metálicos por medio de azúcares a partir de polisacáridos hidrolizados de la biomasa (Lin et al., 2005). Algunas enzimas presentes en los microorganismos como las reductasas, son también responsables de la reducción de metales (Durán et al., 2005; Li et al., 2011). En referencia a la nucleación y crecimiento de la estructura del nanomaterial, en su mayoría son controlados por proteínas, polímeros orgánicos extracelulares y otras biomacromoléculas producidas por microorganismos (Benzerara et al., 2011; Li et al., 2011; Cha et al., 1999; Klaus et al., 1999).

De esta manera se espera que los enfoques de la nanobiotecnología que emplea microorganismos o parte de ellos, mimetizando a los agentes reductores y/o estabilizadores químicos para llevar adelante la síntesis de NP tanto intra- como extracelulares, desempeñen un papel clave para que estos sean concebidos como posibles nanofábricas ecológicas emergentes.

3.1 Actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata

La versatilidad en el uso de las NPAg ha permitido emplearlas para múltiples aplicaciones en diferentes áreas; sin embargo, una de las características o aplicaciones que más relevancia ha demostrado es su actividad antimicrobiana eficaz contra varios microorganismos patógenos Gram positivos y Gram negativos, incluidas las cepas altamente multiresistentes (Panáček et al., 2006; Nanda & Saravanan, 2009; Durán et al., 2010; Li et al., 2011). Se sabe que los iones Ag+ y las NPAg exhiben una fuerte toxicidad para una amplia gama de microorganismos (Neal, 2008; Durán et al., 2016) y aunque se han logrado avances significativos en dilucidar el mecanismo antimicrobiano de las NPAg, el conocimiento al respecto es aún incompleto. El efecto inhibitorio y/o microbicida de las NPAg sobre los microorganismos, es probablemente la suma de diferentes puntos de acción. Estos posibles mecanismos de acción citotóxicos propuestos se pueden resumir de la siguiente manera:

1. **Adhesión a la superficie de la membrana celular y liberación de iones plata.** Las NPAg pueden anclarse a la superficie de la membrana y/o penetrarla, produciendo alteraciones en las propiedades estructurales de la misma, como el aumento en la permeabilidad de la membrana. Estas alteraciones en conjunto pueden desencadenar la muerte celular. Como se mencionó, las características de las NPAg proporcionan una gran superficie de contacto con microorganismos, lo cual facilita que las NP interaccionen con la membrana celular y penetren fácilmente en ellas produciendo una liberación controlada de Ag+ responsable del efecto tóxico (Wong & Liu, 2010). Las NPAg en un ambiente acuoso se oxidan, en presencia de oxígeno y protones, liberan iones Ag+ los cuales poseen una alta afinidad con los grupos donantes de electrones como los grupos sulfhidrilo, amino, tiol, imidazol, fosfato y carbonilo que están ampliamente presentes en las membranas o proteínas. Los

iones Ag+ se acumulan en la superficie y perturban la estructura tridimensional de la membrana, como así también su composición (ácidos grasos, proteínas, carbohidratos), ocasionando a su vez una alteración en su permeabilidad, generando una fuga de contenidos celulares y posterior disrupción. Además, las NPAg pueden unirse a las proteínas de membrana en donde los Ag+ interactúan con las proteínas de cadena respiratoria y de transporte interfiriendo dramáticamente en la cadena de respiración y transporte de iones a través de la membrana (Wong & Liu, 2010; Reidy et al., 2013) Dependiendo del alcance del daño en la membrana, las NPAg pueden incluso penetrar la célula, alcanzar el citoplasma e interactuar con biomoléculas como lípidos, proteínas, enzimas que contienen azufre y elementos que contienen fósforo, como el ADN y, por lo tanto, obstaculizar la división celular y la propagación microbiana. Las alteraciones en la permeabilidad y composición de la bicapa lipídica pueden culminar en una desestabilización total en la estructura de la membrana celular, perturbando sus funciones celulares esenciales y conduciendo finalmente a la muerte de la célula. Este daño de la membrana causado por las NPAg es uno de sus efectos tóxicos más pronunciados, y es al menos parcialmente responsable de la acción antimicrobiana de este nanomaterial (Durán et al., 2016).

2. Generación de EROs y radicales libres. Las NPAg, mediante una liberación sostenida de los iones Ag+ pueden generar una administración más efectiva de plata al citoplasma y membrana de bacterias (Xiu et al., 2012). Estos iones, presentes en un ambiente con un pH más bajo, pueden inducir a un aumento del estrés oxidativo, el cual está relacionado con la generación de especies reactivas de oxígeno (EROs) y radicales libres, como aniones superóxido (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radical hidroxilo (•OH), ácido hipocloroso (HClO) y el oxígeno singulete ($^1O_2$). La presencia de una cantidad excesiva de radicales libres puede provocar la

> hiperoxidación de los componentes esenciales de la membrana celular como así también de biomoléculas intracelulares fundamentales que incluyen proteínas, lípidos y ADN ocasionando importantes alteraciones en la estructura biológica de la célula y conduciéndola a una posterior muerte celular (Tang & Zheng, 2018; Wong & Liu, 2010; Rai et al., 2012; Kim et al., 2007; Xu et al., 2012). Estos daños oxidativos causados en la célula demuestran que la presencia de EROs y especies radicalarias generadas por los iones Ag+, mediante un metabolismo aeróbico, desempeñan un papel clave en el mecanismo de toxicidad de las NPAg.[10]

La consecuencia general de estos posibles mecanismos de acción, ya sea individuales o en conjunto, es la alteración en la funcionalidad del microorganismo garantizando así el efecto antimicrobiano. Estos mecanismos de acción al ser inespecíficos y tener múltiples sitios de acción tóxica dificultan al microorganismo a generar algún tipo de resistencia, lo que hace que las NPAg, sean un material o agente antimicrobiano sumamente interesante y útil para aplicaciones efectivas en el control de microorganismos patógenos.

Como se mencionó anteriormente, las NPAg son uno de los NM más estudiados para el desarrollo de nuevos agentes antimicrobianos. Sin embargo, el diseño de estos requiere de estructuras que puedan actuar como agentes estabilizantes (monocapas autoensambladas, surfactantes, polímeros o dendrímeros) que puedan ser absorbidos en la superficie de la NPAg evitando su aglomeración (Lee & Jun, 2019; Monge, 2009). Estos agentes no solo protegen a las NP y previenen su agregación, sino que juegan un rol importante en el control de su tamaño y forma. Es importante señalar que la exposición del cuerpo humano a las NPAg es cada vez mayor. La aplicación de las mismas como agente antimicrobiano en ámbitos de salud humana, para el control de microorganismos patógenos multiresistentes, es un ámbito promisorio, por lo cual resulta

necesario emplear como agentes estabilizantes compuestos seguros que no resulten nocivos para el ser humano.

Las bacterias ácido lácticas (BAL) son bacterias denominadas GRAS (*general regarding as safe*) que se utilizan principalmente en la industria alimentaria. Algunas de ellas son capaces de formar exopolisacáridos (EPS) como producto de su metabolismo, siendo éste a la vez un compuesto bioactivo que puede actuar como un excelente agente estabilizantes para ser utilizado en síntesis de NP. Se demostró que el empleo de EPS purificado de *Weissella cibaria* proveniente de BAL como agentes estabilizantes en la síntesis de NPAg genera un nanomaterial biocompatible para una potencial aplicación antimicrobiana. Se obtuvieron NPAg estables mediante síntesis fotoreductiva estabilizadas con EPS (NPAg@EPS) las cuales exhibieron un efecto antimicrobiano cepa dependiente según sean grampositivas o gramnegativas, siendo las primeras (*Staphylococcus aureus, Bacillus sp. y Micrococcus luteus*) sensibles a la acción de la NPAg@EPS (Figura 1a, b, Espeche Turbay et al., 2019).

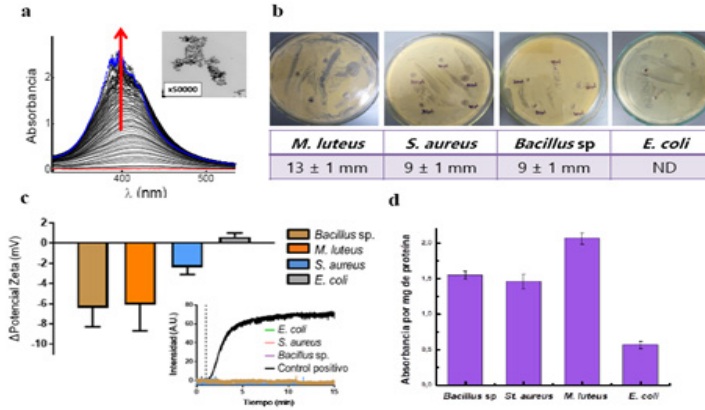


Figura 1. NPAg@EPS. a. Espectros de absorción de soluciones de $AgNO_3$ (0,2 mM), I-2959 (0,2 mM) y EPS (2 $mg.mL^{-1}$) a medida que transcurre el tiempo de irradiación con luz UVA. Inset: Imagen de TEM obtenida para NPAg@EPS. b. Ensayo de difusión en agar para

actividad antimicrobiana (N.D.: no detectable). c. Valores de pZ para las cepas tratadas con la NPAg@EPS. Inset: Evolución en el tiempo de la intensidad de fluorescencia de la sonda NPN en presencia de las cepas bacterianas tratadas con NPAg@EPS. d. Absorbancia por miligramo de proteína de la especie reducida NBT-formazan.

Para dilucidar un posible mecanismo de acción antimicrobiana de las NPAg@EPS sobre las cepas modelo susceptibles gram-positivas, se determinaron diferentes parámetros que permitan entender el efecto antimicrobiano de este nanomaterial. Mediante el uso de la técnica de potencial zeta (pZ), que permite medir indirectamente la carga superficial de una partícula en solución, en bacterias previa y posteriormente al tratamiento con NPAg@EPS, se evaluó si densidad de carga superficial de las mismas sufrían alguna modificación. Los resultados demostraron cambios significativos en el pZ de las cepas susceptibles luego del tratamiento, sin mostrar cambios significativos en E. coli (bacteria no sensible), denotando que existe una interacción entre el bionanomaterial y la superficie bacteriana (Figura 1c). Con estos resultados se procedió a evaluar mediante el empleo de una sonda fluorescente no polar 1-N-fenilnaftilamina (NPN), si este biomaterial era capaz además de inducir un efecto de permeabilización de membrana de las bacterias, siendo este el responsable de la actividad antimicrobiana.

La sonda NPN, de uso común en los estudios de biomembranas y de naturaleza no polar, ante alguna alteración en la integridad de la membrana es capaz de internalizarse dando como resultado un aumento en su fluorescencia (Loh et al., 1984). Los resultados observados no mostraron cambios en la fluorescencia del NPN luego del tratamiento de las cepas con las NPAg@EPS, indicando que, a pesar de interaccionar con la superficie bacteriana, el bionanomaterial no tiene la capacidad de perturbar la integridad de la membrana celular (Figura 1c).

Para evaluar si el posible mecanismo de acción de las NPAg@EPS responsable de la actividad antimicrobiana era

causado por la generación de EROs, se empleó la técnica de reducción de azul de nitrotetrazoilo (NBT) en las cepas previa y posteriormente al tratamiento con el bionanomaterial, medido a través de técnicas espectroscópicas. La técnica del NBT evalúa la formación de EROs indirectamente mediante la cuantificación espectroscópica del NBT-formazan, el cual es un producto de color azul oscuro. Dicho compuesto se forma por la reducción del NBT (incoloro) por acción de los EROs presentes en las bacterias (Green & Hill, 1984; Cantelli et al., 2020). Los resultados que se observan en la Figura 1d demuestran un aumento significativo de la especie reducida del NBT, medida espectrofotométricamente a 575 nm, en las cepas susceptibles con respecto al control negativo (cepa Gram negativa, *Escherichia coli* O157:H7). Esto indica que uno de los mecanismos de acción por el cual las NPAg@EPS exhiben su efecto antimicrobiano se encuentra asociado a la producción de EROs, que como se mencionó previamente, son especies altamente reactivas capaces de ejercer una acción nociva sobre las estructuras biológicas fundamentales llevando a un proceso de apoptosis en la célula microbiana.

La selectividad que presentan las NPAg@EPS sobre las bacterias, se correlaciona según sean grampositivas o gramnegativas. Esto puede deberse a la diferencia entre las especies en cuanto a su envoltura celular, dado a nivel de pared celular y membranas celulares; lo cual es materia de nuestro estudio (Dorado et al., 2022a).

3.2. Actividad catalítica de las nanopartículas de oro

Las nanopartículas de oro (NPAu) son NP metálicas que presentan fascinantes propiedades ópticas, magnéticas, químicas y electrónicas que las hacen versátiles para una amplia gama de aplicaciones entre las que se destaca su uso particularmen-

te interesante en catálisis (Hammami et al., 2021; Zhao & Jin, 2018; Hutchings & Edwards, 2012; Haruta et al., 1987; Thompson, 2007). La notable propiedad catalítica que presentan las NPAu se utiliza en numerosos campos, especialmente en la eliminación de contaminantes generados por los efluentes residuales provenientes de industrias textiles, farmacéuticas y papeleras, uno de los mayores desafíos de la biotecnología gris en los procesos de remediación ambiental. Los efluentes provenientes de la industria textil, que generalmente consisten en tintes o colorantes orgánicos, son una de las principales fuentes de graves problemas de contaminación en todo el mundo. Se calcula que aproximadamente entre el 10-25 % de los tintes textiles se pierden durante el proceso de teñido y el 2-20% se descargan directamente como efluentes acuosos donde son capaces de contaminar las cuencas de agua más cercanas, lo que a su vez tiene efectivos nocivos sobre el medio ambiente acuático ya que muchos de los colorantes liberados y sus productos de degradación son tóxicos (Zaharia & Daniel, 2012; Zaharia et al., 2009).

El 4-nitrofenol (4-NF) se observa a menudo en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, ya que se emplea ampliamente como precursor en la industria química en la generación de pesticidas, herbicidas, tintes sintéticos, entre otros. Este es uno de los contaminantes orgánicos, considerado prioritario debido a que el grupo nitro del 4-NF en los sistemas biológicos es bastante estable y tóxico lo que podría generar riesgos ya que es capaz de dañar el sistema nervioso central, hígado, riñones y sangre de humanos y animales (Nakagawa & Crosby, 1974; Zhang et al., 2003). En la legislación ambiental, el 4-NF se ha registrado como un elemento cancerígeno, teratogénico y mutagénico y, por lo tanto, peligroso para la vida humana (Aditya et al., 2017). Dada su elevada estabilidad, la degradación a niveles no peligrosos del 4-NF es un proceso muy difícil, y sin un tratamiento adecuado puede

permanecer en el medio ambiente durante un largo periodo de tiempo; por lo que es urgente desarrollar métodos verdes altamente eficientes para la degradación de este contaminante en el medio ambiente.

Numerosas investigaciones han demostrado que las NPAu son empleadas como catalizadores para la degradación de compuestos como el 4-NF y azul de metileno (Yuan et al., 2017a; Yuan et al., 2017b; Khoshnamvand et al., 2020). Sin embargo, la síntesis química de NPAu utiliza productos químicos que también son tóxicos para el medio ambiente y constituyen riesgos biológicos. En este sentido, la nanobiotecnología, a través del desarrollo de NPAu resulta ser un enfoque ecológico y simple para la eliminación de estos tintes tóxicos de efluentes contaminados. Como se mencionó para las NPAg, la síntesis biogénica de NP que emplea variedad de entidades biológicas, resulta una alternativa ecoamigable, de bajo costo y biocompatible que busca generar el menor impacto negativo en el medio ambiente. Las proteínas, ácidos grasos, azucares, enzimas y compuestos fenólicos que se encuentran en las fuentes o precursores biológicos juegan un papel importante tanto en la reducción de los iones metálicos a NP como en su estabilidad haciendo que este método sea comparable con otros métodos de síntesis en cuanto a costo y calidad de las NP obtenidas. Por este motivo, muchos sistemas biológicos, como las bacterias y su biomasa, se están explorando como nueva ruta de producción de NM seguros (Hammami et al., 2021).

Se ha demostrado que se obtienen NPAu estables a partir de extractos extracelulares de *Bacillus sp* cuando se adiciona $HAuCl_4$ 1 mM (NPAu@bc) (Figura 2a, Dorado et al., 2022b)

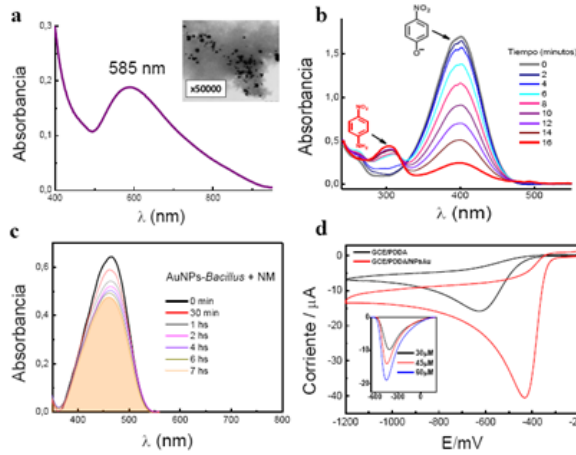


Figura 2. NPAu@bc. a. Espectro de absorción UV-visible de las NPAu sintetizadas biogénicamente. Inset: Imagen TEM obtenidas para NPAu@bc. b. Espectros de absorción UV-visible correspondientes a la reducción del 4-NF a 4-AF por acción catalítica de NPAu@bc. c. Espectros de absorción UV-visibles de la degradación foto-catalítica del colorante naranja de metilo en presencia de NPAu@bc. d. Voltagrama cíclico registrado para 4-NF sobre un electrodo de carbono vítreo modificado con un policatión (PDDA, polidialildimetil amonio) (línea negra) y electrodo de carbono vítreo con PDDA, sobre el cual se depositan las NPAu@bc (línea roja). Inset: Voltametría diferencial de pulso para diferentes concentraciones del 4-NF.

Se evaluó la capacidad catalítica de las NPAu@bc sintetizadas biogénicamente en la reducción del contaminante 4-NF a 4-aminofenol (4-AF) en presencia de NaBH4. A pesar de que el NaBH4 es un fuerte agente reductor, el mismo no es capaz de reducir al 4-NF sin el empleo de un catalizador. Las NP metálicas como las NPAu son capaces de actuar como catalizador acelerando la reacción de hidrogenación de 4-NF a 4-AF (Huo et al., 2018). La mezcla del 4-NF y el agente reductor NaBH4 da lugar a la formación de iones 4-nitrofenolato que presentan una intensidad de absorción máxima característica de alred-

edor de 400 nm. Como se muestra en la figura. 2b, luego de agregar las NPAu@bc a la mezcla, el pico de absorción máximo disminuye gradualmente como consecuencia de la formación del 4-AF (λmáx= 310 nm), indicando un papel catalítico eficaz por parte de las NPAu@bc con un porcentaje superior al 50 % en la degradación del contaminante 4-NF (Dorado et al., 2022b).

Se sabe que en presencia de luz solar, las NPAu son capaces de degradar fotocatalíticamente tintes contaminantes solubles que provienen principalmente de industrias textiles como el azul de metileno, naranja de metilo y rodamina (Paul et al., 2015; Baruah et al., 2018). La reacción de degradación reductora promovida por las NPAu se desencadena por la excitación de los electrones en los átomos de oro desde la banda de valencia de baja energía a la banda de conducción de alta energía en presencia de la luz solar. La presencia de la luz solar, proporciona la cantidad adecuada de energía a los electrones presentes dentro de los átomos de oro para superar la atracción del núcleo y saltar a la banda de conducción. Los electrones de la banda de valencia en la superficie del oro se transfieren a la molécula de colorante orgánico, lo que lleva a su degradación y posterior mineralización. Se probó entonces la eficiencia fotocatalítica de NPAu@bc para degradar el colorante naranja de metilo (NM). La degradación fotocatalítica del colorante por parte de las NPAu@bc se llevó a cabo bajo la irradiación de la luz solar y se evaluó mediante espectroscopia de absorbancia UV-Vis. La figura 2c muestra que la intensidad de absorción máxima centrada alrededor de los 460 nm característica del NM disminuyó progresivamente en presencia de las NPAu@bc demostrando que las mismas son efectivas y capaces de degradar fotocatalíticamente un 25 % del colorante NM (Dorado et al., 2022b).

Además del potencial uso de estas NP metálicas en la degradación y eliminación de metabolitos contaminantes, las NPAu son útiles en la detección de los mismos (Sivanesan &

Abraham John, 2009; Rodríguez et al., 2020). Se emplearon las NPAu@bc para modificar superficialmente electrodos serigrafiados de carbono (ESC), y emplear dichos dispositivos para la detección electroquímica del contaminante 4-NP. La reducción electroquímica de 4-NP sobre los electrodos se estudió por voltamperometría cíclica y voltametría diferencial de pulso. Los resultados muestran que las NPAu@bc otorgan propiedades electrocatalíticas eficientes a los ESC modificados en la reducción del 4-NP lo cual se evidencia por el incremento en la corriente de reducción medida y el corrimiento del potencial de pico a valores menos negativos. Esto podría estar asociado, también, a un aumento en el área electroactiva. Se observa, además, que la corriente de reducción es proporcional al aumento de concentración del 4-NP (Figura 2d). Estos resultados demuestran que las NPAu exhiben una excelente actividad electrocatalítica en comparación con los de un electrodo sin modificar. Las corrientes de reducción obtenidas, utilizadas como señal analítica, posibilitan la obtención de detección en el orden micromolar (Dorado et al., 2022b).

Se evidencia entonces que las NPAu sintetizadas biogénicamente a partir de *Bacillus* sp. pueden ser potenciales agentes de remediación de desechos generados en la industria textil, o bien ser empleadas para la detección de contaminantes provenientes de los efluentes de las mismas.

4. Conclusión

La síntesis ecoamigable de NM mediada por componentes naturales y/o biodegradables, incluidos polisacáridos, biopolímeros, vitaminas y extractos de plantas o microorganismos, representa un recurso sostenible para la biosíntesis de NP metálicas.

La ausencia de toxicidad y la biocompatibilidad de estas NP metálicas sintetizadas biogénicamente, cuando se utilizan en

dosis bajas, se ha convertido en un tema de estudio interesante y necesario para el área de la biotecnología en lo que se refiere al diseño de nuevas estructuras que puedan ser empleadas en problemáticas como la contaminación ambiental o como potenciales terapias alternativas para combatir la creciente resistencia que presentan muchos microorganismos patógenos a tratamientos del tipo convencional.

Podemos resumir que estas nuevas estrategias de síntesis verde que involucran el uso de microorganismos como las bacterias y sus extractos para obtener NP metálicas estables, proporcionan una tecnología factible, ecológica y de bajo costo, que se encuentra en pleno desarrollo y es materia de estudio actualmente en nuestro grupo de trabajo

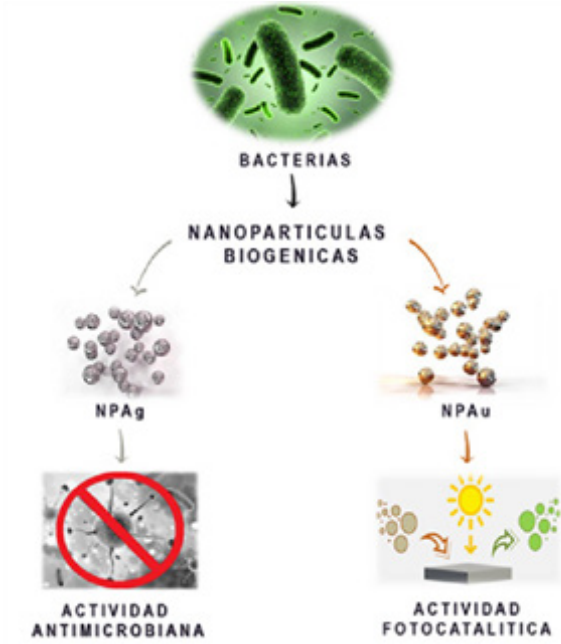


Figura 3. Producción biogénica de NP de plata (NPAg) y oro (NPAu) a partir de bacterias y sus aplicaciones.

Referencias

Abbasi, E., Milani, M., Aval, S. F., Kouhi, M., Akbarzadeh, A., Nasrabadi, H. T., Nikasa, P., Joo, S. W., Hanifehpour, Y., Nejati-Koshki, K., & Samiei, M. (2016). Silver nanoparticles: Synthesis methods, bio-applications and properties. *Critical Reviews in Microbiolo*gy, 42(2), 173–180.

Aditya, T., Jana, J., Singh, N. K., Pal, A., & Pal, T. (2017). Remarkable Facet Selective Reduction of 4-Nitrophenol by Morphologically Tailored (111) Faceted Cu2O Nanocatalyst. ACS *Omega*, 2(5), 1968–1984.

Ahmad, A., Senapati, S., Khan, M. I., Kumar, R., & Sastry, M. (2003). Extracellular Biosynthesis of Monodisperse Gold Nanoparticles by a Novel Extremophilic Actinomycete, Thermomonospora sp. *Langmuir*, 19, 3550–3553.

Akter, S., & Huq, M. A. (2020). Biologically rapid synthesis of silver nanoparticles by Sphingobium sp. MAH-11T and their antibacterial activity and mechanisms investigation against drug-resistant pathogenic microbes. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 48(1), 672–682.

Baruah, D., Goswami, M., Yadav, R. N. S., Yadav, A., & Das, A. M. (2018). Biogenic synthesis of gold nanoparticles and their application in photocatalytic degradation of toxic dyes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 186, 51–58.

Benzerara, K., Miot, J., Morin, G., Ona-Nguema, G., Skouri-Panet, F., & Férard, C. (2011). Significance, mechanisms and environmental implications of microbial biomineralization. *Comptes Rendus Geoscience*, 343, 160–167.

Biswas, P., & Wu, C. (2005). Journal of the Air & Waste Management Nanoparticles and the Environment Nanoparticles and the Environment. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 55(6), 708–746.

Bönnemann, H., & Richards, R. M. (2001). Nanoscopic metal particles - Synthetic methods and potential applications. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 10, 2455–2480.

Cantelli, A., Piro, F., Pecchini, P., Di Giosia, M., Danielli, A., & Calvaresi, M. (2020). Concanavalin A-Rose Bengal bioconjugate for targeted Gram-negative antimicrobial photodynamic therapy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 206, 111852.

Cha, J. N., Shimizu, K., Zhou, Y., Christiansen, S. C., Chmelka, B. F., Stucky, G. D., & Morse, D. E. (1999). Silicatein filaments and subunits from a marine sponge direct the polymerization of silica and silicones in vitro. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 361–365.

De Lima, R., Seabra, A. B., & Durán, N. (2012). Silver nanoparticles: A brief review of cytotoxicity and genotoxicity of chemically and biogenically synthesized nanoparticles. *Journal of Applied Toxicology*, 32, 867–879.

De Morais, M. G., Martins, V. G., Steffens, D., Pranke, P., & Da Costa, J. A. V. (2014). Biological Applications of Nanobiotechnology. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14, 1007–1017.

Dorado, R. D., Pécora, L. A., Rey, V., Hollmann, A., & Espeche Turbay, M. B. (2022a). Evaluación del mecanismo antimicrobiano de nanopartículas de plata estabilizadas con exopolisacáridos. In *Nanociencia y Nanotecnologia. XXI Encuentro de Superficies y Materiales Nanoestructurados*. (NANO 2022) (p. 141).

Dorado, R., Jugo Giuggiolini, A., Rey, V., Paz Zanini, V., Romero, C., & Espeche Turbay, M. (2022b). Nanopartículas de oro como potenciales sensores y descontaminantes ambientales. In *VIII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental* (SETAC2022) (p. 124).

Durán, N., Durán, M., de Jesus, M. B., Seabra, A. B., Fávaro, W. J., & Nakazato, G. (2016). Silver nanoparticles: A new view on mechanistic aspects on antimicrobial activity. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 12(3), 789–799.

Durán, N., Marcato, P. D., Alves, O. L., De Souza, G. I. H., & Esposito, E. (2005). Mechanistic aspects of biosynthesis of silver

nanoparticles by several Fusarium oxysporum strains. J*ournal of Nanobiotechnology*, 3(8), 1–7.

Durán, N., Marcato, P. D., De Conti, R., Alves, O. L., Costa, F. T. M., & Brocchi, M. (2010). Potential use of silver nanoparticles on pathogenic bacteria, their toxicity and possible mechanisms of action. J*ournal of the Brazilian Chemical Society*, 21(6), 949–959.

Espeche Turbay, M., Rey, V., Torino, M., Dorado, R., Borsarelli, C., & Rodriguez, M. (2019). Synthesis of stabilized silver nanoparticles with exopolyssaccharides of lactic acid bacteria and evaluation of its antimicrobial activity. In *LV Annual SAIB Meeting and XIV PABMB Congress (SAIB2019). BIOCELL 43 (suppl.5)* (Vol. 43, p. 109).

Green, M. J., & Hill, H. A. O. (1984). *Chemistry of Dioxygen. Methods in Enzymology*, 105, 3–22.

Hammami, I., Alabdallah, N. M., Jomaa, A. Al, & Kamoun, M. (2021). Gold nanoparticles: Synthesis properties and applications. *Journal of King Saud University - Science*, 33(7).

Hamouda, R. A., Hussein, M. H., Abo-elmagd, R. A., & Bawazir, S. S. (2019). Synthesis and biological characterization of silver nanoparticles derived from the cyanobacterium Oscillatoria limnetica. *Scientific Reports*, 9(1), 1–17.

Haruta, M., Kobayashi, T., Sano, H., & Yamada, N. (1987). Novel Gold Catalysts for the Oxidation of Carbon Monoxide at a Temperature far Below 0 °C. *Chemistry Letters*, 16(2), 405–408.

Hernández Díaz, M. P. (2013). Síntesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con Opuntia sp. y su incorporación en membranas poliméricas nanofribosa.

Hosokawa, M., Nogi, K., Naito, M., & Yokoyama, T. (2018). Nanoparticle Technology Handbook. In *Nanoparticle Technology Handbook*.

Huo, C., Khoshnamvand, M., Liu, P., Yuan, C. G., & Cao, W. (2018). Eco-friendly approach for biosynthesis of silver nanoparticles using Citrus maxima peel extract and their characterization, catalytic, antioxidant and antimicrobial characteristics. *Materials Research Express*, 6(1).

Hussain, I., Brust, M., Papworth, A. J., & Cooper, A. I. (2003). Preparation of acrylate-stabilized gold and silver hydrosols and gold-polymer composite films. *Langmuir*, 19(11), 4831–4835.

Hutchings, G. J., & Edwards, J. K. (2012). Application of gold nanoparticles in catalysis. In *Frontiers of Nanoscience* (Vol. 3, pp. 249–293).

Khoshnamvand, M., Hao, Z., Huo, C., & Liu, J. (2020). Photocatalytic degradation of 4-nitrophenol pollutant and in vitro antioxidant assay of gold nanoparticles synthesized from Apium graveolens leaf and stem extracts. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 2433–2442.

Kim, J. S., Kuk, E., Yu, K. N., Kim, J. H., Park, S. J., Lee, H. J., Kim, S. H., Park, Y. K., Park, Y. H., Hwang, C. Y., Kim, Y. K., Lee, Y. S., Jeong, D. H., & Cho, M. H. (2007). Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 3, 95–101.

Klaus, T., Joerger, R., Olsson, E., & Granqvist, C. G. (1999). Silver-based crystalline nanoparticles, microbially fabricated. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(24), 13611–13614.

Lee, S. H., & Jun, B. H. (2019). Silver nanoparticles: Synthesis and application for nanomedicine. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 865.

Lewis, L. N. (1993). Chemical Catalysis by Colloids and Clusters. *Chemical Reviews*, 93, 2693–2730.

Li, X., Xu, H., Chen, Z. S., & Chen, G. (2011). Biosynthesis of nanoparticles by microorganisms and their applications. *Journal of Nanomaterials*, 2011, 1–16.

Lidén, G. (2011). The European Commission Tries to Define Nanomaterials. *Annals of Occupational Hygiene*, 55(1), 1–5.

Lin, Z., Wu, J., Xue, R., & Yang, Y. (2005). Spectroscopic characterization of Au3+ biosorption by waste biomass of Saccharomyces cerevisiae. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 61, 761–765.

Loh, B., Grant, C., & Hancock, R. E. W. (1984). Use of the fluorescent probe 1-N-phenylnaphthylamine to study the inte-

ractions of aminoglycoside antibiotics with the outer membrane of Pseudomonas aeruginosa. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 26(4), 546–551.

Meenal, K., Shriwas, A., Sharmin, K., W, V., J, U., SK, K., & KM, P. (2003). Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3. *Nanotechnology*, 14, 95–100.

Monge, M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *An. Quím.*, 105(1), 33–41.

Nakagawa, M., & Crosby, D. G. (1974). Photodecomposition of nitrofen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22(5), 849–853.

Nanda, A., & Saravanan, M. (2009). Biosynthesis of silver nanoparticles from Staphylococcus aureus and its antimicrobial activity against MRSA and MRSE. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 5, 452–456.

Neal, A. L. (2008). What can be inferred from bacterium-nanoparticle interactions about the potential consequences of environmental exposure to nanoparticles? *Ecotoxicology*, 17, 362–371.

Pacioni, N. L., Borsarelli, C. D., Rey, V., & Veglia, A. V. (2015). Synthetic Routes for the Preparation of Silver Nanoparticles: A Mechanistic Perspective. In *Silver Nanoparticle Applications* (pp. 13–46).

Panáček, A., Kvítek, L., Prucek, R., Kolář, M., Večeřová, R., Pizúrová, N., Sharma, V. K., Nevěčná, T., & Zbořil, R. (2006). Silver colloid nanoparticles: Synthesis, characterization, and their antibacterial activity. *Journal of Physical Chemistry B*, 110, 16248–16253.

Paul, B., Bhuyan, B., Dhar Purkayastha, D., Dey, M., & Dhar, S. S. (2015). Green synthesis of gold nanoparticles using Pogestemon benghalensis (B) O. Ktz. leaf extract and studies of their photocatalytic activity in degradation of methylene blue. *Materials Letters*, 148, 37–40.

Potocnik, J. (2011). European Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial, 2011/696/

EU. *Official Journal of the European Union,* 54, 275: 38-40.
Rai, M. K., Deshmukh, S. D., Ingle, A. P., & Gade, A. K. (2012). Silver nanoparticles: The powerful nanoweapon against multidrug-resistant bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 112, 841–852.
Reidy, B., Haase, A., Luch, A., Dawson, K. A., & Lynch, I. (2013). Mechanisms of silver nanoparticle release, transformation and toxicity: A critical review of current knowledge and recommendations for future studies and applications. *Materials*, 6, 2295–2350.
Rey, V., Gramajo, M. E., Giménez, R. E., Tuttolomondo, M. E., Morán, F. E., Sosa, M. C., & Borsarelli, C. D. (2018). Kinetics and growth mechanism of the photoinduced synthesis of silver nanoparticles stabilized with lysozyme. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 172, 10–16.
Rey, V., Rodriguez, M. C., Dorado, R. D., Torino, M. I., Borsarelli, C. D., & Espeche Turbay, M. B. (2021). Estrategias tecnológicas para el tratamiento de patógenos resistentes y multiresistentes. In *Aportes de la FAyA para el desarrollo* (pp. 59–69).
Rodríguez, A., Fernández, L., & Espinoza-Montero, P. (2020). Modified electrodes with gold nanoparticles and their application in electrochemical biosensors using horseradish peroxidase as a biological bioreconosimento system: detection of hydrogen peroxide. *InfoANALÍTICA NUMERO ESPECIAL*, 101–132.
Rothaermel, F. T., & Thursby, M. (2007). The nanotech versus the biotech revolution: Sources of productivity in incumbent firm research. *Research Policy*, 36, 832–849.
Shahverdi, A. R., Minaeian, S., Shahverdi, H. R., Jamalifar, H., & Nohi, A. A. (2007). Rapid synthesis of silver nanoparticles using culture supernatants of Enterobacteria: A novel biological approach. *Process Biochemistry*, 42, 919–923.
Sivanesan, A., & Abraham John, S. (2009). Gold nanoparticles modified electrodes for biosensors. In Nanostructured *Materials for Electrochemical Biosensors* (pp. 97–128).
Tang, S., & Zheng, J. (2018). Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. Advanced Healthcare *Mate-*

rials, 1701503, 1–10.

Thompson, D. T. (2007). Using gold nanoparticles for catalysis. *Nano Today*, 2(4), 40–43.

Wang, Y., & Xia, Y. (2004). Bottom-Up and Top-Down Approaches to the Synthesis of Monodispersed Spherical Colloids of Low Melting-Point Metals. *Nano Letters*, 4(10), 2047–2050.

Wong, K. K. Y., & Liu, X. (2010). Silver nanoparticles - The real "silver bullet" in clinical medicine? *Med. Chem. Commun*., 1, 125–131.

Xiu, Z. M., Zhang, Q. B., Puppala, H. L., Colvin, V. L., & Alvarez, P. J. J. (2012). Negligible particle-specific antibacterial activity of silver nanoparticles. *Nano Letters*, 12, 4271–4275.

Xu, H., Qu, F., Xu, H., Lai, W., Wang, Y. A., Aguilar, Z. P., & Wei, H. (2012). Role of reactive oxygen species in the antibacterial mechanism of silver nanoparticles on Escherichia coli O157:H7. *BioMetals*, 25, 45–53.

Yuan, C. G., Huo, C., Gui, B., & Cao, W. P. (2017a). Green synthesis of gold nanoparticles using Citrus maxima peel extract and their catalytic/antibacterial activities. *IET Nanobiotechnology*, 11(5), 523–530.

Yuan, C. G., Huo, C., Yu, S., & Gui, B. (2017b). Biosynthesis of gold nanoparticles using Capsicum annuum var. grossum pulp extract and its catalytic activity. Physica E: Low-Dimensional *Systems and Nanostructures*, 85, 19–26.

Zaharia, C., & Daniel, S. (2012). Textile Organic Dyes – Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents – A Critical Overview. In *Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention - Environmental and Analytical Update (*pp. 55–86).

Zaharia, C., Suteu, D., Muresan, A., Muresan, R., & Popescu, A. (2009). Textile wastewater treatment by homogeneous oxidation with hydrogen peroxide. *Environmental Engineering and Management Journal*, 8(6), 1359–1369.

Zhang, W., Xiao, X., An, T., Song, Z., Fu, J., Sheng, G., & Cui, M. (2003). Kinetics, degradation pathway and reaction mechanism of advanced oxidation of 4-nitrophenol in water by

a UV/H2O2 process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 78, 788–794.

Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen, W., & Gurunathan, S. (2016). Silver nanoparticles: Synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. International Journal of Molecular Sciences, 17(1534), 1–34.

Zhao, J., & Jin, R. (2018). Heterogeneous catalysis by gold and gold-based bimetal nanoclusters. *Nano Today*, 18, 86–102.

ELECTRODO DE PASTA DE CARBONO MODIFICADO CON UN POLIELECTROLITO CATIÓNICO Y NANOPARTÍCULAS DE ORO PARA LA DETECCIÓN ELECTROQUÍMICA DE ESPECIES INORGÁNICAS DE AS (III)

Fátima M. Villalba Varas[1], Verónica I. Paz Zanini[1,2]

Resumen

La existencia de arsénico (As) en el medio ambiente plantea graves amenazas para la salud mundial. Teniendo en cuenta su toxicidad, la detección de As es extremadamente importante. En el presente artículo se describe el diseño, desarrollo y caracterización de electrodos basados en pasta de carbono grafito modificado con nanopartículas de oro y polielectrolitos catiónicos, para la detección de especies inorgánicas de As (III) en muestras de agua. Los resultados demuestran que la técni-

1 Instituto de BioNanotecnología (INBIONATEC), Universidad Nacional de Santiago del Estero. CONICET. Santiago del Estero. Argentina

2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto de Ciencias Químicas. Santiago del Estero. Argentina

ca electroquímica aplicada en la determinación influye en los parámetros electroanalíticos. En este sentido, la voltametría de onda cuadrada posibilitó la obtención de límites de detección y cuantificación más bajos de As (III), en comparación con la voltametría diferencial de pulso.

Palabras clave: Arsénico, Nanopartículas de Oro, Pasta de Carbono, Electroanálisis

1. Introducción

El As es un metaloide muy común en la atmósfera, en rocas y suelos, en la hidrosfera y la biosfera. La exposición de los seres humanos al elemento ocurre a través del consumo de agua y alimentos contaminados (Argos et al., 2011). Por su parte, la contaminación de As ocurre por su liberación a suelos y acuíferos debido a procesos naturales como fenómenos volcánicos y desintegración de rocas. Pero también las actividades humanas como la minería, los procesos industriales, la fundición de metales, la producción de pesticidas y de preservantes de la madera, por ejemplo, aportan una contaminación adicional en suelos y acuíferos.

El As es uno de los contaminantes inorgánicos más tóxicos, y puede encontrarse tanto en aguas subterráneas, como en aguas superficiales. Sin embargo, es más frecuente en aguas subterráneas, dado que el mineral que, en general se encuentra en el suelo, termina por disolverse al estar tanto tiempo en contacto con el agua, dando lugar a altas concentraciones del mismo (Sepúlveda Saa, 2009).

Los niveles de As en el ambiente son variables ya que puede unirse a partículas, y hasta cambiar de estado de oxidación al reaccionar con oxígeno u otros compuestos presentes en el aire, agua o suelo; o bien, por acción de microorganismos.

De allí, su amplia distribución en diversos ambientes naturales, incluida la atmósfera. El As está presente en aguas naturales, generalmente en formas oxidadas extremadamente tóxicas. La toxicidad depende de la especie química, incluidas las especies orgánicas; por ejemplo, el As (III) es considerado unas sesenta veces más tóxico que el As (V). En el agua, los niveles de As son, en general, menores en las superficiales (mares, ríos y lagos), y más elevados en las subterráneas; especialmente en áreas con depósitos de roca volcánica o de minerales ricos en As (fuentes de contaminación naturales).

De los 120 países que han sufrido los mayores impactos en la salud por este contaminante, el nuestro se encuentra entre los seis más afectados (RSA-CONICET, 2018). En este sentido, en Argentina, se han detectado altas concentraciones de As en aguas en la llanura Chaco-Pampeana, en la región andina de Cuyo, en la región central y en el noroeste del país. Los valores de concentración llegan hasta los 1.000 µg/L en aguas provenientes de pozos subterráneos; siendo Córdoba, Santiago del Estero y Chaco las provincias más afectadas (Villaamil Lepori, 2015).

Una serie de problemas en la salud, vinculados a la ingesta de agua con altos contenidos de As, han sido descriptos y, genéricamente, se conocen como HACRE (Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico). Es una enfermedad crónica que se manifiesta principalmente por alteraciones dermatológicas como melanodermia, leucodermia y/o queratosis palmoplantar, evolucionando hacia patologías más graves como distintos tipos de cáncer (Bundschuh et al., 2016).

La presencia de As en el agua compromete enormemente este valioso recurso como fuente de bebida humana e impide también el crecimiento socioeconómico, la sostenibilidad del uso racional de los suelos y el desarrollo sostenible de la agricultura; razón por la cual, la presencia de altos niveles de As en el agua es un tema prioritario de preocupación ambiental.

En este contexto, cualquier posible acción de saneamiento, requiere una detección temprana del contaminante, que implique herramientas analíticas que sean simples, accesibles y que, además, posibiliten realizar mediciones en campo. Esto es especialmente importante en regiones como la Chaco-Pampeana donde la distribución espacial del arsénico en los acuíferos es muy variable. Por otro lado, cabe destacar que la capacidad analítica disponible en nuestro país, para la detección de As, está concentrada en CABA y en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires; las que reúnen el 66 % de los laboratorios. El resto se distribuye entre La Pampa (9%), Mendoza (5%), Tucumán (4%), San Luis (4%), Rio Negro (4%) y Misiones (4%). Estos datos corresponden a encuestas realizadas sobre la existencia en nuestro país de laboratorios que cuentan con tecnologías para la determinación de arsénico en concentraciones mínimas de 10 µg/L (RSA-CONICET, 2018).

Las técnicas electroquímicas se presentan como potenciales métodos instrumentales por su elevada sensibilidad analítica y pueden ser implementadas por la gran mayoría de los laboratorios y, además, no requieren personal altamente calificado o preparado. Más aún, las técnicas electroanalíticas han demostrado ser una alternativa prometedora para el análisis tanto cualitativo como cuantitativo para reemplazar los métodos convencionales. En particular, una estrategia efectiva de control y monitoreo del As (y de cualquier otro contaminante de interés) es el diseño y desarrollo de sensores y biosensores electroquímicos para la detección, análisis y diagnóstico del mismo, dada su rápida respuesta, la elevada sensibilidad que los caracteriza, fácil manipulación, detección *in situ* y posibilidad de especiación del As (Sakira et al., 2015).

Las metodologías de detección electroquímica de As más eficientes surgieron con la modificación de electrodos utilizando materiales novedosos (nanoestructurados o híbridos), que posibilitaron la obtención de parámetros analíticos mejorados

(menores límites de detección, mayores sensibilidades, rangos de linealidad más amplios) (Tiwari et al., 2017). En este sentido, el diseño de nuevos materiales en la nanoescala ha adquirido cada vez mayor importancia en los últimos años. Actualmente se reconoce que estos presentan propiedades catalíticas y de detección mejoradas en comparación con sus contrapartes a granel. Además, se sabe que los materiales de electrodos basados en nanopartículas o micropartículas presentan una mayor selectividad hacia la detección de As (Ottakam Thotiyl et al., 2012) y han permitido la detección de concentraciones traza del metaloide. Entre estos materiales, las nanopartículas metálicas son las de mayor interés debido a que ofrecen ventajas tales como una excelente conductividad y propiedades catalíticas y un rápido transporte de masa por difusión hemisférica (Sakira et al., 2015). Así mismo, el oro ha demostrado ser un sustrato excelente para la detección voltamperométrica del As, y la inclusión de AuNP en sistemas autoensamblados, junto con polielectrolitos catiónicos, da lugar a plataformas de detección electroquímica con características analíticas destacadas (Ottakam Thotiyl et al., 2012). Los sistemas autoensamblados son un tipo controlado de estructuras en las cuales uno o más componentes se encuentran confinados espacialmente a través de la generación espontánea de conexiones, que van desde las interacciones electrostáticas hasta las uniones covalentes, resultando en la formación de entidades discretas o extendidas a escala molecular o supramolecular.

La utilización de interacciones electrostáticas para la obtención de multicapas por ensamblaje alternado entre nanopartículas metálicas y polielectrolitos se ha mostrado como una metodología prometedora en los últimos años. Una de las grandes ventajas de esta metodología es que permite obtener un control muy preciso sobre la composición y el espesor del sistema de multicapas, de forma tal que sus propiedades dependen estrechamente del diseño del proceso de preparación.

Así mismo, otra de sus características más destacadas, es la gran versatilidad que ofrecen; dado que se puede implementar sobre una gran variedad de sustratos (vidrio, plástico, fibra, metal, madera), en condiciones normales de temperatura y humedad, y, en términos generales, sin la necesidad de condiciones experimentales extremas.

Los electrodos de pasta de carbono grafito (EPC) se han utilizado ampliamente en química electroanalítica debido a su facilidad de construcción y versatilidad. La mayor parte de las investigaciones orientadas a la modificación de los EPC, involucra simultáneamente cambios tanto en la superficie y en toda la masa de la pasta. En este sentido, y hasta donde sabemos, existen muy pocos estudios sobre la modificación superficial de los EPC mediante la formación de multicapas autoensambladas de polielectrolitos y AuNP.

El objetivo principal del presente trabajo es diseñar, preparar y caracterizar superficies nanoestructuradas, construidas sobre la superficie de EPC, mediante la metodología de ensamblado electrostático de AuNP y un polielectrolito bioinspirado, para su aplicación en el desarrollo de sensores para la cuantificación de especies de As (III).

2. Materiales y métodos

2.1 Reactivos y soluciones

Para la preparación de los electrodos se utilizó polvo de grafito grado 38, de marca Fisher, y vaselina liquida pura Marca EWE. El resto de los reactivos y su respectiva siguiente procedencia fueron los siguientes: aceite mineral y $HAuCl_4$.H2O (ácido tetracloroaurico) al 99,99% de Sigma-Aldrich, EE. UU; $Na_3C_6H_5O_7$.2H_2O (citrato de sodio), NaH_2PO_4, Na_2HPO_4 y KCl de Cicarelli y el $[Fe(CN)_6]^{3-}$ de Anedra. Los polielectrolitos bioins-

pirados de vinilbencil timina (VBT) con monómeros catiónicos de cloruro de vinilbencil trietilamonio (VBA), en proporción 1:16 (VBT-VBA 1:16) fueron generosamente proporcionados por la Dra. Débora Martino. Todas las soluciones fueron preparadas utilizando agua ultrapura (Milli Q, Millipore).

2.2 Síntesis de nanopartículas de oro

El método de reducción de iones metálicos más utilizado en la síntesis de AuNP de forma esférica, debido a su sencillez, es el "método de Turkevich" (Frenz, 1973), que utiliza una solución al 0,01 % p/p de $HAuCl_4.3H_2O$, y una solución al 1% p/v de $Na_3C_6H_5O_7.2H_2O$.

Para la síntesis de las AuNP, 50 mL de la solución de $HAuCl_4.3H_2O$ fueron calentados hasta ebullición, momento en el que se agregaron 1,25 mL de la solución de $Na_3C_6H_5O_7.2H_2O$, continuando con el calentamiento durante 5 minutos más. Durante todo el procedimiento, el sistema se mantuvo bajo condiciones de agitación mecánica.

La formación de las AuNP puede evidenciarse visualmente por un cambio de coloración de la solución de amarillo pálido a un rojo brillante, este último característico de las AuNP (Figura 1).

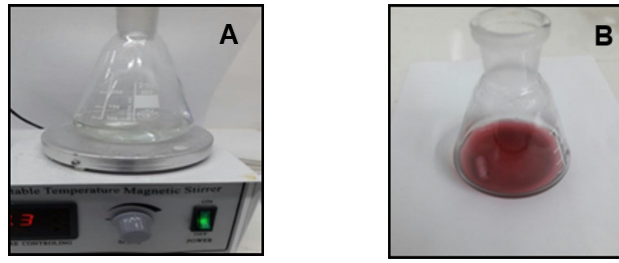


Figura 1. Fotografías de la mezcla reaccionante antes (A) y después (B) de la formación de las AuNP

Posteriormente a la síntesis, las suspensiones coloidales de las AuNP se guardan en la oscuridad, a 4° C.

Para comprobar que la síntesis satisfactoria de los nanomateriales, se registró el espectro UV-visible, utilizando un espectrofotómetro UV-visible Hewlett-Packard 8453 A con arreglo de diodos. El diámetro hidrodinámico (DLS) de las AuNP se obtuvo mediante dispersión de luz dinámica, empleando un equipo HORIBA SZ-100, mientras que, por microscopía electrónica de transmisión de alta resolución, utilizando un microscopio de transmisión electrónica (TEM, Transmission Electron Microscope) Jeol JEM 1220 EXII, acelerado con un voltaje de 80 kV, se consiguió una imagen de coloides logrados.

2.3 Preparación del electrodo de pasta de carbono

El EPC se preparó mezclando polvo de grafito y un aglutinante (aceite vegetal o vaselina), mediante molienda usando un mortero de ágata, durante unos 30 minutos. La pasta homogénea resultante se introdujo en un tubo de teflón, conectado a su vez a un tornillo de metálico que funciona como conductor eléctrico. La superficie del electrodo es renovada sobre un papel liso y enjuagada con agua destilada, previamente a la construcción del sistema de capas autoensambladas.

2.4 Incorporación de las AuNP sintetizadas utilizando la técnica de autoensamblado con polielectrolitos

La incorporación de las AuNP se llevó a cabo mediante adsorción alternada con polielectrolitos catiónicos, utilizando la metodología de autoensamblaje capa por capa. Se utilizó un polímero resultante de la copolimerización VBT y el VBA, VBT-VBA 1:16. Se ha demostrado que la adsorción de AuNP sobre el VBT-VBA 1:16, da lugar a películas con interesantes características plasmónicas y eléctricas (Gulotta et al., 2021). Previa a la

adsorción de las capas de AuNP y VBT-VBA 1:16, la superficie de los EPC, son oxidadas electroquímicamente en un medio alcalino. Se ha informado que esta oxidación da lugar a una depleción de la capa de aceite sobre la superficie, con el consiguiente aumento en la hidrofilia de la misma (Motta & Guadalupe, 1994) y posibilita, además, la obtención de resultados más reproducibles.

La película de multicapas se construye sobre estas superficies mediante la adsorción alternada del VBT-VBA 1:16 y las AuNP.

2.5 Medidas electroquímicas

La voltametría comprende un grupo de técnicas electroquímicas que se basan en la respuesta corriente-potencial de un electrodo polarizable en la solución que contiene el analito de interés. En estas técnicas, se estudian los cambios de corriente, como una función del potencial aplicado a través de la celda electroquímica. En el presente trabajo, se utilizó voltametria cíclica (VC) para caracterizar el sistema, empleando un mediador rédox típico, el $[Fe(CN)_6]^{3-}$. La voltametría de pulso diferencial (DPV) y la voltametría de onda cuadrada (SWV) son técnicas de voltamétricas de pulso rápidas y sensibles, ampliamente utilizadas en electronálisis, debido a que su método de muestreo de corriente minimiza la corriente de carga (procesos no faradaicos). La DPV es una técnica que consiste en aplicar pulsos de potencial de amplitud en un potencial de rampa lineal. El potencial base aumenta entre pulsos con incrementos iguales. Por su parte, en la SWV se aplica al electrodo de trabajo una onda de potencial compuesta por una onda cuadrada simétrica que se superpone a una escalera base.

En todos los casos (VC, DPV y SWV), los experimentos electroquímicos se llevaron a cabo utilizando un potenciostato PGSTAT 30 (Autolab), en una celda electroquímica de tres

electrodos, usando un alambre de platino de gran superficie como contraelectrodo y como referencia, un electrodo de Ag | AgCl | Cl- (3 M).

3. Resultados y discusiones

3.1 Caracterización de AuNP

La caracterización de las AuNP obtenidas se llevó a cabo mediante absorción UV-visible. La figura 2A muestra el espectro de absorbancia obtenido para la suspensión de AuNP sintetizadas. Se observa una banda con máximo de absorbancia que se ubica alrededor de los 520 nm, la cual corresponde a la banda de resonancia del plasmon superficial de las AuNP, y la posición de la misma es característica para los coloides de oro (Amendola et. al., 2017). Así mismo, dado que la banda no presenta ensanchamiento o cor-rimiento hacia longitudes de onda mayores, se puede indicar que las AuNP se encuentran aisladas en la suspensión coloidal.

El diámetro de las AuNP, determinado por DLS, resultó en 13,4 nm (Figura 2B).

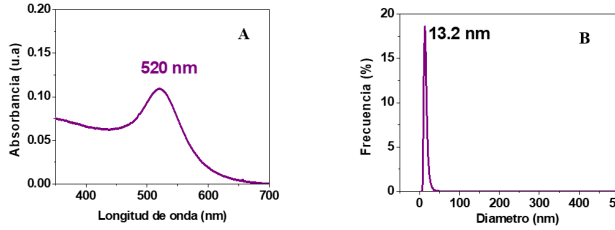


Figura 2. (A) Espectro de absorbancia de las AuNPs sintetizadas. (B) Tamaño de partícula obtenido por DLS.

El DLS, suele ser el método de primera elección para la determinación del diámetro de las AuNP. Este método considera

la capa de solvatación de las nanopartículas y también puede proporcionar información sobre estado de agregación de las mismas (Hinterwirth et al., 2013).

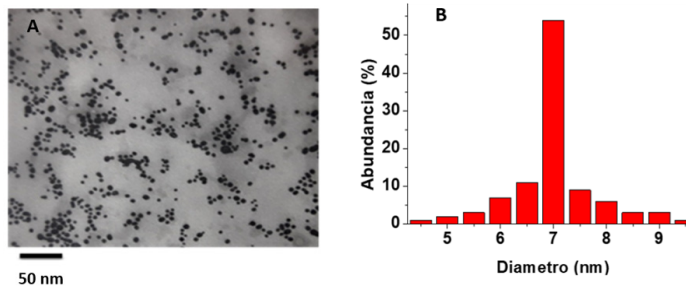


Figura 3. (A) Fotografía TEM de los coloides sintetizados. (B) Histograma de distribución de tamaño.

Los resultados, se complementan con imágenes de TEM (Figura 3A), que también posibilitan la determinación del diámetro, además de la distribución de tamaños (Figura 3B) y la forma de las AuNP.

Los resultados presentados en la Figura 3 muestran que las AuNP son esféricas, y confirman que se encuentran separadas unas de otras, con una estrecha distribución de tamaños (Figura 3B). El diámetro medio de las AuNP fue de 7 nm. La "no agregación" de los coloides puede explicarse en términos del efecto estabilizante de los aniones citrato, adsorbidos sobre la superficie de los mismos (Amendola et al., 2017).

Por otro lado, a partir del espectro de absorbancia también se estimó el diámetro de las AuNP, empleando la expresión de Haiss (ec.1):

$$d = \exp(B1\frac{A\,max}{A\,450} - B2) \qquad \text{ec.1}$$

Donde d es el diámetro de las nanopartículas, $A_{max,}$ la absorbancia del máximo (la obtenida a 520 nm en este caso), A_{450} la

absorbancia a 450 nm, B1 y B2 son parámetros teóricos iguales a 3 y 2,2, respectivamente (Haiss, Thanh, & Aveyard, 2007). A partir del espectro de absorbancia obtenido para las AuNP sintetizadas, y aplicando la ecuación 1, se obtuvo un diámetro promedio de 18,3 nm. Cabe destacar que la utilización de estos coeficientes introduce un error en el diámetro de aproximadamente un 11%. Esta desviación resulta del procedimiento de obtención de los coeficientes B1 y B2.

También es posible calcular el diámetro de las AuNP, usando la expresión de Khlebtsov (2008) (ec.2), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$d = 3 + 7{,}5x10^{-5} \cdot X^4 \qquad \text{si } X < 23$$

$$d = [\sqrt{X - 17} - 1]/0{,}06 \qquad \text{si } X > 23 \qquad \text{siendo } X = \lambda_{max} - 500 \qquad (2)$$

Donde d tiene el mismo significado que en la ec. 1, y X es la diferencia entre la longitud de onda de la absorbancia máxima y 500. Utilizando la ecuación propuesta por Khlebtsov, el diámetro calculado fue de 15 nm.

Es importante destacar que los valores de diámetro obtenidos por estas dos últimas estrategias involucran una serie de aproximaciones, que dan lugar a desviaciones significativas del valor real. Sin embargo, posibilitan una forma simple estimar el diámetro de las nanopartículas, a partir de la información obtenida de un espectro de absorbancia.

3.2 Optimización de la composición del EPC y oxidación superficial.

Se prepararon pastas de carbono con diferentes proporciones de polvo de grafito y aceite mineral o vaselina, estos últimos utilizados como agentes aglutinantes.

A fin de determinar la composición óptima, se llevaron a cabo experimentos de VC en una solución de $[Fe(CN)_6]^{3-}$ 10

mM preparada en 0,1M KCl (electrolito soporte) en un rango de potencial de -200 a 800 mV, a una velocidad de barrido de 100mV/s.

La figura 4 muestra los resultados obtenidos para las siguientes composiciones: Polvo de grafito + aceite mineral (70:30); Polvo de grafito + Vaselina (70:30) y Polvo de grafito + Vaselina (80:20), que indican en la figura como G/AM 70:30, G/V 70:30 y G/V 80:20, respectivamente.

La VC permite obtener información sobre la termodinámica de los procesos redox y cinética de las reacciones. Dos parámetros de interés, en estas medidas, son la relación de las corrientes máximas, $i_{p,a}/i_{p,c}$, y la separación de los potenciales de pico, ΔE (Diferencia entre los potenciales de pico anódico y catódico, Epa-Epc) (Bard & Faulkner, 2001). Los valores obtenidos se presentan en la tabla 1.

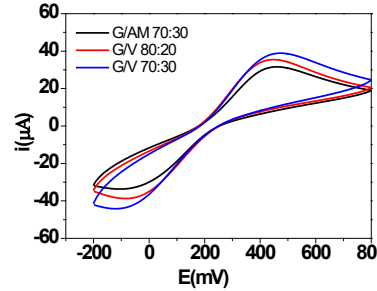


Figura 4. Voltagramas cíclicos registrados con EPC en $[Fe(CN)_6]^{3-}$ 10 mM preparado en 0,1M KCl a 100mV, entre -200 a 800 mV, para diferentes proporciones y tipo de aglutinante.

Se sabe que para una para una respuesta nernstiana, y con formación de un producto estable, el $i_{p,a}/i_{p,c} = 1$, independientemente de la velocidad de barrido. Por su parte, la magnitud de ΔE es un test útil para corroborar la reversibilidad de un proceso, cuyo valor debe ser 59/n mV a 25°C, siendo n la cantidad de electrones involucrados en el proceso rédox.

A partir de los resultados obtenidos para estos parámetros (Tabla 1), se seleccionó como electrodo de trabajo al de composición Polvo de grafito + Vaselina (80:20), por tener un ΔE menor; lo cual indicaría que la transferencia de electrones es más rápida para esa composición en comparación a las otras (Paz Zanini et al., 2017).

Una vez determinada la composición óptima de EPC, la superficie del mismo de oxida electroquímicamente en solución de carbonato de sodio saturado, durante 50 s a 1,2V. La figura 5 compara las características obtenidas para un electrodo limpio antes y después de la oxidación. Los valores de ΔE y $i_{p,a}/i_{p,c}$ fueron de 245 mV y 0,95; y 531 mV y 1,31, para el EPC oxidado y sin oxidar, respectivamente. Estos resultados demuestran que la oxidación en un medio alcalino mejora la transferencia de los electrones sobre la superficie del electrodo.

Composición	Relación	ΔE (mV)	i_{pa}/i_{pc}
Polvo de grafito + Aceite mineral	70:30	568	1,27
Polvo de grafito + Vaselina	70:30	591	1,30
Polvo de grafito + Vaselina	80:20	531	1,31

Tabla 1. ΔE y $i_{p,a}/i_{p,c}$ para cada composición de EPC.

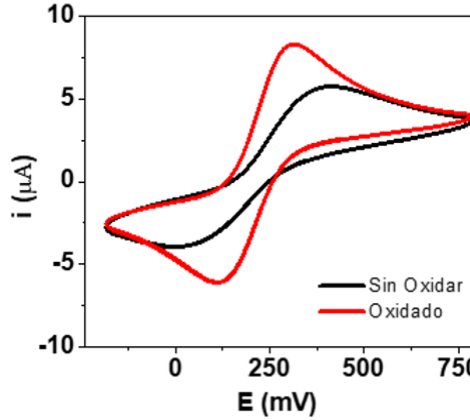


Figura 5. Corriente (i) vs Potencial (E). Voltagrama cíclico en $[Fe(CN)_6]^{3-}$ 10 mM preparada en 0,1M KCl a 100mVs^{-1}, entre -200 a 800 mV, para EPC antes (negro) y luego de ser oxidado (rojo).

Con el propósito de evaluar la influencia del tiempo de oxidación, se realizaron experimentos similares en los que la aplicación del potencial anódico se mantuvo durante 30, 60, 120, 240 y 300 segundos. Las respuestas voltámetricas en $[Fe(CN)_6]^{3-}$ obtenidas tras los diferentes procedimientos, se presentan en la figura 6. Los parámetros ΔE y $i_{p,a}/i_{p,c}$ para cada tiempo de oxidación, se muestran en la tabla 2. En función a los resultados obtenidos, se seleccionó el tiempo de 300 s, usando el mismo principio de análisis antes mencionado (menor ΔE en el voltagrama cíclico obtenido en $[Fe(CN)_6]^{3-}$).

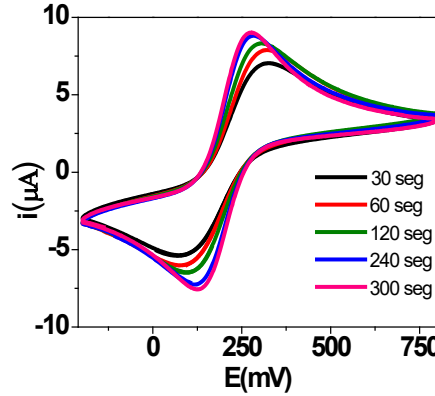


Fig. 6. Voltagramas cíclicos en $[Fe(CN)_6]^{3-}$ 10 mM preparada en 0,1M KCl a 100 mV s^{-1}, entre -200 a 800 mV, para diferentes tiempo de oxidación.

Tiempo de oxidación (s)	ΔE (mV)	$i_{p,a}/i_{pc}$
30	249	1,14
60	238	1,05
120	209	1,07
240	163	1,03
300	149	1,08

Tabla 2. ΔE y $i_{p,a}/i_{p,c}$ para los diferentes tiempos de oxidación de la superficie del EPC, en carbonato de sodio saturado.

3.3 Adsorción del VBT-VBA y las AuNP sobre la superficie de los EPC

La superficie oxidada del EPC (1,2 V durante 5 min), se enjuaga con abundantemente con agua ultrapura y se dejan secar. El VBT-VBA 1:16 se adsorbe mediante inmersión del EPC en una solución 0,5 mg mL^{-1} del polielectrolito, durante 30 min. Seguidamente, se enjuaga nuevamente con agua ultrapura y se adsorben las AuNP de manera similar, pero remplazando la solución del VBT-VBA 1:16 por la suspensión coloidal. La adsorción de las AuNP se lleva a cabo durante 60 min. En ambos casos, VBT-VBA 1:16 y AuNP, los tiempos de adsorción que se emplearon estuvieron acordes a los informado previamente en bibliografía (Gulotta et al., 2021).

3.4 Selección de técnica electroquímica para la determinación de As.

La detección electroquímica del As se llevó a cabo empleando las técnicas de DPV y SWV, con pre-acumulación de 120 s a -600mV y 190 s a -800 mV, respectivamente.

Para la primera de las técnicas, se utilizaron las siguientes condiciones experimentales: intervalo de tiempo de 0,5 s, tiempo de modulación de 0,05 s, amplitud de 0,07 V, y salto de potencial de 0,005 V. En el caso de la SWV, la amplitud de pulso fue de 40 mV, el ancho de pulso de 20 ms, el periodo de 40 ms, 25 Hz la frecuencia seleccionada y 5 mV el salto de potencial. Todas las condiciones experimentales fueron determinadas previamente, seleccionando los parámetros óptimos para cada técnica.

Para ambas técnicas (DPV, figura 7 y SWV, figura 8) se construyó una curva de calibración, a partir de las señales de corriente máxima obtenidas para diferentes concentraciones de arsenito de sodio.

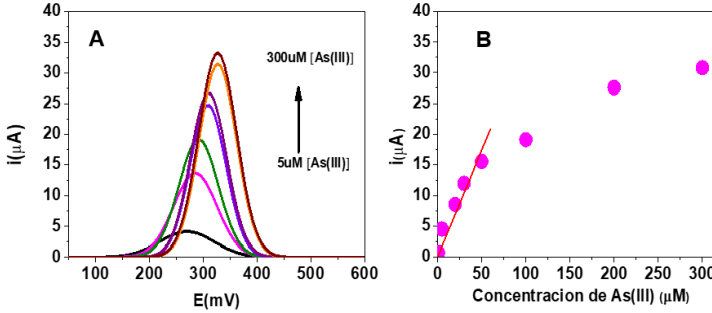


Figura 7. (A) DPV de EPC modificado con polímero VBT-VBA y AuNP a diferentes concentraciones de As (III). (B) Curva de calibración, corriente vs concentración de As (III)

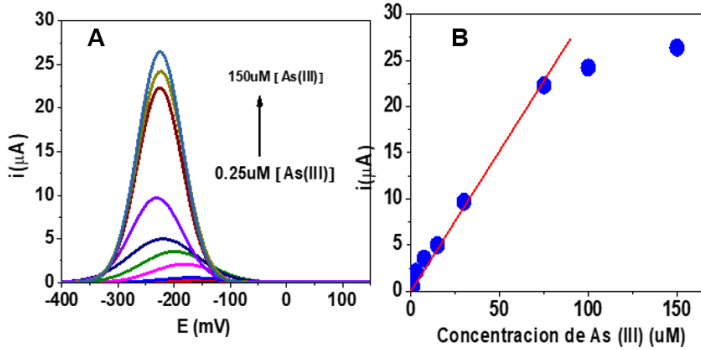


Figura 8. (A) SWV de EPC modificado con polímero VBT-VBA y AuNP a diferentes concentraciones de As (III). (B) Curva de calibración, corriente vs concentración de As (III).

A partir de las curvas de calibración, se calcularon los parámetros analíticos para cada técnica (Tabla 3). La sensibilidad fue calculada mediante la pendiente del ajuste lineal de la curva de corriente versus concentración. El límite de detección se obtuvo a través de la siguiente expresión: LD = 3,3 × SD /S, donde SD es la desviación estándar de la medida y S es la

sensibilidad del método. LD es la menor concentración que se puede detectar aplicando el método analítico con fiabilidad. Por su parte, el límite de cuantificación LQ = 3 × LD es la mínima cantidad de analito que se puede cuantificar.

Parámetros	DPV	SWV
Sensibilidad [μA/μM]	0,34 ±0,03	0,30 ±0,01
Límite de Detección [μM]	0,27	0,007
Límite de Cuantificación [μM]	0,81	0,02
Rango de Linealidad [μM]	5 a 50	0,25 a 80

Tabla 3. Parámetros analíticos obtenidos utilizando DPV y SWV.

Considerando los resultados obtenidos, se seleccionó a la SWV para llevar a cabo la detección y cuantificación de As (III) en muestras reales de agua subterránea, ya que esta técnica permite la cuantificación de concentraciones de hasta 0,02 μM, equivalente a 1,5 ppb de As (III), valor muy por debajo del límite establecido para este contaminante por la Organización Mundial de la Salud y el Código Alimentario Argentino.

3.5 Detección de As (III) en muestras reales

La muestra de agua, procedente de un pozo de agua a 70 m de la superficie (localidad de Buey Muerto, departamento Robles, Santiago del Estero), fue utilizada para la preparación del *buffer* fosfato (pH 7,0), y la cuantificación de As se llevó a cabo mediante el método de adición de estándar. La figura 9A muestra los voltagramas obtenidos mediante SWV, bajo las condiciones experimentales indicadas en la sección 3.4. A. El ajuste lineal de los valores de corriente obtenidos para cada concentración, (y = 2,42 + 0,62 x, R_2 = 0,99) permitió el cálculo del contenido de As (III) presente en la muestra de agua, el cual resultó en 292,7 ± 3,5 μg L_{-1}. Este valor fue comparado con el obtenido mediante el método de espectrometría de absorción atómica

con generación de hidruros, 290 ± 5 µg L_{-1}, no encontrándose diferencias significativas entre ambos.

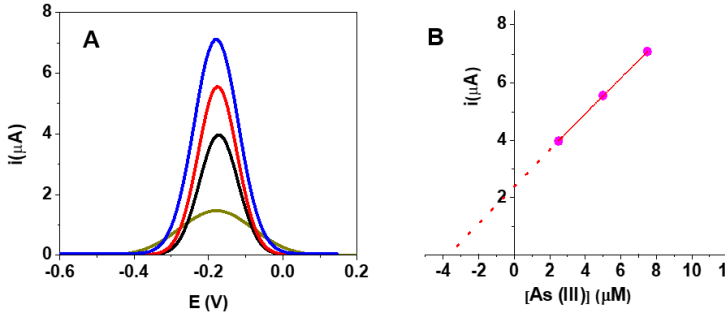


Figura 9. (A) Voltagramas obtenidos mediante SWV para EPC modificado con VBT-VBA/AuNP en la muestra de agua (verde) con agregado de concentraciones de 2,5 µM (negro), 5,0 µM (rojo) y 7,5 µM (azul) de As (III). (B) Corriente vs concentración agregada de As (III), con ajuste lineal y extrapolación.

4. Conclusiones

Los resultados demuestran que la oxidación de EPC en medio alcalino representa una alternativa interesante para la incorporación de capas de polielectrolitos catiónicos y AuNP en la superficie de los mismos.

El EPC modificado con el polielectrolito catiónico VBT-VBA 1:16 y las AuNP proporciona una respuesta electroquímica sensible y precisa para la cuantificación de As (III) en muestras reales de agua subterránea, por el método con adición estándar.

Los parámetros analíticos obtenidos tanto por SWV como por DPV demuestran que cualquiera de las técnicas sería adecuado para la detección de As, de acuerdo a los límites establecidos por la OMS y el CAA. Sin embargo, la SWV se presenta como óptima dado que presenta un menor LQ en comparación a la DPV.

Referencias

Amendola, V., Pilot, R., Frasconi, M., Maragò, O. M., & Iatì, M. A. (2017). Surface plasmon resonance in gold nanoparticles: A review. Journal of Physics Condensed Matter, 29(20). https://doi.org/10.1088/1361-648X/aa60f3

Argos, M., Kalra, T., Pierce, B. L., Chen, Y., Parvez, F., Islam, Ahsan, H. (2011). A prospective study of arsenic exposure from drinking water and incidence of skin lesions in Bangladesh. American Journal of Epidemiology, 174(2), 185–194. https://doi.org/10.1093/aje/kwr062

Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (2001). ELECTROCHEMICAL METHODS. Department of Chemistry and Biochemistry University of Texas at Austin (SECOND, Vol. 2). New York, NY: 2001.

Bundschuh, J., Pérez-Carrera, A., & Litter, M. (2016). IBEROARSEN - Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana (CYTED).

Frenz, G. (1973). Controlled Nucleation for the regulation of the particles size in monodisperse gold suspensions. Nat. Phys. Sci., 241, 3. Retrieved from https://bowmanlab.eng.uci.edu/files/2020/02/Frens-G-1973-Controlled-nucleation-of-monodisperse-Au-suspensions-Nature.pdf

Gulotta, F. A., Paz Zanini, V. I., López de Mishima, B. A., Martino, D. M., Linarez Pérez, O. E., & Ferreyra, N. F. (2021). Electrostatically mediated layer-by-layer assembly of a bioinspired thymine polycation and gold nanoparticles. Journal of Electroanalytical Chemistry, 883. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114895

Haiss, W., Thanh, N. T. K., & Aveyard, J. (2007). Determination of size and concentration of gold nanoparticles from UV-Vis spectra. Analytical Chemistry, 79(11), 4215–4221. https://doi.org/10.1021/ac0702084

Hinterwirth, H., Wiedmer, S. K., Moilanen, M., Lehner, A., Allmaier, G., Waitz, T., … Lämmerhofer, M. (2013). Comparative method evaluation for size and size-distribution analysis of

gold nanoparticles. Journal of Separation Science, 36(17), 2952–2961. https://doi.org/10.1002/jssc.201300460

Khlebtsov, N. G. (2008). Gold nanoparticles for the development of clinical diagnosis methods. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 80(No 17), 6620–6625. https://doi.org/10.1007/s00216-007-1768-z

Motta, N., & Guadalupe, A. R. (1994). Activated Carbon Paste Electrodes for Biosensors. Analytical Chemistry, 66(4), 566–571. https://doi.org/10.1021/ac00076a023

Ottakam Thotiyl, M. M., Basit, H., Sánchez, J. A., Goyer, C., Coche-Guerente, L., Dumy, P., … Moutet, J. C. (2012). Multilayer assemblies of polyelectrolyte-gold nanoparticles for the electrocatalytic oxidation and detection of arsenic(III). Journal of Colloid and Interface Science, 383(1), 130–139. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.06.033

Paz Zanini, V. I., Linarez, O. E., López, M., Labbé, P., Lopez de Mishima, B. A., & Borsarelli, C. D. (2017). Sensors and Actuators B : Chemical Development of a bioelectrode fabricated with a multilayer thin film of poly (diallyldimethylammonium)/ gold-nanoparticle / lactate oxidase for analysis of l -lactate in food samples. Sensors & Actuators: B. Chemical, 247, 830–839. https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.03.103

Paz Zanini, V. I., Linarez Pérez, O. E., Teijelo, M. L., Labbé, P., Lopez de Mishima, B. A., & Borsarelli, C. D. (2017). Development of a bioelectrode fabricated with a multilayer thin film of poly(diallyldimethylammonium)/gold-nanoparticle/lactate oxidase for analysis of L-lactate in food samples. Sensors and Actuators, B: Chemical, 247, 830–839. https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.03.103

RSA-CONICET. (2018). Arsénico en agua - Informe Final-31 de julio de 2018- issn 2618-2785- Red de seguridad alimentaria del CONICET.

Sakira, A. K., Somé, I. T., Ziemons, E., Dejaegher, B., Mertens, D., Hubert, P., & Kauffmann, J. M. (2015). Determination of Arsenic(III) at a Nanogold Modified Solid Carbon Paste Electrode. Electroanalysis, 27(2), 309–316. https://doi.org/10.1002/elan.201400485

Sepúlveda Saa, R. (2009). El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas. In Ciencia-Uanl (Vol. 12, pp. 239–244). Redalyc.

Tiwari, D., Zirlianngura, Lee, S. M., (2017). Fabrication of efficient and selective total arsenic sensor using the hybrid materials modified carbon paste electrodes. Journal of Electroanalytical Chemistry, 784, 109–114. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.11.051

Villaamil Lepori, E. C. (2015). Villaamil Lepori, E.C. 2015. Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina, Acta Bioquím Clín Latinoam, 49 (1): 83-104. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, (February 2016).

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE REACCIÓN EN LAS PROPIEDADES Y POSIBLES APLICACIONES DE PUNTOS CUÁNTICOS DE CARBONO DERIVADOS DE HOJAS Y CORTEZA DE *SCHINOPSIS LORENTZII* OBTENIDOS A TRAVÉS DE CARBONIZACIÓN HIDROTERMAL

Martin F. Montenegro[2], Valentina Rey[1,2], Faustino E. Morán Vieyra[1,2]

Resumen

Puntos cuánticos de carbono (CQDs) derivados de biomasa autóctona fueron sintetizados mediante carbonización hidrotermal en un solo paso. Estos se caracterizaron mediante microscopía electrónica de transmisión, espectroscopías UV-Vis, infrarroja con transformada de Fourier fluorescencia, y potencial Zeta, para estudiar el efecto de las condiciones de síntesis (temperatura y tiempo de reacción) sobre sus características y

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Santiago del Estero. Argentina
2 Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC). Universidad Nacional de Santiago del Estero. CONICET. Santiago del Estero. Argentina

aplicaciones. Las propiedades evaluadas mejoran a medida que las condiciones de síntesis se vuelven más severas (tiempo de reacción de 24 h y temperatura de 200°C). Además, se evaluó su aptitud como agente antibacteriano mostrando resultados promisorios al ser irradiados durante una hora con luz blanca.

Palabras clave: puntos cuánticos de carbono, CQDs, carbonización hidrotermal, *Schinopsis lorentzii*

1. Introducción

La nanotecnología ha dado lugar a nuevos materiales con diversas propiedades ópticas, electroquímicas, fotoquímicas y biológicas que permiten hacer frente a una gran diversidad de problemas actuales de forma eficiente, confiable, sustentable y accesible (Preeti, 2016). Entre las nanoestructuras carbonosas se pueden destacar los puntos cuánticos de carbono o *Carbon Quantum Dots* (CQDs) que se caracterizan por su tamaño (diámetro <10 nm generalmente), ser de fácil obtención dependiendo del método de síntesis elegido y, en este sentido, pueden presentar también la ventaja de bajo costo, toxicidad prácticamente nula, alta solubilidad en agua, fotoestabilidad y propiedades ópticas adecuadas. Así, a pesar de tratarse de un material descubierto hace relativamente poco tiempo, el estudio de sus características y aplicaciones se ha convertido en un tema de gran interés (Meng et al., 2019; Zulfajri et al., 2020). Particularmente se pueden mencionar posibles aplicaciones como en el desarrollo de sensores (Chen et al., 2019), fotocatalizadores, así como también en bioimágenes, terapia fotodinámica antibacterial (APDT), etc.

Las vías de síntesis de nanopartículas (NPs) pueden agruparse en las aproximaciones de arriba hacia abajo (*Top-down*) y las de abajo hacia arriba *(Bottom-up*). La primera consiste en la división de sólidos macroscópicos en porciones más pequeñas, mientras

que la segunda aproximación, consiste en la fabricación de NPs a través de la condensación de átomos o entidades moleculares en una fase gaseosa o en solución, enfoque mucho más popular en la síntesis de NPs.

Entre los métodos de obtención de CQDs, la carbonización hidrotermal ha crecido en popularidad debido a sus ventajas como la sencillez, bajo costo, es amigable con el ambiente, etc. (Chan et al., 2018). Esta técnica se ha aplicado frecuentemente debido a que permite también dopar durante la reacción de forma simple (por lo general con nitrógeno) y de esta manera mejorar las propiedades de los CQDs como el rendimiento cuántico de fotoluminiscencia, y así optimizar la eficiencia para determinadas aplicaciones. La reacción tiene lugar en un reactor hidrotermal de teflón y acero inoxidable a temperaturas mayores a 100 °C y 1 bar (Ng et al., 2021). Entre la gran variedad posibles de precursores, las plantas o partes de ellas son muy comunes. Esto permite explorar un amplio rango de posibilidades en cuanto a características de las NPs como así también sus aplicaciones (Zulfajri et al., 2020).

El quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*) es una especie arbórea nativa de Paraguay, Bolivia y Argentina. En este último se encuentra distribuido en la región noroeste, más precisamente en la subregión del Chaco Semiárido del Parque Chaqueño Argentino, siendo una de las especies dominantes del estrato superior que ha sufrido sobreexplotación en décadas pasadas (Giménez et al., 2015). En la actualidad, ha surgido un gran interés del estudio de las posibles aplicaciones en bionanotecnología de los recursos naturales nativos de la región, razón por la cual se decidió incluir esta especie en el presente trabajo.

En este trabajo se plantea la obtención de CQDs a través de carbonización hidrotermal de biomasa de la región norte de Argentina y estudiar la influencia de las condiciones de síntesis en sus propiedades y posibles aplicaciones. Además, se evaluaron sus aptitudes como agente antibacterial.

2. Experimental

2.1 Materiales

El material vegetal fue recolectado de individuos de *Schinopsis lorentzii* en la provincia de Santiago del Estero en buen estado sanitario, guardado, rotulado y luego lavado, secado y molido en laboratorio. Todos los reactivos fueron de grado analítico. Agua destilada y agua destilada estéril se emplearon en todos los experimentos.

2.2 Instrumentación y caracterización.

La carbonización hidrotermal se llevó a cabo en horno mufla ORL-III/P-PC. Imágenes TEM-AR fueron obtenidas con Microscopio Electrónico de Transmisión con unidad de Barrido (STEM) JEOL JEM 2100 plus. Los espectros de absorción UV-VIS fueron obtenidos con Espectrofotómetro UV Visible Agilent HP 8453. Se emplearon espectrofluorómetros Hitachi F 2500 y Cary Eclipse para tomar las medidas de emisión de fotoluminiscencia (PL). Los tiempos de vida de la PL fueron medidos mediante TCSPC (Horiba Jovin). Para la obtención de los espectros infrarrojos de los CQDs se empleó un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) JASCO 4600, aplicando la técnica de reflectancia total atenuada (ATR).

2.3 Síntesis de Carbon dots

Los CQDs fueron sintetizados mediante una simple carbonización hidrotermal de hojas y corteza de *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado santiagueño) en agua ultrapura, este proceso se esquematiza muy brevemente en la figura 1. Para la preparación de estas NPs se emplearon reactores con capacidades de 50 y 25 mL a los que se agregaron para la síntesis 30 y 15 mL

de agua destilada respectivamente, estableciendo relaciones precursor: agua de 1:25 y 1:50. El material vegetal previamente pesado fue agregado al volumen de agua correspondiente y esta mezcla fue sonicada por 15 minutos y luego transferida a reactor hiperbárico con camisa inerte de Teflon (Tefic Biotech) y llevado a horno-mufla.

Una vez finalizado el tiempo de carbonización (6, 12, 18 y 24 h) a distintas temperaturas (180 y 200 °C), los productos de las reacciones fueron centrifugados a 8000 rpm por 20 minutos y filtrados con filtros de jeringa de 0,22 µm. Estas soluciones fueron refrigeradas para su posterior caracterización. Se realizaron 14 síntesis de CQDs derivados de hojas y 8 de corteza.



Figura 1. Esquema simplificado del proceso de síntesis de CQDs.

2.4 Determinación de rendimiento cuántico de fluorescencia

Se usó sulfato de quinina en solución 0,5 M de ácido sulfúrico (QY= 54,6%, Brouwer, 2011) como estándar de referencia a una longitud de onda de excitación () a 320 nm. Los rendimientos cuánticos se calcularon en función de la ecuación 1:

$$\Phi_x = \Phi_{Ref} \frac{B_x}{B_{Ref}} \frac{\eta_x^2}{\eta_{Ref}^2} \frac{A_{Ref}}{A_x} 100 \qquad (1)$$

donde, Φ es el rendimiento cuántico, B es la pendiente de la recta obtenida a partir del gráfico de la intensidad de fluorescencia integrada en función de la absorbancia, indica el índice

de refracción del solvente y A la absorbancia. Los sufijos 'x' y 'Ref' refieren a la solución de CDs y el estándar de referencia respectivamente. Para este análisis las absorciones se mantuvieron por debajo de 0,1 (0,025; 0,05 y 0,076).

2.5 Ensayos de actividad antibacterial

La potencial actividad antimicrobiana (ATM) fue evaluada frente a *Escherichia coli* (gramnegativa) y *Staphylococcus aureus* (grampositiva), al ser irradiadas por una hora con luz blanca (Knoblauch et al., 2020; Sidhu et al., 2017).

Suspensiones líquidas de las bacterias fueron incubadas a 37 °C durante toda la noche con agitación, luego se procedió a su lavado y resuspensión en agua destilada estéril. Para el ensayo se emplearon 100 µL de muestra de microorgnimos y 100 µL de CQDs o controles (agua destilada estéril y extracto filtrado de hojas y corteza sin carbonizar) en dilución 1:10. La densidad óptica (DO) final de las suspensiones de bacterias utilizadas para el ensayo fue de 0,1. Una vez irradiadas las suspensiones, se tomó una alícuota y se realizaron diluciones seriadas y se sembró en placas con medio de cultivo Mueller Hinton Caldo e incubadas a 37 °C.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de estructural y espectroscópica de los CDs

3.1.1 Microscopía electrónica de transmisión de alta resolución

La estructura y morfología de las NPs se estudiaron a partir del análisis de imágenes obtenidas a través de microscopía de transmisión de electrones de alta resolución (TEM-AR). Las imágenes mostradas en las figuras 2a) y 2b) muestran la for-

ma casi esférica de los CQDs y de un tamaño medio de 5,6 nm calculado por el análisis estadístico de 108 CQD (Figura. 2c) y distancia interplanos de 0,22 nm. En la figura 2d) muestra el patrón de difracción en área seleccionada que evidencia la naturaleza cristalina imperfecta de los CQDs (Eskalen et al., 2021). No se observaron variaciones significativas de tamaño o estructura de los CQDs analizados derivados de hoja y corteza de quebracho colorado.

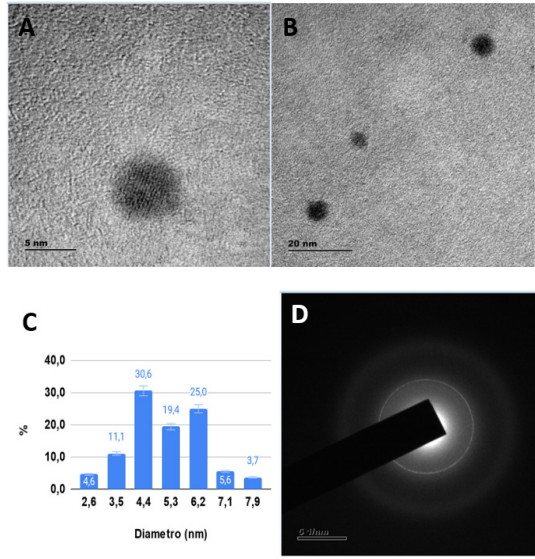


Figura 2. a. y b. Imágenes TEM-AR, c. distribución de tamaños, y d. patrón de difracción de electrones de área seleccionada de CQDs derivados de hoja de QC (200°C_12h_1:50).

3.1.2 Potencial Zeta

En la Tabla 1 se pueden observar los valores de potencial Zeta (pZ) de los CQDs obtenidos en las diferentes síntesis con sus respectivas desviaciones estándar (SD). Los valores negativos

se deben a la presencia de los grupos funcionales oxigenados en la superficie de estas NPs, haciendo de ellas estructuras estables en dispersiones acuosas. Además, se puede observar que en términos generales los mayores valores de pZ corresponden a los CQDs obtenidos a partir de hoja, y entre estos los sintetizados a 200°C, con una relación precursor-agua de 1:50.

Carbon dots hoja			Carbon dots corteza		
Ensayo	Potencial Z (mV)	SD	Ensayo	Potencial Z (mV)	SD
180°C_6h_1:25	-27,9	6,3	200°C_6h_1:25	-37,2	5,7
180°C_12h_1:25	-29,4	8	200°C_12h_1:25	-21,8	3,9
180°C_18h_1:25	-28,3	7,3	200°C_18h_1:25	-24,4	5,2
180°C_24h_1:25	-24,8	3,6	200°C_24h_1:25	-22,9	4,7
200°C_6h_1:25	-35,1	6,3	180°C_6h_1:25	-22,7	3,9
200°C_12h_1:25	-39,5	7,7	180°C_12h_1:25	-24,4	5,6
200°C_18h_1:25	-31,6	3,9	180°C_18h_1:25	-25,4	6,5
200°C_24h_1:25	-39,4	4,1	180°C_24h_1:25	-24,7	3,3
200°C_6h_1:50	-28,4	3,3			
200°C_12h_1:50	-42,7	6,7			
200°C_18h_1:50	-43,1	5,4			
200°C_24h_1:50	-40,6	5,5			
180°C_6h_1:50	-35,4	4,2			
180°C_12h_1:50	-46,3	6			

Tabla 1. Potencial Z de CD sintetizados a partir de hojas y corteza.

3.1.3 Espectroscopía infrarroja

Para la identificación de los grupos funcionales presentes en la superficie de los CQDs se empleó la técnica de espectroscopía infrarroja Transformada de Fourier (FTIR) (Figura. 3). Esta técnica permite conocer la composición de estas nanopartículas (dependiente de los precursores) que influye sobre sus propiedades físico-químicas y funcionales. Las bandas de absorción de los espectros obtenidos a ~3.190-3.180 cm^{-1} corresponden a grupos -OH/-NH (Wang et al., 2014) y los picos en ~2.930-2.958 cm^{-1} a vibraciones de estiramiento de -CH (Ţucureanu

et al., 2016) siendo estos más evidentes en CQDs derivados de hoja. La absorción a ~1.580-1.595 cm^{-1} se debe a las vibraciones de estiramiento de los grupos C=O y C=C (Xu et al., 2015; Shahshahanipour e. al., 2019). Además, se observan: picos alrededor de 1.400 cm^{-1} que evidencian la presencia de grupos C-O y/o C-N (doblaje) o bien COOH (estiramiento simétrico y asimétrico, más evidentes en CQDs derivados de corteza) reportados también por Zhao et al. (2015) y Ţucureanu et al., (2016), vibraciones del enlace C-H a ~1.320-1.325 cm-1 (Xie et. al., 2019), vibraciones de enlaces C-O-C y C-O a ~1.245 y ~1.205 cm^{-1} respectivamente, picos debidos a las vibraciones de estiramiento de C-O entre 1.070-1.065 cm^{-1} y 1.010 cm^{-1} (Ţucureanu et al., 2016). Por último, enlaces C-H evidenciados por múltiples bandas por debajo de 1.000 cm-1 reportados por Zulfajri et al. (2019).

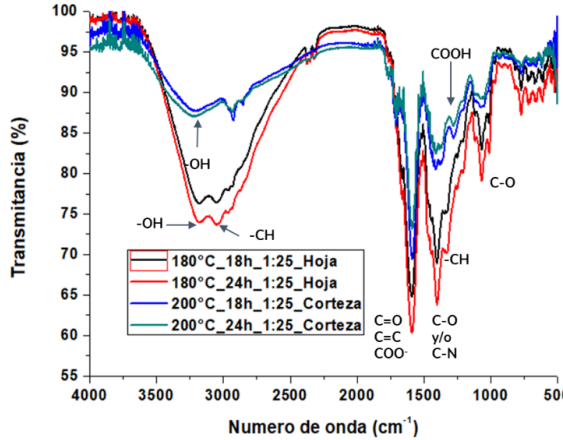


Figura 3. Espectros FTIR de CQDs derivados de hoja y corteza de quebracho colorado.

3.1.4 Espectroscopia UV-Vis

En las figuras 4 y 5 se presentan los espectros UV-Vis de CQDs obtenidos a partir de hoja y corteza respectivamente. En estos se observan bandas con picos centrados en 265-267 y ~277 nm para los CQDs sintetizados a 200 °C (hoja) y 180 °C (corteza) respectivamente, asociados a las transiciones $\varpi-\varpi^*$(C=C). Además, se observan otros a ~320 y ~360 nm asignados a las transiciones n–ϖ^*(C=O) en los espectros de NPs derivados de hoja. Estas bandas de absorción son consistentes con los reportados en literatura (Chen et al., 2019; Yadab et al., 2018). La diferencia en la presencia de las bandas en estos espectros puede deberse a la composición de los precursores (heterogeneidad mayor en hojas que en corteza) y su influencia sobre las propiedades estructurales (mayor cantidad de enlaces C=O en CQDs derivados de hoja).

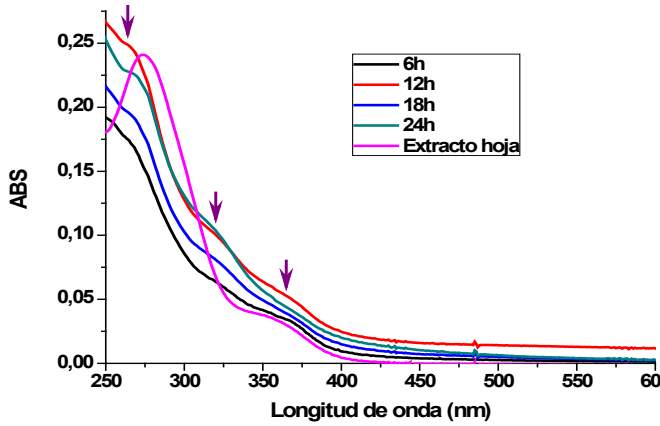


Figura 4. Espectros UV-Vis de CQDs sintetizados a partir de hojas a 200 °C con relación precursor: agua 1:25 a distintos tiempos de reacción.

Figura 5. Espectros UV-Vis de CQDs sintetizados a partir de corteza a 180 °C a distintos tiempos de reacción.

3.1.5 Fluorescencia estacionaria y resuelta en el tiempo

Una matriz de excitación-emisión de fluorescencia (MEEF) de los CQDs de hoja obtenida en el rango de 250 a 450 nm y de 330 a 600 nm se presenta en la figura 6. En este caso el máximo de intensidad de fluorescencia de esta NPs se encuentra en el rango 400-420 nm al ser excitadas a 320 nm. Se puede observar la dependencia de y su intensidad con respecto a la debido principalmente a la heterogeneidad de grupos fluoróforos en la superficie de los CQDs, en concordancia con los resultados obtenidos por otros autores (De et al., 2013).

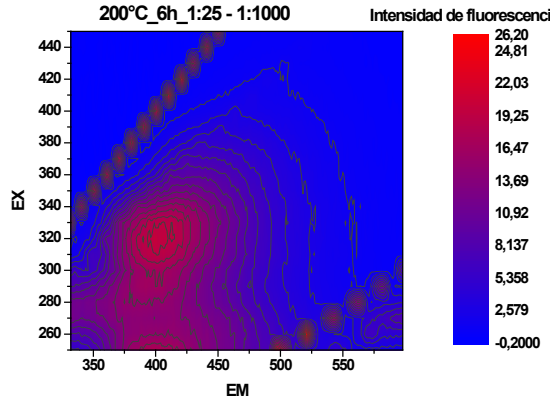


Figura 6. MEEF de CQDs de hoja de QC.

Mediante la técnica de Conteo Único de Fotones Correlacionados en el Tiempo (del inglés *Time Correlated Single Photon Counting*, TCSPC), se obtuvieron los perfiles de decaimiento de fluorescencia de los CQDs a λ_{ex} de 340 nm. Se emplearon funciones tri-exponenciales para realizar el ajuste de los perfi-

les obtenidos. A modo de ejemplo la figura 7 muestra uno de los perfiles obtenidos. Los tiempos de vida medios (τ) de CQDs sintetizados a partir corteza se encuentran en el rango de 2,73 a 4,05 ns, estando este por debajo de los valores medios de τ de CQDs derivados de hoja: 4,87 a 6,44 ns. El análisis global de los decaimientos en el rango entre 370 y 530 nm permite la descomposición de los espectros asociados a los decaimien-

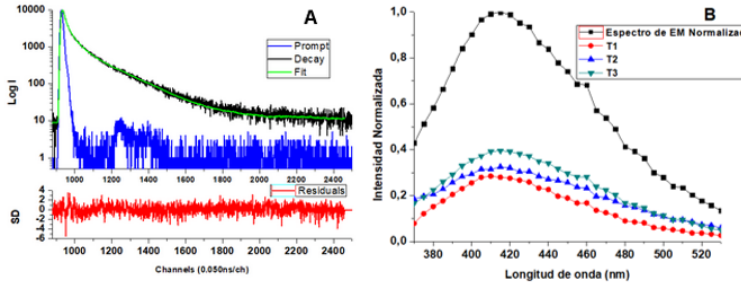


Figura 7. Perfil de decaimiento de fluorescencia (A) y aporte parcial de cada componente temporal en el espectro de emisión (B) de CQDs obtenidos a partir de hoja (200°C_6h_1:25). T1=0,56 ns, T2=3,04 ns y T3=9,88 ns). 1 channel = 0,05 ns.

3.1.6 Rendimiento cuántico de fluorescencia

Se empleó sulfato de quinina como estándar de referencia para obtener los rendimientos cuánticos de fluorescencia de las muestras de CQDs (del inglés quantum yied, QY). Los valores obtenidos fueron bajos, correspondiendo el máximo (QY 2,2%) a los CQDs obtenidos en la síntesis a partir de hoja a 200°C durante 24 h, empleando una relación precursora: agua de 1:50. Los CQDs obtenidos a 200 °C aumentan su valor de QY significativamente al aumentar el tiempo de carbonización de 6 h (1,05%) a 12 h, tiempo a partir del cual los valores se mantienen constantes. Entre los CQDs que fueron obtenidos a 180 °C se observó que el máximo QY corresponde al de los

CQDs sintetizados empleando un tiempo de 18 h (1,64%). De esta forma, se puede concluir que el QY se incrementa con el aumento de temperatura y tiempo de reacción y disminución de la cantidad de precursor. Esto puede deberse a la mejora de la eficiencia de carbonización.

Si bien estos valores de QY son considerados bajos, están en concordancia con los resultados obtenidos por otros autores (Shi et al., 2015; Zhu et al., 2012). Este parámetro depende del precursor empleado así también como las condiciones de síntesis. Los QY de CQDs derivados de hojas resultan mayores que los derivados de corteza debido quizás a la mayor abundancia de fluoróforos en su superficie.

3.2 Evaluación de la actividad antibacteriana

Como se observa en la figura 8, ante S. aureus, tanto el extracto como la solución de CQDs inhiben su crecimiento al ser irradiadas con luz blanca por una hora. Sin irradiación, cuando las bacterias son expuestas al extracto por una hora la disminución del número de colonias es casi total y luego de una hora de irradiación con luz blanca, este inhibe completamente el crecimiento de las bacterias. En cambio, la solución de CQDs disminuye el número de colonias, pero no alcanza inhibir completamente el crecimiento. No se observaron diferencias al aplicar CQDs derivados de hoja y corteza. Se puede concluir que, si bien las NPs presentan actividad antibacteriana, esta aptitud es superior en el extracto.

Ningún tratamiento tuvo efecto sobre *E. coli* lo cual puede deberse a la conocida baja permeabilidad de las bacterias gramnegativas ante ciertos fotosensibilizadores, evitando el acceso a través de la membrana plasmática al interior de la célula (Knoblauch et al., 2020).

Todos los ensayos se realizaron por cuadruplicado.

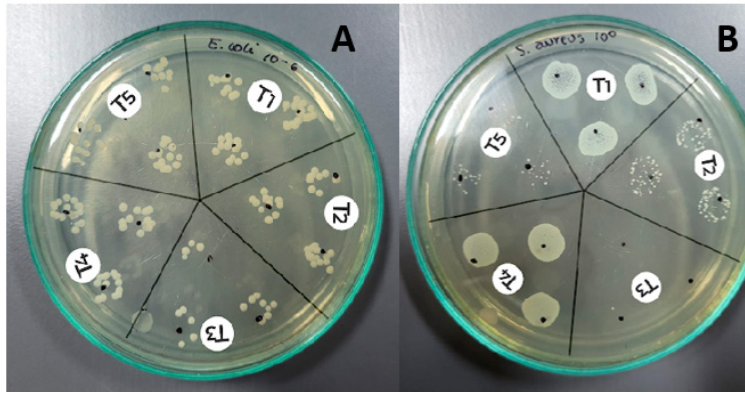


Figura 8. Ensayo de inhibición de crecimiento bacteriano en E. coli (A) y S. aureus (B). Los números corresponden a los siguientes tratamientos: T1) Control con agua destilada + irradiación, T2) CQDs derivados de hoja (200°C_12h_1:25) + irradiación, T3) Extracto de hoja + irradiación, T4) CQDs sin irradiación (1h) y T5) Extracto de hoja sin irradiación (1h).

Estos resultados demuestran el potencial de estas NPs como una alternativa a tratamientos antimicrobianos clásicos. Sin embargo, también es necesario continuar con la investigación de esta aplicación desde la dosis de CQDs a emplear, tiempo de irradiación y el efecto de las condiciones de síntesis en las aptitudes de estos materiales.

4. Conclusión

Los CQDs solubles en agua fueron obtenidos exitosamente mediante una metodología ecoamigable, como lo es la síntesis hidrotermal, a partir de material vegetal regional, sobre lo cual no existen antecedentes en el país. Estas NPs presentan carga

negativa en su superficie debido a los grupos funcionales oxigenados evidenciados en los espectros FTIR. Estos espectros se mantienen sin cambios significativos para CQDs derivados del mismo precursor (hoja o corteza) a pesar de la variación en tiempo de reacción o temperatura de síntesis. Sin embargo, en las propiedades ópticas si existen cambios en cuanto a lo que refiere al rendimiento cuántico de fluorescencia y su tiempo de vida aumentando estos junto con la severidad de las condiciones de reacción hidrotermal. Esto puede deberse a la mejora en la eficiencia de la carbonización del precursor.

Ensayos preliminares permitieron evidenciar que los CQDs presentan actividad antimicrobiana frente a bacterias grampositivas lo cual resulta de gran interés para su aplicación en áreas relacionadas a la desinfección.

Referencias

Brouwer, A. M. (2011). Standards for photoluminescence quantum yield measurements in solution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 83(12), 2213–2228. https://doi.org/10.1351/pac-rep-10-09-31

Chan, K. K., Yap, S. H. K., & Yong, K.-T. (2018). Biogreen synthesis of carbon dots for biotechnology and nanomedicine applications. *Nano-Micro Letters*, 10(4), 72. https://doi.org/10.1007/s40820-018-0223-3

Chen, K., Qing, W., Hu, W., Lu, M., Wang, Y., & Liu, X. (2019). On-off-on fluorescent carbon dots from waste tea: Their properties, antioxidant and selective detection of CrO42-, Fe3+, ascorbic acid and L-cysteine in real samples. *Spectrochimica Acta*. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 213, 228–234. https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.01.066

De, B., & Karak, N. (2013). A green and facile approach for the synthesis of water soluble fluorescent carbon dots from banana juice. *Rsc Advances*, 3(22), 8286-8290. https://doi.org/10.1039/c3ra00088e

Eskalen, H., Çeşme, M., Kerli, S., & Özğan, Ş. (2021). Green synthesis of water-soluble fluorescent carbon dots from rosemary leaves: Applications in food storage capacity, fingerprint detection, and antibacterial activity. *Journal of Chemical Research*, 45(5–6), 428–435. https://doi.org/10.1177/1747519820953823

Gimenez, A. M., Calatayu, F., Zirpolo, J. D., Figueroa, M. E., & Gonzalez, D. (2015). Anatomía comparada del leño de tres especies nativas de Schinopsis (Anacardiaceae). *Boletin de La Sociedad Argentina de Botanica. Sociedad Argentina de Botanica*, 50(3), 323–335. https://doi.org/10.31055/1851.2372.v50.n3.12522

Knoblauch, R., Harvey, A., Ra, E., Greenberg, K. M., Lau, J., Hawkins, E., & Geddes, C. D. (2021). Antimicrobial carbon nanodots: photodynamic inactivation and dark antimicrobial effects on bacteria by brominated carbon nanodots. *Nanoscale*, 13(1), 85–99. https://doi.org/10.1039/d0nr06842j

Meng, W., Bai, X., Wang, B., Liu, Z., Lu, S., & Yang, B. (2019). Biomass-derived carbon dots and their applications. *Energy & Environmental Materials*, 2(eem2.12038), 172–192. https://doi.org/10.1002/eem2.12038

Ng, H. K. M., Lim, G. K., & Leo, C. P. (2021). Comparison between hydrothermal and microwave-assisted synthesis of carbon dots from biowaste and chemical for heavy metal detection: A review. *Microchemical Journal, Devoted to the Application of Microtechniques in All Branches of Science*, 165(106116), 106116. https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106116

Preeti, N. (2016). Green chemistry for nanotechnology: Opportunities and future challenges. *Research and Reviews: Journal of Chemistry*, 5(1).

Shahshahanipour, M., Rezaei, B., Ensafi, A. A., & Etemadifar, Z. (2019). An ancient plant for the synthesis of a novel carbon dot and its applications as an antibacterial agent and probe for sensing of an anti-cancer drug. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 98, 826–833. https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.01.041

Shi, L., Li, X., Li, Y., Wen, X., Li, J., Choi, M. M. F., Dong, C., & Shuang, S. (2015). Naked oats-derived dual-emission carbon nanodots for ratiometric sensing and cellular imaging. *Sensors and Actuators. B, Chemical*, 210, 533–541. https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.12.097

Sidhu, J. S., Mayank, Pandiyan, T., Kaur, N., & Singh, N. (2017). The photochemical degradation of bacterial cell wall using penicillin-based carbon dots: Weapons against multi-drug resistant (MDR) strains. *ChemistrySelect*, 2(29), 9277–9283. https://doi.org/10.1002/slct.201701810

Ţucureanu, V., Matei, A., & Avram, A. M. (2016). FTIR spectroscopy for carbon family study. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(6), 502–520. https://doi.org/10.1080/10408347.2016.1157013

Valle, L., Vieyra, F. E. M., & Borsarelli, C. D. (2012). Hydrogen-bonding modulation of excited-state properties of flavins in a model of aqueous confined environment. *Photochemical & Photobiological Sciences: Official Journal of*

the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology, 11(6), 1051–1061. https://doi.org/10.1039/c2pp05385c

Wang, Q., Zhang, C., Shen, G., Liu, H., Fu, H., & Cui, D. (2014). Fluorescent carbon dots as an efficient siRNA nanocarrier for its interference therapy in gastric cancer cells. *Journal of Nanobiotechnology*, 12(1), 58. https://doi.org/10.1186/s12951-014-0058-0

Xie, Y., Cheng, D., Liu, X., & Han, A. (2019). Green hydrothermal synthesis of N-doped carbon dots from biomass Highland barley for the detection of Hg2. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(14), 3169. https://doi.org/10.3390/s19143169

Xu, H., Yang, X., Li, G., Zhao, C., & Liao, X. (2015). Green synthesis of fluorescent carbon dots for selective detection of tartrazine in food samples. J*ournal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(30), 6707–6714. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02319

Yadav, P. K., Singh, V. K., Chandra, S., Bano, D., Kumar, V., Talat, M., & Hasan, S. H. (2019). Green synthesis of fluorescent carbon quantum dots from Azadirachta indica leaves and their peroxidase-mimetic activity for the detection of H2O2 and ascorbic acid in common fresh fruits. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 5(2), 623–632. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.8b01528.

Zhao, S., Lan, M., Zhu, X., Xue, H., Ng, T.-W., Meng, X., Lee, C.-S., Wang, P., & Zhang, W. (2015). Green synthesis of bifunctional fluorescent carbon dots from garlic for cellular imaging and free radical scavenging. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(31), 17054–17060. https://doi.org/10.1021/acsami.5b03228

Zhu, C., Zhai, J., & Dong, S. (2012). Bifunctional fluorescent carbon nanodots: green synthesis via soy milk and application as metal-free electrocatalysts for oxygen reduction. *Chemical Communications* (Cambridge, England), 48(75), 9367–9369. https://doi.org/10.1039/c2cc33844k

Zulfajri, M., Abdelhamid, H. N., Sudewi, S., Dayalan, S., Rasool, A., Habib, A., & Huang, G. G. (2020). Plant part-derived carbon dots for biosensing. *Biosensors*, 10(6), 68. https://doi.org/10.3390/bios10060068

Zulfajri, M., Gedda, G., Chang, C.-J., Chang, Y.-P., & Huang, G. G. (2019). Cranberry beans derived carbon dots as a potential fluorescence sensor for selective detection of Fe3+ ions in aqueous solution. *ACS Omega*, 4(13), 15382–15392. https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01333

APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS DEL ACEITE ESENCIAL DE *ALOYSIA POLYSTACHYA* (BURRITO). ACTIVIDAD INSECTICIDA Y ANTIMICROBIANA

Valeria Tapia Mattar[1], Anahí Bordón[2], Andrea Cutró[2,3], Axel Hollmann[2,4], Sergio Rodríguez[1]

Resumen

El objetivo del presente trabajo es evaluar las potenciales aplicaciones biotecnológicas del aceite esencial (AE) obtenido de las hojas de *Aloysia polystachya*. Para ello se caracterizó su

1 CONICET, Instituto de Ciencias Químicas, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, RN 9 km 1125, 4206 Santiago del Estero, Argentina.
2 Laboratorio de Compuestos Bioactivos, Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), CONICET, Universidad Nacional de Santiago del Estero, RN 9 km 1125, 4206 Santiago del Estero, Argentina.
3 Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Calle Reforma del 18 N° 1234, 4200 Santiago del Estero, Argentina.
4 Laboratorio de Microbiología Molecular, Instituto de Microbiología Básica y Aplicada, Universidad Nacional de Quilmes, Roque Sáenz Peña 352, B1876BXD Bernal, Argentina.

composición química y se evaluaron sus propiedades antimicrobianas, repelentes e insecticidas. Se identificaron veintiún compuestos, siendo Carvona y Limoneno los mayoritarios. El AE posee actividad insecticida y repelente contra *Rhipibruchus picturatus*, principal plaga del algarrobo blanco. Por otro lado, se determinó la concentración inhibitoria mímima (CIM) y concentración bactericida mímima (CBM) del AE, encontrando acción bactericida contra *Escherichia coli* y acción bacteriostática contra *Staphylococcus aureus*. Además, se evaluó el comportamiento de inhibición del crecimiento y curvas de muerte, para una mejor caracterización de la acción antibacteriana. En cuanto al mecanismo de acción, se evaluaron los efectos en la membrana bacteriana de ambas bacterias, observándose un incremento de la permeabilidad de las mismas. Finalmente, se observó que el AE logra inhibir la formación y erradicación de biofilms de ambas bacterias.

Palabras claves: Biopesticidas, antimicrobianos, productos naturales, volátiles

1. Introducción general

Las plantas pueden ser consideradas como fábricas de compuestos químicos. Dentro de las sustancias químicas que producen, revisten de particular interés los compuestos orgánicos de bajo peso molecular conocidos como metabolitos secundarios. El rol de estos metabolitos en el metabolismo básico de las plantas aún no está claramente elucidado, pero sí se sabe que cumplen funciones complementarias (Gallego & Benavides, 2022). Las plantas aromáticas, en particular, tienen la capacidad de sintetizar mezclas complejas de estos metabolitos secundarios (Sánchez Moreno, 2017; Wińska et al., 2019).

Aplicando procesos de extracción, tanto fisicoquímicos

como mecánicos, en diferentes órganos de las plantas, pueden obtenerse estos compuestos en forma de aceites esenciales (AE). Los AE no son compuestos puros, sino mezclas de varias metabolitos secundarios como terpenos y sus derivados oxigenados; y fenilpropanoides (Wińska et al., 2019), que se encuentran en distintas proporciones y que en conjunto le otorgan a dichos aceites sus propiedades características (Ortuño Sánchez, 2006). Dentro de las cuales cuentan su baja solubilidad en medio acuoso, alta solubilidad en sustancias hidrofóbicas (grasas, alcohol, solventes orgánicos, entre otras) y bajo punto de fusión, encontrándose generalmente en estado líquido a temperatura ambiente. Cabe destacar que la composición del AE, puede variar por múltiples factores que afectan a las plantas, como por ejemplo; condiciones climáticas, tipo de suelo, estado nutricional y fisiológico de la planta, factores estresantes de tipo bióticos y abióticos, entre otros (Cutro et al., 2019). Dentro de las actividades biológicas descriptas para los AEs (Do Nascimento et al., 2020), se encuentran:

1. Actuar como atrayentes de polinizadores y dispersores de semillas (Azcón- Bieto & Talón, 2008). Por ejemplo, metabolitos volátiles como el metileugenol son producidos y emitidos por los órganos de las flores, tales como el estigma y pétalos de *Clarkia breweri* (Wang & Pichersky, 1998) cuando la flor está receptiva para la polinización (Pino Alea, 2015).

2. Presentar actividad anti herbívoria. Por ejemplo, atraer a los enemigos naturales de los herbívoros atacantes, tales como avispas, moscas o ácaros, los cuales pueden proteger a la planta de daños causados por los herbívoros (Drukker et al, 2020; Kessler & Baldwin, 2001; Paré & Tumlinson, 1997; Pino Alea, 2015)

3. Presentar actividades antimicrobianas. Compuestos tales como timol, carvacrol y eugenol, que son fenilpropanoides y terpenos; poseen excelentes actividades antibacterianas (inclusive antibiofilms) y antifúngicas (Abbaszadeh, Sharifza-

deh, Shokri, Khosravi, & Abbaszadeh, 2014; Marchese et al., 2016; Memar, Raei, Alizadeh, Aghdam, & Kafil, 2017; Numpaque, Oviedo, Gil, García, & Durango, 2011; Pino Alea, 2015; Shaaban, El-Ghorab, & Shibamoto, 2012). Otros ejemplos, son las fitoalexinas como la cumarina, que posee actividad antimicrobiana y actividad antiquorum (Reen et al, 2018).

4. Permitir relaciones ecológicas, en las que la planta productora de estos metabolitos secundarios puede establecer alguna relación con otros organismos de su entorno. Como en el caso del establecimiento de alelopatías que influyan en el crecimiento o reproducción de otras plantas (Azcón- Bieto & Talón, 2008). Esto se reportó para el AE aislado de la especie *Rhynchosia mínima*, el cual mostró acción inhibitoria significativa ante la germinación de dos malezas (*Dactyloctenium aegyptium y Rumex dentatus*). (Ahmed M. Abd El-Gawad et al, 2018)

5. Presentar actividad insecticida. Ciertos constituyentes de los AE pueden actuar como agentes insecticidas para el control de diferentes plagas. (Liu et al., 2021; Mattar, Borioni, Hollmann, & Rodriguez, 2022).

Estas actividades biológicas han suscitado una creciente atención sobre los AE para diferentes aplicaciones biotecnológicas como agentes antimicrobianos e insecticidas, entre otros.

Aloysia polystachya (Griseb.) Moldenke (Verbenaceae), también conocida como "burrito", "poleo de castilla" o "poleo riojano"; es un arbusto ampliamente distribuido en las regiones subtropicales de Sudamérica, especialmente, en Paraguay y Argentina (Figura 1). Este arbusto crece naturalmente en las provincias del Noroeste Argentino (Berardi, 2012). Posee hojas aromáticas cuya decocción es utilizada para fines medicinales tales como: trastornos gastrointestinales; dolor, náuseas, vómitos, dispepsia y gastritis (V. S. Benzi, Murray et al 2009; O'Leary et al, 2016; Werdin González et al, 2010). Las hojas también son utilizadas para saborizar el mate o el tereré (Pas-

sicot, Cabral et al, 2010). Esta planta puede ser encontrada en forma silvestre o domesticada en huertas y jardines. La misma puede crecer en suelos arenosos (O'Leary et al., 2016) aunque, se adapta fácilmente a los cambios del suelo y se pueden realizar trasplantes por medio de esquejes. Este arbusto aromático de 1 a 3 metros de altura (Berardi, 2012), se distingue fácilmente de las demás especies por poseer hojas alternas de hasta 5 cm de largo (O'Leary et al., 2016) que presentan un aroma a limón al ser estrujadas (Sánchez de Lorenzo Cáceres, 2020). Con respecto a su floración comienza en época de primavera y verano; siendo sus flores blancas muy pequeñas y sésiles (Atkins, 2004) que contribuyen a su aroma característico. Se han reportado para esta planta actividades antimicrobianas e insecticidas que serán desarrolladas en las siguientes secciones de este capítulo.



Figura 1. Imágenes de la planta de *A. Polystachya*.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo fue la obtención, caracterización química y evaluación de la acción insecticida y antimicrobiana del AE aislado de la especie *Aloysia polystachya* localizada en Santiago del Estero.

2. Obtención y caracterización de la composición química del AE

El AE de *Aloysia polystacha* se obtuvo de muestras de hojas recolectadas en Villa El Zanjón, Santiago del Estero, Argentina (27 ° 52'21.5 "S 64 ° 14'33.2" W). Estas muestras fueron secadas al aire durante 24 h. El AE se obtuvo en lotes de 200 g de hojas secas empleando un hidrodestilador durante 4 horas. El AE se extrajo con diclorometano y se secó con sulfato de sodio anhidro. El solvente orgánico se removió por corriente de nitrógeno y el AE se refrigeró hasta su uso (Figura 2). El rendimiento de extracción del AE fue de 0.83 $\pm$ 0.02 % p/p.

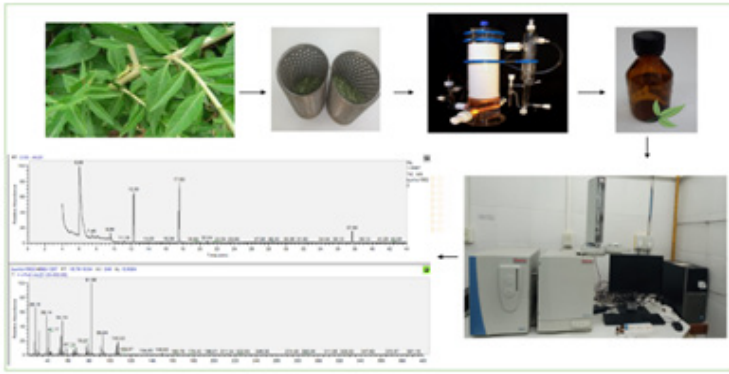
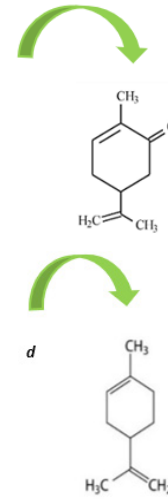


Figura 2. Obtención y caracterización química del AE de hojas de *A. Polystachya.*

La composición química del AE fue determinada mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) usando un cromatógrafo Thermo Scientific Focus GC acoplado con un detector de masas de ionización por impacto electrónico DSQ II. Los compuestos se identificaron comparando sus índices de retención (índices de Kovats) con los de compuestos conocidos y también comparando sus espectros de masas con los almacenados en las bases de datos de la biblioteca NIST08. Se identificaron veintiún compuestos, siendo la Carvona (60,78%) y el Limoneno (34,10%) los mayoritarios (Tabla 1).

Compuestos[a]	RI[b]	Área %[c]
α-Pineno	931	0.01
β-Pineno	979	0.50
β-Myrceno	990	1.39
Limoneno	1030	34.10
β-Linalool	1106	0.40
Myrtenol	1180	0.00
Oxido de Limoneno	1144	0.13
p-Menta-2,8-dien-1-ol	1149	0.10
Citronelal	1160	0.11
Carvona	1271	60.78
α-Terpineol	1211	0.71
Verbenona	1217	0.10
Carveol	1255	0.45
Camfor	1135	0.25
α-Copaeno	1372	0.10



Cedreno	1393	0.09
β-Bourboneno	1397	0.17
β-Cariofileno	1446	0.14
α-Cariofileno	1483	0.21
α-Curcumene	1502	0.17
Zingibereno	1515	0.11

[a] Identificación de compuestos basada en RI, biblioteca NIST 08 y bibliografía.
[b] RI, índices de retención lineal experimental en columna TR5-ms.
[c] Valor medio de tres experimentos independientes. Desviación estándar menor al 10%.
[d] Estructuras químicas de los componentes mayoritarios del AE de hojas de *A. polystachya*.

Tabla 1. Composición química del AE extraído de hojas de *A. polystachya*

Como se mencionó, la composición química de los AE varía considerablemente dependiendo de la ubicación geográfica de la especie, condiciones climáticas, grado de madurez de las especies vegetales y diferencias intraespécificas (Fang et al., 2010; Hsu & Chen, 2020; Nerio et al, 2010

A continuación, se muestran los compuestos químicos mayoritarios reportados del AE de hojas de *A. polystachya* recolectadas en diferentes localizaciones geográficas (Tabla 2):

	Compuestos identificados				
Lugar de recolección	Carvona	Limoneno	α-Tujona	Sabineno	Referencias
Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina	83,5 %	16,5 %	-	-	(González et al, 2010)
Río Negro, Argentina	83,5 %	16,5 %			(V. S. Benzi et al., 2009)
Chaco, Argentina	78,9 %	14,2 %			(Pérez-Zamora et al., 2016)
Región de Valparaíso, Chile	91,03 %	4,1 %			(Moller et al., 2021)
Córdoba, Argentina	12 %		69 %		(Gleiser et al, 2011)
San Luis, Argentina			80 %	5,1 %	(Duschazky et al, 2004)
San Pablo, Brasil	77,9 %	18,4 %			(Edieidia et al., 2012)

Tabla 2: Compuestos mayoritarios del AE de hojas de *A. polystachya* reportados en diferentes regiones geográficas.

Los compuestos identificados que se muestran en la tabla 2 corresponden a monoterpenos hidrocarbonados (Limoneno y Sabineno) y a monoterpenos oxigenados (Carvona y α-Tujona). Estos resultados muestran que la composición del AE del presente trabajo es similar a lo reportado por (Pérez-Zamora et al., 2016), en la provincia del Chaco. Así también, estos resultados concuerdan con la composición química del AE de las especies recolectadas en Río Negro, Bahía Blanca y Región de Valparaíso, en donde el compuesto mayoritario identificado fue Carvona, seguido de Limoneno. Por otra parte, (Gleiser et al., 2011) informó que el compuesto mayoritario identificado en el aceite

esencial de la especie recolectada en Córdoba fue α-Tujona.

3. Control de insectos Plaga de Algarrobo Blanco

El algarrobo blanco (*Neltuma alba*) es una de las especies arbóreas nativas más conocidas y con mayor dispersión territorial del norte argentino. Su fruto, la algarroba, también conocida como vaina o chaucha, contiene alto contenido de proteínas e hidratos de carbono (Cattaneo et al., 2016). Esto las convierte en un recurso idóneo para la elaboración de alimentos derivados. Así, a partir del secado y molienda de las vainas, las familias de la región obtienen la harina de algarroba que permite elaborar todo tipo de panificados (panes, tortas y budines). Además, con las vainas se producen bebidas tradicionales como la añapa (una especie de licor), la aloja y el arrope (Abate & Ampofo, 1996). Esto favoreció al desarrollo de las economías regionales, ya que surgieron emprendimientos donde se fomenta la comercialización de productos con alto valor agregado derivados de la algarroba.

Todos los emprendimientos mencionados anteriormente comparten la problemática de la pérdida de la cosecha de algarroba a causa de insectos de la familia Bruchidae, conocidos comúnmente como brúquidos, los cuales se alimentan de las semillas de los algarrobos afectando de manera significativa la calidad de los frutos, siendo *Riphichubrus picturatus* K. su principal plaga (Figura 3). Normalmente, estos insectos realizan una ovoposición externa, la larva atraviesa el epi, meso y endocarpo, completando su ciclo dentro de la semilla hasta convertirse en pupa, para que posteriormente pueda emerger el adulto.



Figura 3. *Riphichubrus picturatus*

El control de estos insectos depende principalmente de la aplicación de insecticidas sintéticos, los cuales son dañinos para humanos y el ecosistema debido a su alta toxicidad y persistencia (Okwute, 2012).

Los insecticidas organofosforados, carbamatos y fosfina se utilizan ampliamente para proteger productos alimenticios almacenados contra la infestación de plagas de insectos (Cespedes et al., 2013). Entre otras desventajas, la aplicación descontrolada de estos insecticidas es causante de resistencia en las poblaciones de insectos (Dhaliwal et al., 2008). Los riesgos asociados al uso de estos productos promovieron el estudio de productos naturales para el desarrollo de nuevos insecticidas. Los conocimientos tradicionales indican claramente que las plantas están dotadas de propiedades que se pueden aprovechar a bajo costo para su uso en la agricultura. Así, los insecticidas de origen natural se proponen como alternativas racionales a las sintéticas y, entre los biopesticidas, los AE están creciendo rápidamente en el mercado (Regnault-Roger, Vincent et al, 2012).

Una de las ventajas de estos AE, es que debido a los múltiples sitios de acción en los cuales pueden actuar, tienen baja probabilidad de generar resistencia en los insectos (V. Benzi et al, 2014). Además, a diferencia de los insecticidas sintéticos, son biodegradables y, por lo tanto, amigables con el medioambiente (Adenubi, McGaw et al, 2018). Se demostró que los monoterpenos Limoneno, Carvona y α-Tujona, encontrados en

diferentes aceites esenciales poseen notable actividad insecticida (Grodnitzky & Coats, 2002; Isman, 2000).

Se informó que el Limoneno posee un efecto insecticida significativo contra *Rhyzopertha dominica* (F.) y T*ribolium castaneum* (Herbst), plagas de productos alimeticios almacenados (harinas, granos, cereales, entre otros) (Liang et al., 2020; Prates et al., 1998). También resultó ser tóxico para los adultos de *Bemisia tabaci* Genn., plaga de cultivos como algodón y *Sitophilus zeamais* (Motsch), gorgojo del maíz, (Fang et al., 2010; Zarrad et al, 2015). Además, Carvona mostró toxicidad contra adultos de *S. zeamais, T. castaneum* y se demostró que (R)-Carvona posee efectos tóxicos contra *C. pipiens* (Shamsadin-Azad et al, 2019). Por su parte, α-Tujona, mostró una fuerte actividad insecticida contra *Spodoptera exigua* Hübner, plaga polífaga (Hsu & Chen, 2020)

3.1 Actividad insecticida

En base a la problemática planteada, se estudió la actividad insecticida del AE A. de *Polystachya* frente a *Rhipibruchus picturatus* utilizando el método descripto por Herrera et al., 2015 (Figura 4). Las colonias de *R. picturatus* se establecieron a partir de vainas infestadas de algarrobo blanco. Se realizaron diluciones seriadas del AE en acetona, siendo las concentraciones evaluadas (1000; 500; 242; 200; 120,94 y 60,47) μg/cm^2. Luego, 200 μl de cada dilución fueron aplicados a un papel de filtro ubicado en una placa de Petri de 9 cm de diámetro. Se agregaron 10 insectos en cada placa de Petri (N=5).

Como control se realizó el mismo experimento solo con acetona. La mortalidad se evaluó transcurridas las 24 horas, considerando muertos aquellos insectos que no presentaron movilidad luego de tocarlos con pizas. Los datos de concentración-mortalidad se sometieron un análisis Probit para determinar la concentración letal que provoca el 50% de mortali-

dad (LC_{50}). Se determinó que el AE posee un efecto insecticida contra *R. picturatus* obteniéndose un valor de LC_{50} igual a 99,61 µg/cm^2. Además, se evaluó la actividad insecticida de los principales compuestos identificados en el AE. Para ello, Carvona y Limoneno se separaron y purificaron mediante cromatografía en columna y cromatografía en capa fina. Se determinó, mediante este ensayo de toxicidad por contacto, que ambos compuestos poseen actividad insecticida obteniéndose un valor de LC_{50} igual a 51,21 µg/cm^2 para Carvona y 140,11 µg/cm^2 para Limoneno.

Los valores obtenidos muestran que la actividad insecticida del AE estudiado, se debe principalmente a Carvona. Estos resultados son similares a los encontrados por (Fang et al., 2010), quien determino una fuerte toxicidad por contacto de Carvona y Limoneno, contra *Sitophilus zeamais* y *T. castaneum.*

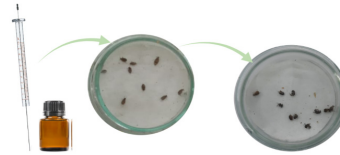


Figura 4. Ensayo de toxicidad por contacto

3.2 Actividad repelente del AE

Los compuestos volátiles pueden modificar el comportamiento de los insectos. Los repelentes son sustancias que actúan localmente o a distancia, disuadiendo a un insecto de volar, aterrizar o escalar en el área donde se aplicó el producto (Nerio et al., 2010). Para el ensayo de repelencia se utilizaron papeles de filtro de 5 cm de diámetro, los cuales se dividieron en dos mitades. Una mitad se impregnó con 15 µl del AE diluido en acetona o con los compuestos puros (tratamiento) y la otra mitad solo con acetona (control) (Figura 5).

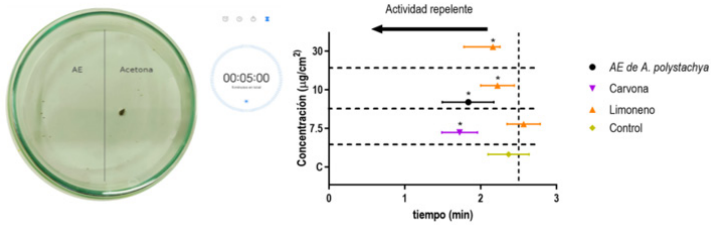


Figura 5. Ensayo de repelencia de dos opciones

El papel de filtro se colocó en la caja de Petri. Un insecto se liberó en el centro del papel se registró el tiempo de permanencia en cada zona durante 5 minutos. Este ensayo se repitió 60 veces. Los resultados obtenidos (Figura 5) mostraron que el AE, y los compuestos puros Carvona y Limoneno mostraron un efecto repelente frente a *R. picturatus.* Anteriormente, se reportó que el AE de hojas de *A. polystachya* posee actividad repelente frente a *T. castaneum* y *T. confusum*, así como también contra *A. aegypti* (V. Benzi et al., 2014; Gleiser et al., 2011). Además, Carvona mostró actividad repelente contra mosquitos y efectos sobre el sistema nervioso de insectos (Gonçalves et al., 2008; Omolo et al, 2004). Los resultados indican que el AE evaluado y sus compuestos puros son prometedoras fuentes de repelentes naturales contra *R. picturatus.*

Los resultados obtenidos demostraron que el AE posee un efecto insecticida contra *R. picturatus* a bajas concentraciones. Esta acción se debe principalmente a su compuesto mayoritario, Carvona. Asimismo, tanto el AE, como sus compuestos mayoritarios: Limoneno y Carvona mostraron repelencia en un ensayo de dos opciones. Es importante resaltar que este es el primer reporte sobre la actividad insecticida y repelente del AE de *A. polystachya* contra esta plaga. Como se mencionó, los AE tienen la ventaja, respecto de los insecticidas sintéticos, de mostrar una persistencia limitada en el medio ambiente, baja probabilidad de generar resistencia y baja toxicidad en vertebrados.

4. Actividad antimicrobiana

El incremento de la presencia de bacterias resistentes a múltiples antibióticos (ATBs) representa un grave problema para la salud pública (Reid et al, 2020). Existen múltiples causas del incremento de la resistencia por parte de los microorganismos, entre ellas la inadecuada administración de los ATBs; el uso de ATBs en la agricultura, la prescripción de medicamentos inadecuada y la falta de diagnóstico. Debido a la presión selectiva de los ATBs, existe una predominancia de las cepas resistentes que eliminan las bacterias sensibles, volviendo predominantes. De este modo, el aumento de la resistencia antimicrobiana unido al poco desarrollo de nuevos ATBs llevó a la necesidad de buscar nuevas alternativas terapéuticas, así como a la revalorización de otras alternativas poco exploradas (Pacios et al., 2020).

En este contexto, los AE representan una alternativa para el control de microorganismos, existe un vasto registro bibliográfico de la actividad antibacteriana de muchos AE. Sin embargo, todavía no se logró un conocimiento detallado y acabado de sus mecanismos de acción para la mayoría de estos aceites. En el caso particular de *A. polystachya* existen pocas publicaciones que se reportaron la actividad antibacteriana de AE de esta especie (Arena et al, 2020; Edieidia et al., 2012; Pérez Zamora, 2016) y en ninguno de estos trabajos se indagan los posibles mecanismos por los cuales el AE ejerce su acción frente a estas bacterias.

En esto contexto, se evaluó la actividad antibacteriana frente a *Escherichia coli* y *Sthapylococcus aureus*, como modelos de bacteria gram negativa y gram positiva respectivamente, y se indagó sobre el rol de la membrana bacteriana como posible blanco de acción del AE de *A. polystachia*. Para ello, en primer lugar, se determinó la Concentración Inhibitoria Mínima (CIM) de este AE frente a ambas bacterias mencionadas. Se en-

tiende por CIM, por la cantidad mínima requerida de un agente para inhibir el crecimiento visible de un microorganismo (Nediani M. T., 2020). Sin embargo, este método no distingue entre un agente bactericida y un agente bacteriostático, dado que el agente está presente en el medio de cultivo durante todo el período de incubación (Nediani M. T., 2020). Es por ello, que además se determinó la Concentración Bactericida Mínima (CBM), que es la concentración a la cual un agente antimicrobiano causa la muerte del 99% de los microorganismos presentes. Por lo general, los agentes bactericidas se unen fuertemente a sus dianas celulares y no son removidas por dilución (Ramirez & Marin Castaño, 2009).

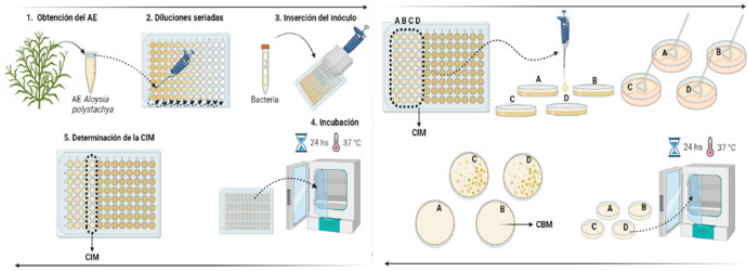


Figura 6. Determinación de CIM y CBM a partir del AE

Con respecto a la CIM, el valor obtenido para ambas bacterias ensayadas fue de 40 µL/mL de AE. Respecto a la CBM, el AE solo se presentó acción bactericida frente a *E. coli* con un valor de CBM de 80 µL/mL. De la comparación de los valores obtenidos con los reportes previos en la literatura, se observa que los valores de CIM del presente trabajo son mayores a los obtenidos por Pérez Zamora et al (Pérez-Zamora et al., 2016), para AE obtenido a partir de plantas localizadas en Chile, como se observa en la Tabla 2 este AE tiene una mayor concentración de Carvona que la obtenida en este trabajo. Sin embargo, los valores de CIM son más próximos a los obtenidos por Pina et al (Edieidia et al., 2012) a partir de plantas localizadas en

Brasil, donde los porcentajes de Carvona y Limoneno son más cercanos a los obtenidos en el presente trabajo (Tabla 2). Confirmando como esta descripto para otros AE que la composición del AE es quien determina su actividad biológica.

Para una mejor caracterización de la acción inhibitoria del AE, se realizaron curvas de crecimiento para ambas bacterias en estudio, evaluando el crecimiento bacteriano en presencia de concentraciones CIM y sub-CIM para cada bacteria. Con respecto a los resultados obtenidos, se observó una reducción significativa en el crecimiento microbiano en las diferentes concentraciones CIM y sub-CIM, para ambas bacterias modelo. Sin embargo, el efecto fue más significativo para el caso de *E. coli*. Continuando con la caracterización antibacteriana, se evaluó la actividad letal del AE tras incubar ambas bacterias en estudio durante 1 h a una concentración de 2 x CIM. El recuento de bacterias viables luego de la incubación, mostró que esta concentración del AE, es capaz de eliminar el 100% de bacterias para *E. coli* y el 90% para *S. aureus* en concordancia con los valores de CBM observados.

Se a reportado para otros AE, que debido a la naturaleza hidrofóbica de los compuestos presentes en los AE, la membrana bacteriana es un posible blanco de acción para ejercer la acción antibacteriana (Chouhan et al, 2017). En este contexto, se evaluó la capacidad del AE de dañar y permeabilizar las membranas de las bacterias en estudio utilizando para ello microscopía de fluorescencia. Esta técnica permite evaluar la integridad de la membrana por medio de dos sondas fluorescentes conocidas como, SYTO-9 (que emite fluorescencia verde) y yoduro de propidio (PI, por sus siglas en inglés, que emite fluorescencia roja). Ambos fluoróforos difieren tanto en sus características espectrales como en su capacidad para penetrar en las células bacterianas. Mientras la sonda SYTO 9 es capaz de teñir las bacterias tanto con membranas intactas como las dañadas, el IP sólo es capaz de penetrar y teñir bacterias que

poseen su membrana dañada, causando además una reducción en la fluorescencia emitida por la sonda SYTO 9; cuando ambos colorantes están presentes (Boulos et al, 1999). De esta forma luego de la tinción, las bacterias con la membrana dañada aparecerán al microscopio de fluorescencia de color rojo, mientras que las que no vieron comprometida su integridad se verán de color verde.

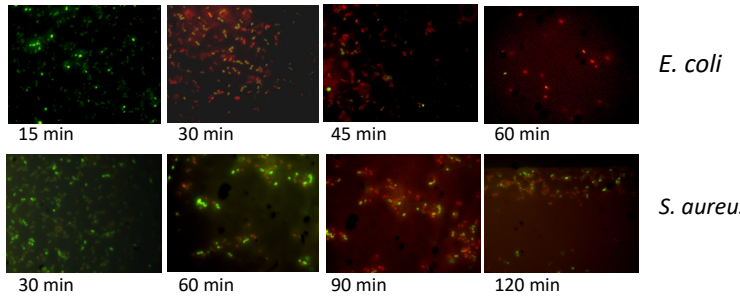


Figura 7. Imágenes obtenidas por microscopia de fluorescencia de *E. coli* y *S. aureus* teñidas con IP y SYTO-9, luego de diferentes tiempos de incubación con el AE

Como se observa en las imágenes de microscopía obtenidas (Figura 7), se evidenció que el AE es capaz de inducir cambios en la permeabilidad de ambas bacterias; aunque, el efecto generado es diferente para cada bacteria. En el caso de *E. coli,* se evidencia que tras una hora de incubación se logró que alrededor del 100% de la población bacteriana presentara daños en su membrana. Por otro lado, en el caso de *S. aureus* se requirió un mayor período de incubación para lograr un daño en la envoltura celular de la mayor parte de la población bacteriana. Se requirieron dos horas de incubación, para conseguir que solo alrededor de un 65% de la población bacteriana presentara daños en su envoltura celular.

Cabe mencionar que *E. coli* es una bacteria gram negativa que, por lo tanto, presenta dos membranas en su envoltura, una interna y otra externa, teniendo en cuenta que la sonda IP

solo es capaz de emitir fluorescencia cuando se intercala en el ADN bacteriano, los resultados obtenidos indican que el AE, es capaz de generar daños tanto en la membrana externa como en la membrana interna de *E. coli*, permitiendo que la sonda llegue al ADN.

De este modo, se demostró la acción antimicrobiana del AE aislado de la especie *A. polystachya* frente a bacterias planctónicas con comportamientos diferenciales; donde *E. coli* presentó mayor sensibilidad frente a este AE.

Además de realizar estos ensayos, también se evaluó la acción de este agente antimicrobiano frente a estructuras complejas formadas por las mismas bacterias conocidos como biopelículas o *biofilm*. En la caracterización de nuevos agentes antimicrobianos, es de suma importancia estudiar la capacidad de estos de prevenir la formación de *biofilm* y la destrucción de los mismos. Desde un punto de vista clínico, el *biofilm* bacteriano también se forma en instrumentos quirúrgicos, dispositivos médicos como, válvulas cardíacas o prótesis articulares, entre otros. De esta manera, se disminuiría la frecuencia de infecciones causadas por estos agentes patógenos en el ser humano (Madigan et al, 2015a).

Esta estructura es considerada como una matriz de polisacáridos extracelulares producidos por las bacterias, en donde las bacterias se encuentran inmersas, logrando que éstas puedan adherirse a superficies sólidas (Aires et al, 2021; Bazargani & Rohloff, 2016; Madigan et al, 2015b). Estas agrupaciones de bacterias también se encuentran rodeadas por excreciones celulares tales como proteínas, ácidos nucleicos y restos de células muertas (Madigan et al., 2015b). Dentro de las particularidades que presenta un *biofilm* bacteriano se puede mencionar su capacidad de:

- Eludir su destrucción por parte del sistema inmunológico del hospedador (Wijesundara & Rupasinghe, 2018)
- Aumentar su patogenicidad y evitar la penetración

> de agentes antimicrobianos para su posterior eliminación (Benbelaïd et al., 2014). Por ejemplo, la matriz que posee alginato y otros polisacáridos como el ADN bacteriano, reducen la capacidad de los ATBs (Madigan et al., 2015a)

de este modo, se evaluó la capacidad del AE para inhibir la formación de *biofilms* así como su efecto frente a *biofilms* preformados. Estos ensayos se realizaron utilizando placas de ELISA de 96 pocillos donde se incubaron las bacterias con y sin agente, luego la cantidad de *biofilm* formado fue evaluado mediante la técnica de cristal violeta descripta en Espeche et al., 2020. Con respecto a la inhibición de formación de *biofilm*, se observa una respuesta que depende de la dosis para ambas bacterias ensayadas (Figura 8), donde el efecto resultó mucho más significativo en el caso de *E. coli.* Como es esperable, a la concentración de la CIM en ambas bacterias se observa una inhibición casi completa de la formación de *biofilms*, ya que a esta concentración directamente se inhibe el crecimiento bacteriano.

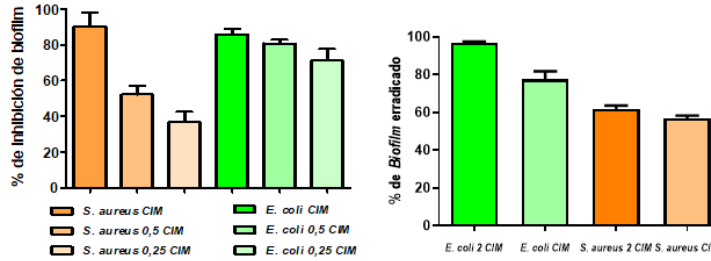


Figura 8. Porcentaje de inhibición (Izq.) y erradicación (Derecha) de *biofilm* en *S. aureus* y *E. coli*.

Para evaluar el efecto del AE en un *biofilm* preformado, se obtuvieron *biofilms* de ambas bacterias y luego fueron incubadas por 24 horas con el AE. La cantidad de *biofilm* luego de la incubación con el AE también fue evaluada por la técnica de cristal

violeta. La respuesta obtenida fue similar a la observada para los ensayos de inhibición, es decir, que el mayor porcentaje de erradicación fue alcanzado a la mayor a concentración de AE testeado para ambos tipos de bacterias (Figura. 8). Nuevamente, el efecto fue mucho más significativo para *E. coli.* De este modo, AE obtenido de *A. polystachya*, no sólo se consigue prevenir la formación de *biofilm* sino que además, lograría erradicar biofilms preformados. Cabe destacar que en el caso de *E. coli* utilizando una concentración 2 x CIM se logra erradicar completamente el *biofilm*.

Los resultados obtenidos, permitieron demostrar que el AE extraído de hojas de *A. polystachya* localizadas en Santiago del Estero, posee actividad antimicrobiana frente a una bacteria gram positiva (*S. aureus*) y una bacteria gram negativa (*E. coli*) tanto en su forma planctónica como cuando estos microorganismos forman *biofilms*, más aún se determinó que sus mecanismos de acción están relacionados con la capacidad de disrumpir las membranas de estas bacterias.

5. Conclusión general

Los resultados presentados en este capítulo, muestran la potencialidad del AE estudiado para el desarrollo de nuevas herramientas de manejo integrado de plagas y microorganismos.

En particular, la actividad del AE frente a brúquidos que afectan a la algarroba, un fruto de particular importancia para Santiago del Estero por su aporte nutricional en la dieta humana y animal, representa una posible solución a este problema que afecta a muchos emprendimientos regionales.

Por otro lado, la capacidad del AE de actuar sobre microorganismos gram positivos y gram negativos refuerza el potencial de aplicaciones biotecnológicas en el área de salud y agricultura de este aceite.

Referencias

Abate, T., & Ampofo, J. K. O. (1996). Insect Pests of Beans in Africa: Their Ecology and Management. *Annual Review of Entomology*, 41(1), 45–73. https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.000401

Abbaszadeh, S., Sharifzadeh, A., Shokri, H., Khosravi, A. R., & Abbaszadeh, A. (2014). Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. *Journal de Mycologie Medicale*, 24(2). https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2014.01.063

Adenubi, O. T., McGaw, L. J., Eloff, J. N., & Naidoo, V. (2018). In vitro bioassays used in evaluating plant extracts for tick repellent and acaricidal properties: A critical review. *Veterinary Parasitology*. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.03.008

Ahmed M. Abd El-Gawad, Yasser A. El-Amier, & Giuliano Bonanomi. (2018). Allelopathic Activity and Chemical Composition of Rhynchosia minima (L.) DC. Essential Oil from Egypt. *Chemistry and Biodiversity*, 15(1). https://doi.org/10.1002/cbdv.201700438

Aires, A., Barreto, A. S., & Semedo-Lemsaddek, T. (2021). Antimicrobial effects of essential oils on oral microbiota biofilms: The toothbrush in vitro model. *Antibiotics*, 10(1), 1–16. https://doi.org/10.3390/antibiotics10010021

Arena, J. S., Merlo, C., Defagó, M. T., & Zygadlo, J. A. (2020). Insecticidal and antibacterial effects of some essential oils against the poultry pest Alphitobius diaperinus and its associated microorganisms. *Journal of Pest Science*, 93(1), 403–414. https://doi.org/10.1007/s10340-019-01141-5

Atkins, S. (2004). Verbenaceae. In F*lowering Plants • Dicotyledons* (Vol. 1, pp. 449–468). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Heidelberg.

Azcón- Bieto, J., & Talón, M. (2008). F*undamentosdeFisiologiaVegetal* 2da edición.

Bazargani, M. M., & Rohloff, J. (2016). Antibiofilm activity of essential oils and plant extracts against Staphylococcus au-

reus and Escherichia coli biofilms. *Food Contro*l, 61, 156–164. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.036

Benbelaïd, F., Khadir, A., Abdoune, M. A., Bendahou, M., Muselli, A., & Costa, J. (2014). Antimicrobial activity of some essential oils against oral multidrug-resistant Enterococcus faecalis in both planktonic and biofilm state. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(6), 463–472. https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C1203

Benzi, V. S., Murray, A. P., & Ferrero, A. A. (2009). Insecticidal and Insect-repellent Activities of Essential Oils from Verbenaceae and Anacardiaceae against Rhizopertha Dominica. *Natural Product Communications*, 4(9), 1934578X0900400926. https://doi.org/10.1177/1934578X0900400926

Benzi, V., Stefanazzi, N., Murray, A. P., Werdin González, J. O., & Ferrero, A. (2014). Composition, Repellent, and Insecticidal Activities of Two South American Plants against the Stored Grain Pests *Tribolium castaneum and Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). ISRN Entomology, 2014, 175827. https://doi.org/10.1155/2014/175827

Berardi, A. (2012). *"Etnofarmacología gastrointestinal de plantas medicinales argentinas del género Aloysia, familia Verbenaceae: mecanismos de acción y relación con los principios activos."*

Boulos, L., Prévost, M., Barbeau, B., Coallier, J., & Desjardins, R. (1999). LIVE/DEAD(®) BacLight(TM): Application of a new rapid staining method for direct enumeration of viable and total bacteria in drinking water. *Journal of Microbiological Methods*, 37(1). https://doi.org/10.1016/S0167-7012(99)00048-2

Cattaneo, F., Costamagna, M. S., Zampini, I. C., Sayago, J., Alberto, M. R., Chamorro, V., … Isla, M. I. (2016). Flour from Prosopis alba cotyledons: A natural source of nutrient and bioactive phytochemicals. *Food Chemistry*, 208, 89–96. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.115

Cespedes, C. L., Muñoz, E., Salazar, J. R., Yamaguchi, L., Werner, E., Alarcon, J., & Kubo, I. (2013). Inhibition of cholinesterase activity by extracts , fractions and compounds from

Calceolaria talcana and C . integrifolia (Calceolariaceae : Scrophulariaceae) q. *FOOD AND CHEMICAL TOXICOLOGY,* 62, 919–926. https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.10.027

Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017). Antimicrobial Activity of Some Essential Oils—Present Status and Future Perspectives. *Medicines*, 4(3), 58. https://doi.org/10.3390/medicines4030058

Cutro, A. C., Castelli, M. V., López, S. N., Rosales, M. A., Hollmann, A., & Rodriguez, S. A. (2019). Chemical composition of Schinus areira essential oil and antimicrobial action against Staphylococcus aureus. *Natural Product Research*. https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1675065

Do Nascimento, L. D., de Moraes, A. A. B., da Costa, K. S., Galúcio, J. M. P., Taube, P. S., Costa, C. M. L., ... de Faria, L. J. G. (2020). Bioactive natural compounds and antioxidant activity of essential oils from spice plants: New findings and potential applications. *Biomolecules*, 10(7), 1–37. https://doi.org/10.3390/biom10070988

Drukker, B., Bruin, J., & Sabelis, M. W. (2000). Anthocorid predators learn to associate herbivore-induced plant volatiles with presence or absence of prey. *Physiological Entomology,* 25(3). https://doi.org/10.1046/j.1365-3032.2000.00190.x

Duschatzky, C. B., Martinez, A. N., Almeida, N. V., & Bonivardo, S. L. (2004). Nematicidal activity of the essential oils of several argentina plants against the root-knot nematode. *Journal of Essential Oil Research*, 16(6), 626–628. https://doi.org/10.1080/10412905.2004.9698812

Edieidia, S. P., Juliana, da S. C., Adilson, S., Ana, L. F., Bianca, W. B., Suzelei, de C. F. a, & Ana, M. S. P. (2012). Antimicrobial activity and chemical composition of essential oils from Aloysia polystachya (Griseb.) Moldenke grown in Brazil. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(41), 5412–5416.

Espeche, J. C., Martínez, M., Maturana, P., Cutró, A., Semorile, L., Maffia, P. C., & Hollmann, A. (2020). Unravelling the mechanism of action of "de novo" designed peptide P1 with model membranes and gram-positive and gram-negative

bacteria. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. https://doi.org/10.1016/j.abb.2020.108549

Gallego, S. M., & Benavides, M. P. (2022). Metabolismo secundario en plantas. *Bioquímica Vegetal*.

Gleiser, R. M., Bonino, M. A., & Zygadlo, J. A. (2011). Repellence of essential oils of aromatic plants growing in Argentina against Aedes aegypti (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 108(1), 69–78. https://doi.org/10.1007/s00436-010-2042-4

Gonçalves, J. C. R., Oliveira, F. D. S., Benedito, R. B., De Sousa, D. P., De Almeida, R. N., & De Araújo, D. A. M. (2008). Antinociceptive activity of (-)-carvone: Evidence of association with decreased peripheral nerve excitability. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 31(5), 1017–1020. https://doi.org/10.1248/bpb.31.1017

González, J. O. W., Gutiérrez, M. M., Murray, A. P., & Ferrero, A. A. (2010). Biological Activity of Essential Oils from Aloysia polystachya and Aloysia citriodora (Verbenaceae) against the Soybean Pest Nezara viridula (Hemiptera: Pentatomidae). *Natural Product Communications*, 5(2), 1934578X1000500227. https://doi.org/10.1177/1934578X1000500227

Grodnitzky, J. A., & Coats, J. R. (2002). QSAR evaluation of monoterpenoids' insecticidal activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 50(16), 4576–4580. https://doi.org/10.1021/jf0201475

Herrera, J. M., Zunino, M. P., Dambolena, J. S., Pizzolitto, R. P., Gañan, N. A., Lucini, E. I., & Zygadlo, J. A. (2015). Terpene ketones as natural insecticides against Sitophilus zeamais. *Industrial Crops and Products.* https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.074

Hsu, K. Y., & Chen, B. H. (2020). Analysis and reduction of heterocyclic amines and cholesterol oxidation products in chicken by controlling flavorings and roasting condition. *Food Research International,* 131. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109004

Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8–10), 603–608. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X

Kessler, A., & Baldwin, I. T. (2001). Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science*, 291(5511). https://doi.org/10.1126/science.291.5511.2141

Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and Constraints. *Biopestic Int.*

Liang, J., Xu, J., Yang, Y., Shao, Y., Zhou, F., & Wang, J. (2020). *foods Toxicity and Synergistic E ff ect of Elsholtzia ciliata Essential Oil and Its Main Components against the Adult and Larval Stages of Tribolium castaneum.*

Liu, J., Hua, J., Qu, B., Guo, X., Wang, Y., Shao, M., & Luo, S. (2021). Insecticidal Terpenes From the Essential Oils of Artemisia nakaii and Their Inhibitory Effects on Acetylcholinesterase. *Frontiers in Plant Science*, 12(August). https://doi.org/10.3389/fpls.2021.720816

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2015a). Explorando el mundo microbiano. In Brock *BIOLOGÍA DE LOS MICROORGANISMOS* (p. 166).

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2015b). Superficies y biopelículas. In Brock *BIOLOGÍA DE LOS MICROORGANISMOS* (p. 648).

Marchese, A., Orhan, I. E., Daglia, M., Barbieri, R., Di Lorenzo, A., Nabavi, S. F., … Nabavi, S. M. (2016). Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature. *Food Chemistry*, 210, 402–414. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.04.111

Mattar, V. T., Borioni, J. L., Hollmann, A., & Rodriguez, S. A. (2022). Insecticidal activity of the essential oil of Schinus areira against Rhipibruchus picturatus (F.) (Coleoptera: Bruchinae), and its inhibitory effects on acetylcholinesterase. P*esticide Biochemistry and Physiology*, 185, 105134. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105134

Memar, M. Y., Raei, P., Alizadeh, N., Aghdam, M. A., & Kafil, H. S. (2017). Carvacrol and thymol: Strong antimicrobial agents against resistant isolates. *Reviews and Research in Medical Microbiology*, Vol. 28. https://doi.org/10.1097/MRM.0000000000000100

Moller, A. C., Parra, C., Said, B., Werner, E., Flores, S., Villena, J.,

... Madrid, A. (2021). Antioxidant and Anti-Proliferative Activity of Essential Oil and Main Components from Leaves of Aloysia polystachya Harvested in Central Chile. *Molecules*, 26(1). https://doi.org/10.3390/molecules26010131

Nediani M. T. (2020). Microbiología General: *Carpeta de Trabajos Prácticos.*

Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: A review. B*ioresource Technology*, 101(1), 372–378. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048

Numpaque, M. A., Oviedo, L. A., Gil, J. H., García, C. M., & Durango, D. L. (2011). Thymol and carvacrol: biotransformation and antifungal activity against the plant pathogenic fungi Colletotrichum acutatum and Botryodiplodia theobromae. *Tropical Plant Pathology,* 36(1). https://doi.org/10.1590/s1982-56762011000100001

O'Leary, N., Lu-Irving, P., Moroni, P., & Siedo, S. (2016). Taxonomic Revision of Aloysia (Verbenaceae, Lantaneae) In South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 101(3), 568–609. https://doi.org/10.3417/2013015

Omolo, M. O., Okinyo, D., Ndiege, I. O., Lwande, W., & Hassanali, A. (2004). Repellency of essential oils of some Kenyan plants against Anopheles gambiae. *Phytochemistry*, 65(20), 2797–2802. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.08.035

Ortuño Sánchez, M. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes* (Copyright). AIYANA.

Pacios, O., Blasco, L., Bleriot, I., Fernandez-Garcia, L., Bardanca, M. G., Ambroa, A., ... Tomás, M. (2020). Strategies to combat multidrug-resistant and persistent infectious diseases. *Antibiotics*. https://doi.org/10.3390/antibiotics9020065

Paré, P. W., & Tumlinson, J. H. (1997). De novo biosynthesis of volatiles induced by insect herbivory in cotton plants. *Plant Physiology*, 114(4). https://doi.org/10.1104/pp.114.4.1161

Passicot, C., Cabral, E., Salas, R., & Martín, S. (2010). Asterideas diversidad vegetal biotaxonomia de speratofitos. In *Asterideas diversidad vegetal biotaxonomia de speratofitos*.

Pérez-Zamora, C. M., Torres, C. A., Aguado, M. I., Bela, A., Nuñez, M. B., & Bregni, C. (2016). Antibacterial activity of essential oils of Aloysia polystachya and Lippia turbinata (Verbenaceae). *Latin American and Caribbean Bulletin of Medicinal and Aromatic Plants*, 15, 199–205.

Pérez Zamora, C. M. et al. (2016). Antibacterial activity of essential oils of Aloysia polystachya and Lippia turbinata (Verbenaceae). *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas.*

Pino Alea, J. A. (2015). Aceites Esenciales: *QUÍMICA, BIOQUÍMICA, PRODUCCIÓN Y USOS.* Editorial Universitaria.

Prates, H. T., Santos, J. P., Waquil, J. M., Fabris, J. D., Oliveira, A. B., Foster, J. E., … Horizonte, B. (1998). I*nsecticidal Activity of Monoterpenes Against Rhyzopertha dominica (F .) and Tribolium castaneum (Herbst).* 34(4), 5–8.

Ramirez, L. S., & Marin Castaño, D. (2009). METODOLOGIAS PARA EVALUAR IN VITRO LA ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE COMPUESTOS DE ORIGEN VEGETAL Methodologies for evaluating the In vitro antibacterial activity of natural compounds of plant origin. *Scientia et Technica*, (42), 263–268.

Reen, F. J., Gutiérrez-Barranquero, J. A., Parages, M. L., & O'Gara, F. (2018). Coumarin: a novel player in microbial quorum sensing and biofilm formation inhibition. A*pplied Microbiology and Biotechnology,* Vol. 102. https://doi.org/10.1007/s00253-018-8787-x

Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology.* https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554

Reid, A., Josie, B., Short, F., & Nicholas, T. (2020). Bacterial genomes: disease outbreaks and antimicrobial resistance. https://doi.org/10.1093/jacamr/dlaa090

Sánchez de Lorenzo Cáceres, J. M. (2020). Arboles y arbustos ornamentales de las Islas Canarias. In *Arboles y arbustos ornamentales de las Islas Canarias* (Vol. 7).

Sánchez Moreno, M. (2017). Nanopartículas De Plata: Preparación,

Caracterización Y Propiedades Con Aplicación En Inocuidad De Los Alimentos. In *Journal of Chromatography* (Vol. 1040).

Shaaban, H. A. E., El-Ghorab, A. H., & Shibamoto, T. (2012). Bioactivity of essential oils and their volatile aroma components: Review. *Journal of Essential Oil Research*, Vol. 24. https://doi.org/10.1080/10412905.2012.659528

Shamsadin-Azad, Z., Taher, M. A., Cheraghi, S., & Karimi-Maleh, H. (2019). A nanostructure voltammetric platform amplified with ionic liquid for determination of tert-butylhydroxyanisole in the presence kojic acid. J*ournal of Food Measurement and Characterization*, 13(3), 1781–1787. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00096-6

Wang, J., & Pichersky, E. (1998). Characterization ofS-Adenosyl-l-Methionine:(Iso)eugenolO-Methyltransferase Involved in Floral Scent Production inClarkia breweri. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 349(1), 153–160. https://doi.org/10.1006/ABBI.1997.0452

Werdin González, J. O., Gutiérres, M. M., Murray, A. P., Ferrero, A., & Nezara, P. (2010). Biological Activity of Essential Oils from Aloysia polystachya against the soybean pest nezara viridula. *Natural Product Communications*, 5(2), 301–306.

Wijesundara, N. M., & Rupasinghe, H. P. V. (2018). Essential oils from Origanum vulgare and Salvia officinalis exhibit antibacterial and anti-biofilm activities against Streptococcus pyogenes. *Microbial Pathogenesis*, 117, 118–127. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.02.026

Wińska, K., Mączka, W., Łyczko, J., Grabarczyk, M., Czubaszek, A., & Szumny, A. (2019). Essential oils as antimicrobial agents—myth or real alternative? Molecules, 24(11), 1–21. https://doi.org/10.3390/molecules24112130

Zarrad, K., Hamouda, A. Ben, Chaieb, I., Laarif, A., & Jemâa, J. M. Ben. (2015). Chemical composition, fumigant and anti-acetylcholinesterase activity of the Tunisian Citrus aurantium L. essential oils. *Industrial Crops and Products*, 76, 121–127.

II. ÁREA TEMÁTICA: DESARROLLO SOSTENIBLE Y RECURSOS NATURALES

CULTIVOS DE COBERTURA Y CALIDAD DE SUELOS EN SANTIAGO DEL ESTERO

Analia L. Anriquez[1], Salvador Prieto Angueira[1,2], María J. Vásquez[1], Andrea Godoy[3], Juan E. Silberman[1], José L. Delgado[1]

Resumen

En la región del Chaco semiárido las alternativas que se plantean, para mejorar o mantener la productividad, conservando el recurso suelo, son la siembra directa (SD), rotaciones de cultivos y cultivos de cobertura (CC). Sin embargo, son escasos los estudios del impacto de los CC en el suelo. El objetivo de este trabajo es presentar resultados de los efectos a corto plazo de la inclusión de CC en la secuencia soja-maíz sobre indicadores de calidad del suelo.

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas. Cátedras de Ecología y Microbiología Agrícola. Santiago del Estero, Argentina.
2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). EzEA Santiago del Estero Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero. Argentina.
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Cátedra Microbiología. Santiago del Estero, Argentina.

Palabras clave: Nitrógeno potencialmente mineralizable, C de la biomasa microbiana, Actividad microbiana, Centeno, Vicia

1. Introducción

En la ecorregión Chaco Seco y particularmente en Santiago del Estero se han registrado disminuciones en los contenidos de carbono orgánico del suelo (Koritko et al., 2019). Esto se debe al avance de la actividad agrícola sobre los ecosistemas naturales que produce importantes pérdidas del contenido de materia orgánica, de los nutrientes y de la biomasa de las capas superficiales del suelo, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y consecuentemente restándoles productividad (Pérez-Carrera et al., 2008).

La disminución de la productividad y la pérdida de los recursos naturales atentan contra la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios (Andrade, 2020). Con el fin de revertir esta situación minimizando los impactos negativos en el ecosistema, especialmente en el recurso suelo, se han generalizado prácticas conservacionistas. Entre estas prácticas se mencionan principalmente la siembra directa (SD), rotaciones de cultivo y cultivos de cobertura (CC). Las mismas permiten aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, preservar la estructura, recuperar suelos degradados y mejorar la productividad y la biodiversidad (Volante et al., 2005; Ward et al., 2018; Duval et al., 2016).

1.2. Alternativas de producción sustentables

1.2.1 Siembra directa

En el NOA a partir de la década del 90, la siembra directa (SD) comenzó a difundirse y en la actualidad su adopción es generalizada y de uso masivo. Principalmente se la recomienda porque

no remueve la capa superficial del suelo y mantiene la cobertura vegetal, lo que contribuye a la conservación del agua y suelo, mejorando su calidad (Reicosky, 2008; Noellemeyer et al., 2013).

La SD se realiza bajo sistemas de rotaciones o alternancia de cultivos, sin embargo, en la región chaqueña, la secuencia de cultivos que se utiliza es simple. Se basa principalmente en alternancia de cultivos estivales de soja y maíz con prolongados períodos de barbecho entre ellos ya que no hay participación de cultivos de cobertura invernales (Volante et al., 2005). En estos sistemas simples, aún bajo manejo conservacionista, el aporte de residuos vegetales es inferior al de la vegetación natural, por lo que gradualmente ha ido disminuyendo el contenido de materia orgánica del suelo (Fernández et al., 2012). Los sistemas agrícolas precisan ser manejados con una mayor diversidad de especies para contribuir a la sustentabilidad de estos (Restovich, Andriulo, 2013). Es por ello por lo que se plantea la utilización de cultivos de cobertura (CC) con el fin de favorecer los balances de carbono y agua en los sistemas agrícolas.

1.2.2 Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura (CC), también son llamados cultivos de servicio ya que pueden restaurar distintos servicios ecosistémicos provistos por el suelo y que fueron perdidos por el cambio de uso (Piñeiro et al., 2014). Los CC son aquellos sembrados entre dos cultivos de cosecha y que no serán incorporados al suelo (a diferencia de los abonos verdes), ni pastoreados (a diferencia de los verdeos), ni recolectados (Álvarez et al., 2020). Tienen por objetivo, controlar malezas, aumentar las reservas de carbono (C) del suelo (Ding et al., 2006), mejorar las propiedades físicas del suelo (Franzluebbers, Stuedemann, 2008), prevenir la erosión, aumentar la infiltración, retener nutrientes reduciendo las pérdidas por lixiviación (Pinto, Piñeiro, 2018) y, también mejorar la disponibilidad de nitrógeno (N)

para los cultivos posteriores (Büchi et al., 2015).

Los CC invernales se realizan durante el periodo de barbecho invernal, previo a la siembra de un cultivo destinado a la producción de granos (cultivo de renta). Se interrumpe su crecimiento a través de la aplicación de herbicidas, con un tiempo de anticipación lo suficiente para permitir la recuperación de la humedad del suelo y luego realizar la siembra del cultivo de renta (Abdin et al., 2000). La biomasa aérea de los CC queda en la superficie, mientras que la biomasa de raíces se concentra en los primeros 20-40 cm del perfil impactando positivamente sobre la estructura del suelo, la materia orgánica, la dinámica hídrica y la captura de nutrientes (Álvarez et al 2020).

Los cultivos de cobertura no están tan generalizados en las regiones semiáridas, tal como en la región chaqueña, ya que el consumo hídrico de éstos durante el invierno pondría en riesgo la normal oferta de agua acumulada en el suelo para el cultivo siguiente (Duarte, 2002; Quiroga et al., 2007; Restovich et al., 2012). Para que sea posible la adopción de los cultivos de cobertura en estas regiones, éstos no deberían afectar la implantación del cultivo de renta, como así tampoco su rendimiento, por reducir las reservas hídricas del perfil del suelo (Novelli et al., 2010). Para ello, estudios previos han demostrado que un adecuado manejo de las fechas de secado permite asegurar una adecuada recarga del perfil edáfico al inicio del cultivo sucesor (Ridley, 2013; Lescano y Prieto Angueira, 2018).

Las especies de leguminosas más utilizadas y recomendadas como cultivo de cobertura son los tréboles y las vicias, entre estas *Vicia villosa* y *V. sativa* (Fageria et al., 2005). Su efecto positivo en el corto plazo se relaciona con el cambio producido sobre la disponibilidad de N en el suelo. La mayoría de las leguminosas interaccionan en simbiosis con bacterias fijadoras de N atmosférico, por lo que poseen una alta capacidad de acumular N en su biomasa aérea (Fageria et al., 2005). Este N tiene como destino el suelo, donde queda acumulado en

forma de N orgánico, que muy lentamente se torna disponible para los cultivos posteriores durante la descomposición y mineralización de los residuos (Ruffo, Bollero, 2003; Acosta et al. 2011). El contenido de N aportado por los residuos de CC de leguminosas varía según la especie utilizada, su adaptación a condiciones específicas, tanto climáticas como edáficas, el N disponible en el suelo y el momento de supresión del crecimiento (Reeves, 1994).

Las especies gramíneas más utilizadas son cebada (*Hordeum vulgare* L.), ray grass (*Lolium multiflorum* L.), avena (*Avena sativa* L.) y centeno (*Secale cereale*), destacándose esta última por su resistencia al frio, tolerancia a sequía y producción de biomasa (Carfagno et al., 2013; Raspo y Tassone, 2016).

En Santiago del Estero las especies más sembradas como CC son *Secale cereale* y *Vicia villosa* (Prieto Angueira et al., 2020). Generalmente se utilizan estas especies en asociación, con el fin de favorecer un mayor aporte de residuos de diferente calidad, contribuir a la mayor cobertura del suelo y al reciclado de nutrientes, especialmente N (De Sa Pereira, 2013; De Sa Pereira, 2017). La inclusión de diferentes cultivos en la secuencia presenta entre otras ventajas, incrementos en la actividad biológica del suelo, lo que promueve efectos benéficos en la fertilidad del suelo a través del aumento en el reciclado de nutrientes e incrementos en la materia orgánica del suelo (MOS). Esto es muy importante ya que la MOS y sus fracciones son componentes claves en la calidad del suelo (Carter, 2002).

1.3 Calidad de suelos

La calidad de suelos es la capacidad funcional que presenta un tipo específico de suelo, para sustentar la productividad vegetal o animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y sostener el asentamiento y salud humana, con límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo. Para mante-

ner y/o mejorar la calidad del suelo, los sistemas productivos deben ser sustentables. El objetivo de la sustentabilidad es alcanzar una alta capacidad productiva (habilidad del suelo para promover la productividad del ecosistema o agroecosistema, sin deteriorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas) y la conservación o mejoramiento de la capacidad de este para atenuar los contaminantes ambientales, los patógenos y cualquier daño hacia el exterior del sistema (Cuevas et al., 2004). Esta definición refleja los numerosos vínculos entre las funciones del suelo (ej. provisión de hábitats, ciclado de elementos, descomposición, mantenimiento de la estructura del suelo, ciclado del agua y materia orgánica, secuestro de C) y los servicios ecosistémicos que ofrece (ej. producción de biomasa, conservación de la biodiversidad, control de la erosión, control de plagas y enfermedades, suministro y calidad de agua, regulación del clima) (Bünemann et al., 2018).

Evaluar la calidad del suelo es muy importante para determinar los efectos que produce un determinado manejo. Para ello se necesitan indicadores, un conjunto de atributos (físicos, químicos y biológicos) sensibles del suelo que reflejen la capacidad del mismo para funcionar (Albanesi et al., 2013a). La evaluación de la calidad también debe incluir valores de referencia para permitir la identificación de los efectos del manejo (Bünemann et al., 2018).

1.3.1 Indicadores de calidad de suelos

Entre los atributos o propiedades químicas propuestas con mayor frecuencia como indicadores de calidad, se encuentran el contenido de carbono orgánico (COS) y el N total (NT), componentes de la MOS (Bünemann et al., 2018). Sin embargo, los cambios en estos componentes, originados por las prácticas de manejo y el uso del suelo, son difíciles de detectar en el corto plazo. Esto se debe a que se producen lentamente y son

relativamente pequeños en comparación con el amplio contenido de MOS, que varía tanto espacial como temporalmente (Duval et al, 2016). Es por ello por lo que se utiliza el C y N de la fracción particulada de la materia orgánica, considerada como un indicador temprano y más sensible a las perturbaciones que la materia orgánica total (Duval et al., 2013).

La materia orgánica particulada (MOP) al ser la fracción activa y más lábil es de rápida descomposición por la biota del suelo, por lo que presenta un rápido tiempo de renovación de meses a años (Krull et al., 2003). Además, constituye un reservorio de nutrientes a corto plazo e influye en la respuesta de los microorganismos a las entradas de residuos al suelo (Elliott, Cambardella, 1991; Janzen et al., 1992; Galantini, Rosell, 2006; Villarino et al., 2021).

Los componentes biológicos del suelo también pueden actuar como indicadores de calidad tempranos y sensibles a factores ambientales, prácticas de manejo, tipo de suelo y especies vegetales (Morales et al., 2022). Esto se debe a que participan en innumerables procesos y funciones que ocurren en el suelo, como en la descomposición de residuos orgánicos, el ciclado de nutrientes, la formación de MOS, entre otros.

Entre los indicadores biológicos, se evalúan con mayor frecuencia la biomasa microbiana, el nitrógeno mineralizable, la respiración edáfica y diversas actividades enzimáticas (Albanesi et al., 2013b; Bünemann et al., 2018). Estos indicadores estiman la estructura (tamaño, composición, diversidad, etc.) y función (actividad biológica en general o involucradas en procesos específicos) de las comunidades microbianas y cómo éstas son influenciadas por el ambiente y el manejo (Albanesi et al., 2013b).

La biomasa microbiana del suelo es el componente microbiano vivo del suelo y constituye entre el 1 y 3% del C total del suelo. Los cambios en este indicador reflejan tendencias a largo plazo en los contenidos de MOS. La disponibilidad de

nutrientes y la productividad de los agroecosistemas dependen principalmente del tamaño y de la actividad de la biomasa microbiana (Moore et al., 2000). Existe una relación entre la biomasa microbiana, la velocidad de descomposición y la mineralización del nitrógeno (Sotelo et al., 2022).

El nitrógeno potencialmente mineralizable (Nan) es la máxima cantidad de N que puede ser liberado de un material orgánico, después de su descomposición por acción de los microorganismos (Cerrato et al., 2007), hacia formas inorgánicas solubles ($NH4^+$, $NO3^-$). Este indicador refleja el suministro potencial de N a los vegetales.

La respiración edáfica es la fracción del carbono como CO_2 emitido por la microflora heterotrófica aeróbica del suelo en un término de diez días, en condiciones controladas de incubación (Anderson, 1982). Este indicador biológico representa la magnitud y el potencial global de la actividad microbiana (Jha et al., 1992; Dutta et al., 2010). Por otro lado, las actividades de ciertas enzimas, tales como β-glucosidasa y ureasa son indicadores de procesos más específicos que ocurren en el suelo (Jiménez De Ridder y Bonmatí Pont, 2003; Sastre Conde y Bedmar Lobo, 2003).

2. Cultivos de cobertura. Experiencias en Santiago del Estero

Se evaluó el efecto a corto plazo de CC, sobre indicadores de calidad del suelo. las experiencias se realizaron en la localidad Isca Yacu, Santiago del Estero, Argentina (27º 06´S, 64º 39´W), correspondiente a la ecorregión Chaco Seco, subregión Chaco Semiárido, complejo ecosistémico "bosques y arbustales abiertos del centro" (Morello et al., 2012).

Los ensayos se realizaron durante tres años (2019, 2020 y 2021) en diferentes lotes (336 m^2), y en cada uno de ellos la incorporación de los CC se efectuó en la secuencia soja-maíz.

Se establecieron cuatro tratamientos con tres repeticiones. Los tratamientos fueron:

- Barbecho: Control, barbecho químico sin cultivo de cobertura
- Centeno: Cultivo de *Secale cereale*
- Vicia: Cultivo de Vicia villosa inoculada con *Rhizobium leguminosarum* bv viciae
- Centeno + Vicia: Asociación de cultivos 25 % centeno + 75 % vicia

Los CC se sembraron en mayo, luego de la cosecha de soja, y su crecimiento fue interrumpido en septiembre, mediante secado químico. No hubo CC previos, en los lotes. El uso del suelo fue siempre agrícola (25 años de siembra directa) desde su desmonte (40 años). El muestreo de suelos se realizó tres meses después del secado químico (diciembre). En cada lote, se realizó un muestreo aleatorio simple, tomando una muestra compuesta de 12 submuestras para cada profundidad (0-5 cm y 5-20 cm de profundidad). Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por tamiz de 2mm.

Se evaluó la calidad del suelo mediante la determinación de indicadores químicos (carbono y nitrógeno de la fracción total y particulada de la materia orgánica) y biológicos (nitrógeno potencialmente mineralizable, carbono de la biomasa microbiana, respiración edáfica y actividad enzimática). En general, para todos los indicadores se registraron los mayores valores en la capa superior del suelo (0-5 cm) comparados con la capa subsuperficial (5-20 cm). Esto es atribuible a que son sistemas basados en siembra directa, en los cuales los residuos se ubican en la superficie del suelo estimulando la actividad microbiana en la capa superficial del suelo (Céspedes Flores et al., 2012; Cotler et al., 2016; Nunes et al., 2020).

2. 1 Cultivos de cobertura e indicadores químicos del suelo

2.1.1 C orgánico de la fracción total (COS) y particulada de la materia orgánica (COP).

Existe evidencia que la inclusión de los CC en las rotaciones, en general aumentan un 15,5 % el COS (Follett, 2001; Ding et al., 2006; Álvarez et al., 2014; Girón et al., 2014; Poeplau y Don 2015; Jian et al., 2020). Esto depende de las interacciones entre los CC con los factores ambientales y de manejo. Por lo general, los suelos de textura gruesa y media son los que presentan menores cambios en el COS, comparado con los de textura fina. Los suelos de climas templados tienen mayores cambios que los de climas tropicales. Las mezclas de CC aumentan el COS en mayor medida que los cultivos puros y el uso de leguminosas provoca mayores aumentos que las especies de gramíneas (Jian et al., 2020). Por otro lado, otros autores informaron que los CC no generaron aumentos en el COS (Idowu et al., 2009; Ndiaye et al., 2000).

La diversidad de efectos generados por la utilización de los CC con relación al COS, están en función del clima, del manejo del cultivo, de la biomasa aportada por los mismos, y del tiempo de uso de estos. En muchos casos el aumento de la materia orgánica puede ser evidenciado recién a largo plazo (Poeplau y Don 2015).

En nuestras experiencias, observamos que la inclusión de los CC no impactó en el COS del suelo ni en las fracciones de carbono de la materia orgánica particulada (COP) ya que no se observaron diferencias entre los CC y el barbecho químico (Figuras 1 y 2), para estos indicadores de calidad. La ausencia de diferencia pudo deberse al corto plazo de los estudios.

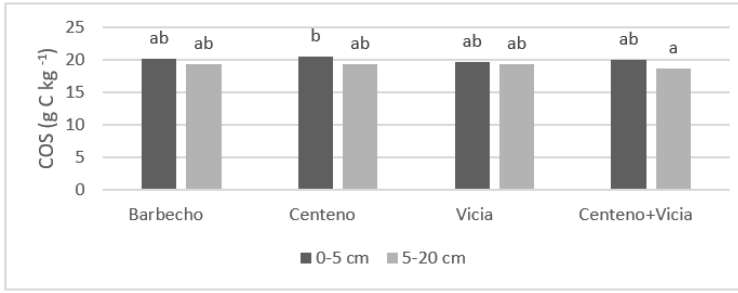


Figura 1. Valores medios de COS (g C kg^{-1} de suelo), en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras distintas indican diferencias significativas ($p< 0,05$).

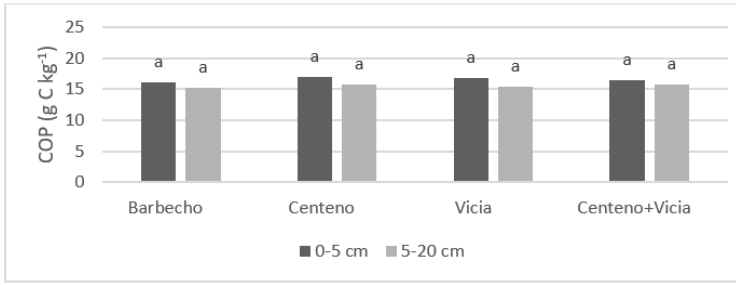


Figura 2. Valores medios de COP (g C kg^{-1} de suelo), en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras distintas indican diferencias significativas ($p< 0,05$).

2.1.2 N de la fracción total (NT) y particulada de la materia orgánica (NOP)

Hay estudios que indican que la utilización de CC incrementa el C y N en las fracciones más estables de la MOS (Frasier et al., 2016). Otros informan que aumentan, en el corto plazo el nitrógeno orgánico de la fracción más lábil del suelo. Estos incrementos son en general mayores cuando se utiliza Vicia como CC (Romaniuk et al., 2018). La respuesta está en función

de las precipitaciones, del tipo del suelo, del manejo y de la especie utilizada, siendo mayor los cambios al utilizar leguminosas (Jian et al., 2020).

En nuestras experiencias observamos que la inclusión de los CC mantiene el contenido de NT y del NOP en Vicia y en Centeno + Vicia, mientras que, aumenta el contenido de estos indicadores en la capa superficial del suelo en Centeno (Figuras 3 y 4).

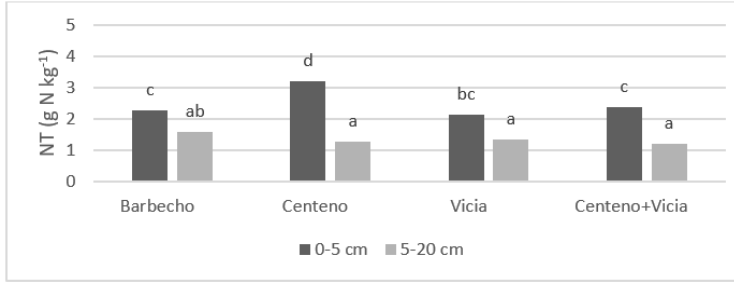


Figura 3. Valores medios de NT (g N kg^{-1} de suelo), en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 c m). Letras distintas indican diferencias significativas (p< 0,05).

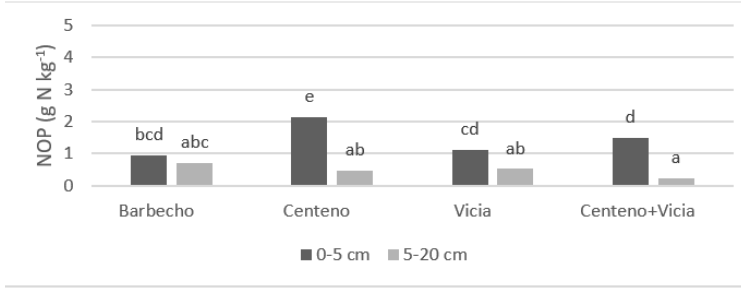


Figura 4. Valores medios de NOP (g N kg^{-1} de suelo), en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras distintas indican diferencias significativas (p< 0,05).

Estos resultados se deberían a que especies de gramíneas con alta relación C/N como es el caso del centeno, presentan

baja tasa de descomposición (Sá, 1996; Argenta et al., 2000) y como consecuencia menor utilización de la fracción más lábil (NOP) por los microorganismos del suelo. Mientras que las leguminosas, aportan residuos con baja relación C/N, los cuales generan aumentos instantáneos en la actividad microbiana (efecto de cebado) y como consecuencia tasas de mineralización más elevadas a expensas de la fracción NOP (Kuzyakov et al., 2000; Khan et al., 2007; Poirier et al., 2009; Casado-Murillo, Abril, 2013; Melchiori et al., 2014; Quiroga et al., 2017). Esto se puede ver reflejado por los cambios ocurridos en el nitrógeno potencialmente mineralizable, indicador analizado en la sección siguiente.

2.2 Cultivos de cobertura e indicadores biológicos

2.2.1 Nitrógeno potencialmente mineralizable (Nan)

El nitrógeno potencialmente mineralizable es una fracción del N orgánico del suelo vinculado con los cambios en las fracciones lábiles de la materia orgánica (NOP) (Gregorich et al., 2006; Soon et al., 2007; Domínguez et al., 2009).

Los residuos de las leguminosas, como se mencionó con anterioridad, al presentar baja relación C/N, generan aumentos instantáneos en la actividad microbiana y como consecuencia, tasas de mineralización más elevadas. Este aumento se evidencia por el mayor Nan en Vicia a 0- 5 cm de profundidad del suelo (Figura 5).

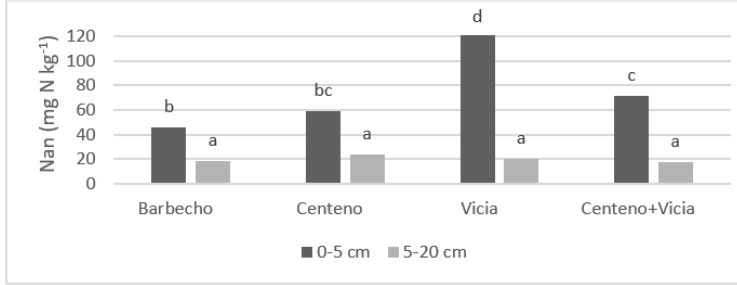


Figura 5. Valores medios de Nan (mg N kg^{-1} de suelo), en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras distintas indican diferencias significativas ($p< 0,05$).

2.2.2 Carbono de la biomasa microbiana (Cbm)

Numerosos autores demostraron que los CC aumentan la biomasa microbiana del suelo y que la misma está relacionada con la mineralización del N (Morales et al., 2022). Nuestros resultados coinciden con ello, ya que en Vicia a 0-5 cm de profundidad encontramos mayor contenido de Cbm (Figura 6) y, como ya se mencionó, mayor contenido de Nan (Figura 5).

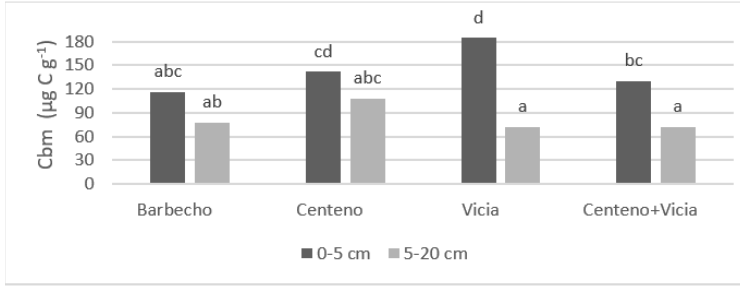


Figura 6. Valores medios de Cbm (µg C g^{-1} de suelo), en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras distintas indican diferencias significativas ($p< 0,05$).

2.2.3 Respiración edáfica del suelo (RE)

Existen estudios que concluyen que varios años de CC (leguminosas y gramíneas y/o sus mezclas), en rotación con cultivos de verano bajo SD, promueven la actividad biológica edáfica en comparación con los barbechos sin cultivos. Este efecto en general se observa a los pocos días de la supresión del CC (entre 14 y 90 días) (Morales et al., 2022). Por otro lado, en estudios de corto plazo en regiones áridas, se registró menor actividad microbiana, en los suelos con una sola inclusión de CC. Estos resultados se atribuyeron a la corta duración del ensayo y al ambiente árido donde se realizó el estudio, por lo que se sugiere para estos ambientes períodos mayores a un año para ver los efectos de los CC sobre la comunidad microbiana del suelo (Zhou et al., 2012).

En nuestras experiencias a corto plazo encontramos mayor RE con centeno como CC, en la capa subsuperficial del suelo (5-20 cm) (Figura 7). Esta mayor actividad respiratoria se atribuye al aporte realizado por el sistema radicular de esta especie, ya que la misma presenta una mayor abundancia de raíces a los 20 cm. Además, el peso seco de la raíz del centeno es mayor que el de otras gramíneas (Sheng, Hunt, 1991). La morfología propia de los sistemas radiculares de las gramíneas concentra una mayor proporción de raíces primarias y secundarias y esto está asociado a un mayor contenido de materia orgánica, nutrientes, aireación y disponibilidad de agua comparado con los estratos inferiores del suelo (Stone et al., 2001; Sainju et al., 2005), lo que lo hace un ambiente propicio para la actividad microbiana. Esto también coincide con el mayor Cbm registrado en Centeno, en la segunda profundidad (Figura 6).

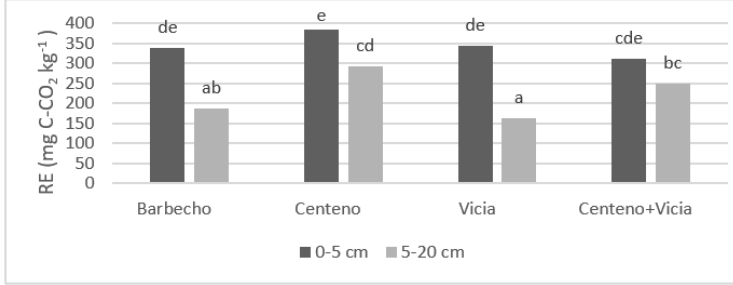


Figura 7. Valores medios de RE (mg C-CO2 kg^{-1} de suelo), en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras distintas indican diferencias signif. ($p < 0,05$).

2.2.4 Actividad enzimática del suelo

La enzima β-glucosidasa participa en el proceso final de degradación de la celulosa de los residuos vegetales, liberando glucosa. Su actividad se correlaciona con la dinámica del COS (Jiménez De Ridder y Bonmatí Pont, 2003).

Diversos estudios, a nivel mundial, demostraron que los CC incrementan la actividad β-glucosidasa en comparación a un barbecho desnudo (Mukumbareza et al., 2016; Nevins et al., 2018; Hontoria et al., 2019; Kim et al., 2020).

La enzima ureasa interviene en el ciclo del N al catalizar la hidrolisis de la urea a amonio (Sastre Conde y Bedmar Lobo, 2003). Los estudios realizados con relación a las leguminosas como cultivos de cobertura indican que el N atmosférico fijado biológicamente durante el crecimiento, puede ser liberado al suelo en el periodo siguiente a la terminación luego de la descomposición microbiana (Nevins et al. 2020). Cuando el cultivo de cobertura *Vicia sp.* fue terminado en estado de 10% de floración estimuló la actividad ureasa ya que el cultivo en ese momento acumula máxima proteína en el tejido (Adetunji et al., 2021). Además, la inclusión de CC que aportan residuos con baja relación C/N aumentó significativamente la concen-

tración de amonio del suelo (Nevins et al., 2021).

En nuestra experiencia encontramos mayor actividad β-glucosidasa en la capa subsuperficial del suelo, en los cultivos de cobertura en dónde interviene el centeno (Figura 8). Esto se debe a que la arquitectura del sistema radicular del centeno concentra su mayor biomasa en la capa subsuperficial (Oderiz et al., 2017).

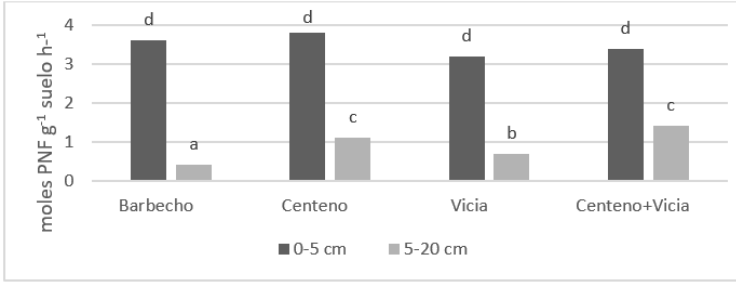


Figura 8. Valores medios de la actividad β-Glucosidasa (moles p-nitrofenol g^{-1} suelo h^{-1}) en los tratamientos evaluados, en dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras distintas indican diferencias signif. ($p< 0,05$).

Con relación a la actividad ureasa se registró mayor actividad en suelos con leguminosas como cultivos de cobertura solo o asociados (Figura 9).

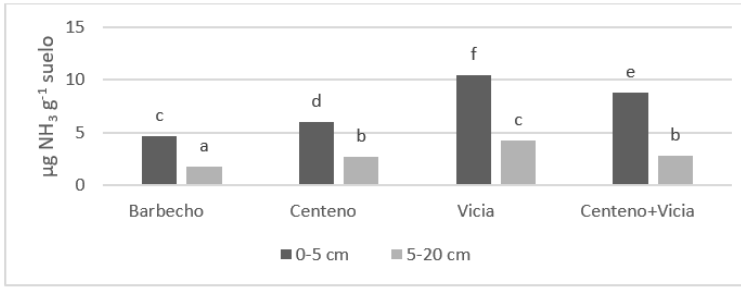


Figura 9. Valores medios de la actividad ureasa (µg NH3 g^{-1} suelo) en los tratamientos evaluados en dos profundidades del suelo (0-5 cm y 5-20 cm).

3. Consideraciones finales

Los CC contribuyen con la calidad del suelo ya que mejoran alguno de los indicadores de calidad, dependiendo de la especie utilizada. Si bien, la inclusión de CC no modificó los contenidos de C en el suelo, vicia contribuyó a aumentar la actividad microbiana relacionada al ciclo del N, por lo que su incorporación es importante para el suministro de N a los cultivos estivales. Mientras que el centeno aumentó la actividad de las enzimas relacionadas al ciclo del C, especialmente en la capa subsuperficial.

Estos resultados corresponden a la incorporación de un solo año de CC, por lo que sería necesario continuar realizando ensayos para evaluar los efectos acumulados de los CC.

Referencias

Abdin, O.A., Zhou, X.M., Cloutier, D., Coulman, D.C., Faris, M.A., Smith, D.L. (2000). Cover crops and interrow tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). European Journal of Agronomy, 12:93-102.

Acosta, J.A.A., Amado, T.J.C., Neergaard, A. D., Vinther, M., Da Silva, L.S., Da Silveira, R.N. (2011). Effect of 15N labeled hair y vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no tillage. R. Bras. Ci. Solo. 35: 1337-1345

Adetunji, A. T., Ncube, B., Meyer, A. H., Olatunji, O. S., Mulidzi, R., Lewu, F. B. (2021). Soil pH, nitrogen, phosphatase and urease activities in response to cover crop species, termination stage and termination method. Heliyon, 7(1), e05980.

Albanesi A., Anríquez, A., Domínguez Nuñez, J.A., Silberman, J., Kunst, C. (2013a). Calidad de suelo. Propiedades biológicas y evaluación en ecosistemas semiáridos. En: *Microbiología Agrícola. Un Aporte de la Investigación Argentina. Segunda edición*. Ed: Albanesi, A. Ediciones Magna Publicaciones. ISBN 978-987-1726-17-2. 500 p. Pag 1-26.

Albanesi, A., Kunst, C., Anríquez, A., Silberman, J., Ledesma, R., Navall, M., Domínguez Núñez, J.A., Duffau, R. A., Suarez, R. A., Werenistky, D., Coria, D., Coria, O. (2013b). Rolado selectivo de baja intensidad (RBI) y sistemas silvopastoriles de la región chaqueña. En *Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial de la FAyA al NOA.* Eds. Albanesi A., R. Paz, M.T. Sobrero, S. Helman, S. Rodríguez. Ediciones Magna Publicaciones. ISBN: 978-987-1726-16-5. 360 p. Pag 147-174.

Álvarez, C, Álvarez, CR, Costantini, A, & Basanta, M. (2014). Carbon and nitrogen sequestration in soils under different managements in the semi-arid Pampas (Argentina). Soil and Tillage Research, 142, 25-31.

Álvarez, C., Fernández, R., Rillo, S., Frasier, I. Quiroga, A. (2020). ¿Cuándo, para qué y cómo usamos un cultivo de cobertura? En *Cultivos de cobertura en San Luis*. Colazo J.C., Garay, J.A. (Eds). Información Técnica 197. EEA INTA San Luis, di-

ciembre de 2020. Ediciones INTA.
Anderson, J.P.E. (1982). Soil respiration. p. 831-871. Part II. 2nd ed. Agronomy 9. In: Page, A.L., Millar, R.M., Kenny, D.R. (eds). Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
Andrade, F.H. (2020). *Los desafíos de la agricultura global*. Ediciones INTA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
Argenta, G., Da. Silva, P.R.F., Bortolini, C.G., Strieder, M.L., Forsthofer, E.L. (2000). Efeito de sistemas de manejo da ervilhaca comum sobre a cultura do milho semeada em sucessão. In: Congresso nacional de milho e sorgo,23, Resumos Uberlândia. (Impressao eletronica).
Büchi, L., Gebhard, C.A., Liebisch, F., Sinaj, S., Ramseier, H., Charles, R. (2015). Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. Plant and Soil, 393, pp.163–175.
Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., De Goede, R., ... , Brussaard, L. (2018). Calidad del suelo: una revisión crítica. Biología y bioquímica del suelo, 120, 105-125.
Carfagno, P., Eiza, M., Babinec, F., Quiroga, A. (2013). Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de hapludoles y haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa. En Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Álvarez, C., Quiroga, A., Santos, D., Bodrero, M. (Eds). Primera edición. Ediciones INTA, La Pampa. ISBN 978-987-679-177-9. 170p. Pag 88-91.
Carter, M.R. (2002). Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions Agronomy Journal 94: 38-47.
Casado-Murillo, N., Abril, A. (2013). Decomposition and carbon dynamics of crop residue mixtures in a semiarid long term no-till system: effects on soil organic carbon. Open Agric. J. 7: 11-21.
Cerrato, M., Leblanc, H., Kameko, C. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombri compost Figueroa-Barrera -– Mineralización de Nitrógeno en

materiales orgánicos producidos en la Universidad EARTH. Revista Tierra Tropical 3(2):183-197.

Céspedes Flores, F.E., Fernández, J.A., Gobbi, J.A., Bernardis A.C. (2012). Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. Revista fitotecnia mexicana, 35(1), 79-86.

Cotler, H., Martínez M., Etchevers, J.D. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación políticas públicas. Terra Latinoamericana 34 (1): 125-138.

Cuevas, J., Dörner, J. y Ellies, A. (2004). Elementos de física y mecánica para evaluar la sustentabilidad de suelos agrícolas. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 4 (2), 1-13.Daliparthy, J., Herbert, S., Veneman, P. (1994). Dairy manure application to alfalfa: crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. Agron. J. 86: 927- 933.

De Sá Pereira, E., Galantini, J., Quiroga, A. (2017). Calidad de cultivos de cobertura en sistemas de siembra directa del sudoeste bonaerense. Ciencia del suelo, 35(2), 337-350.

De Sa Pereira, E. (2013). Los cultivos de cobertura y la productividad del maiz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. Tesis doctoral, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., Xing, B. (2006). Effect of cover crop management on soil organic matter. Geoderma, 130(3-4):229-239. doi:10.1016/j.geoderma.2005.01.019.

Domínguez, G.F., Diovisalvi, N.V., Studdert, G.A., Monterubbianesi, M.G. (2009). Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern pampas. Soil Till. Res. 102(1): 93-100.

Duarte, G. (2002). Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda de Argentina. En *Manual práctico para el cultivo de girasol*. Editores Díaz-Zorita M. y Duarte G. 313 pp.

Dutta, M., Sardar, D., Pal, R., Kole, R.K. (2010). Effect of chlorpyrifos on microbial biomass and activities in tropical clay loam soil. Environ. Monit. Assess, 160(1), 385-391.

Duval, M.E., Galantini, J.A., Martínez, J.M., López, F.M. (2016). Utilización de dos prácticas agrícolas contrastantes: efectos temporales sobre las propiedades edáficas. XXV Congreso argentino de la Ciencia del Suelo, Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016.

Duval, M.E., Galantini, J.A., Iglesias, J.O., Canelo, S., Martinez, J.M., Wall, L. (2013). Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. Soil Till. Res. 131, 11-19.

Elliott, E.T., Cambardella, C.A. (1991). Physical separation of soil organic matter. Agriculture, Ecosystems & Environment, 34(1-4), 407-419

Fageria, N.K., Baligar, V.C., Bailey, B.A. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36:2733-2757.

Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E. (2012). Cultivos de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semíarida pampeana? Cienc. del Suelo 30 (2): 137-150.

Follett, R.F. (2001). Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. Soil and Tillage Research, 61:77-92.

Franzluebbers, A.J., Stuedemann, J.A. (2008). Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. Journal of the Soil Science Society of America, 72 (3), 613-625

Frasier, I., Noellemeyer, E., Figuerola, E., Erijman, L., Permingeat, H, Quiroga, A. (2016). Los residuos de alta calidad de los cultivos de cobertura favorecen los cambios en la comunidad microbiana y mejoran el secuestro de C y N. Ecología Global y Conservación, 6 , 242-256.

Galantini, J., Rosell, R. (2006). Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and Dynamic under different production systems in semiarid Pampean soils. Soil Till. Res. 87:72-79.

Girón, P, Scianca, C, Barraco, M, Lardone, A & Miranda, W. (2014). Cambios en el carbono orgánico por la inclusión de cultivos de cobertura. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo, II Reunión Nacional Materia Orgánica y Sustancias Húmi-

cas. Bahía Blanca, Argentina. 5 al 9 de mayo de 2014. En CD.
Gregorich, E.G., Beare, M.H., McKim, U.F., Skjemstad, J.O. (2006). Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 975-985.
Hontoria, C., García-González, I., Quemada, M., Roldán, A., Alguacil, M.M. (2019). The cover crop determines the AMF community composition in soil and in roots of maize after a ten-year continuous crop rotation. Science of the Total Environment, 660, 913-922.
Idowu, P.E., Ibitoye, D.O., Ademoyegun, O.T. (2009). Tissue culture as a plant production technique for horticultural crops. African Journal of Biotechnology, 8(16).
Janzen, H.H., Campbell, C.A., Brandt, S.A., Laford, G.P., Townley-Smith, L. (1992). Light fraction organic matter in soils from long-term crop rotation. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1799 1806.
Jha, D.K., Sharma, G.D., Mishra, R.R. (1992). Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. Soil Biol. chem. 24(8): 761-767.
Jian, J., Du, X., Reiter, M.S., Stewart, R.D. (2020). A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping. Soil Biology and Biochemistry, 143, 107735.
Jimenez De Ridder, P., Bonmatí Pont, M. (2003): Determinación de la actividad β-Glucosidasa del suelo. En: García Izquierdo C; Gil Sotres F; Hernández Fernández T; Trasar Cepeda C. *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medidas de actividades enzimáticas y biomasa microbiana.* Ediciones mundo-prensa. Madrid (España). Pag 169-184.
Khan, S.A., Mulvaney, R.L., Ellsworth, T.R., Boast, C.W. (2007). The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. J. Environ. Qual. 36: 1821-1832.
Kim, N., Zabaloy, M.C., Guan, K., Villamil, M.B. (2020). Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. Soil Biology and Biochemistry, 142, 107701.
Koritko, L.M., Suárez, R.A., Anriquez, A.L., Pece, M., Albanesi, A.S. (2019). Efecto de la siembra directa en la estabilización del carbono orgánico del suelo a escala de sitio en Santiago

del Estero, Argentina. Rev. Agron. Noroeste Argent. 39 (1): 9-18 ISSN 0080-2069 (impresa) ISSN 2314-369X (en línea).

Krull, E.S., Baldock, J.A., Skjemstad, J.O. (2003). Importance of mechanisms and processes of the stabilization of soil organic matter for modeling carbon turnover. Functional Plant Biol. 30: 207-222.

Kuzyakov, Y., Friedel, J.K., Stahr, K. (2000). Review of mechanisms and quantification of priming effects. Soil Biol. Biochem. 32: 1485- 1498.

Lescano, M, Prieto Angueira, S. (2018). Efecto del centeno de cobertura secado en diferentes momentos como cultivo posterior a maíz ensilado. Actas XXVI Congreso Argentino de Ciencia de Suelo. Copilado por G.A. Sanzano, et al. Asociación Argentina de Ciencia de Suelo – AACS. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Pp 1132. San Miguel de Tucumán, Argentina. 15 al 18 de mayo de 2018. ISBN 978-987-46870-0-5.

Melchiori, R.J.M., Novelli, L.E., Gregorutti, V.C., Caviglia, O.P. (2014). Stover quality and soil organic carbon in long-term nitrogen-fertilized maize. Agron. J. 106: 1709-1716.

Moore, J.M., Klose, S., Tabatabai, M.A. (2000). Soil microbial biomass carbon and nitrógeno as affected by cropping Systems. Biol Fertil Soils 31: 200-210.

Morales, M.E., Iocoli, G.A., Villamil, M.B., Zabaloy, M.C. (2022). Efecto de los cultivos de cobertura invernales sobre el microbioma del suelo: revisión sistemática de la literatura. Revista Argentina de Microbiología. 54.1: 51-60

Morello, J., Rodríguez, A., Silva, M. (2012). Ecorregión del Chaco Seco. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos, 151-204.

Mukumbareza, C., Muchaonyerwa, P., Chiduza, C. (2016). Bicultures of oat (*Avena sativa* L.) and grazing vetch (*Vicia dasycarpa* L.) cover crops increase contents of carbon pools and activities of selected enzymes in a loam soil under warm temperate conditions. Soil Science and Plant Nutrition, 62(5-6), 447-455.

Ndiaye, E.L., Sandeno, J.M., McGrath, D., Dick, R.P. (2000). Integrative biological indicators to detect changes in soil quali-

ty. American Journal of Alternative Agriculture, 15(1), 26-36.
Nevins, C. J., Lacey, C., Armstrong, S. (2020). The synchrony of cover crop decomposition, enzyme activity, and nitrogen availability in a corn agroecosystem in the Midwest United States. Soil and Tillage Research, 197, 104518.
Nevins, C. J., Lacey, C., Armstrong, S. (2021). Cover crop enzyme activities and resultant soil ammonium concentrations under different tillage systems. European Journal of Agronomy, 126, 126277.
Nevins, C.J., Nakatsu, C., Armstrong, S. (2018). Characterization of microbial community response to cover crop residue decomposition. Soil Biology and Biochemistry, 127, 39-49.
Noellemeyer, E., Fernández, R., Quiroga, A. (2013). Crop and tillage effects on water productivity of dry land agriculture in Argentina. Agriculture3: 1-11.
Novelli, L., Caviglia, O.P., Wilson, M.G., Sasal, M.C., Gabbioud, E. (2010). Efecto de la inclusión frecuente de soja sobre el almacenamiento de carbono y la estabilidad estructural en un suelo molisol y un vertisol de Entre Ríos. Extensión de serie. EEE Paraná, (58).
Nunes, M.R., Karlen, D.L., Veum, K.S., Moorman, T.B., Cambardella, C.A. (2020). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. Geoderma, 369, 114335.
Oderiz, J.A., Uhaldegaray, M.G., Frasier, I., Quiroga, A.R., Amiotti, N., Zalba, P. (2017). Raíces de cultivos de cobertura: cantidad, distribución e influencia sobre el N mineral. Ciencia del suelo, 35(2), 249-258.
Pérez-Carrera, A.A., Moscuzza, C.H., Fernández-Cirelli, A. (2008). Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. Ecosistemas, 17(1).
Piñeiro, G., Pinto, P., Arana, S., Sawchik, J., Díaz, J.E., Gutiérrez, F., Zarza, R. (2014). Cultivos de Servicio: Integrando la Ecología con la producción agrícola. In XXVI Reunión Argentina de Ecología. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
Pinto P., Piñeiro G. (2018). Intensificación ecológica en los agro-

ecosistemas de la Región pampeana: el rol de los cultivos de servicios. En Borrás L. (Ed). Manejo del maíz Flint. Fac. de Ciencias Agrarias, UNR. 81-92 pag. https://www.dacsa.com/wp-content/uploads/2019/04/LIBRO-3-Manejo-del-ma%C3%ADz-flint_compressed-comprimido.pdf#page=82.

Poeplau, C., Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of covercrops–A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment, 200, 33-41.

Poirier, V., Angers, D.A., Rochette, P., Chantigny, M.H., Ziadi, N., Tremblay, G., Fortin, J. (2009). Interactive effects of tillage and mineral fertilization on soil carbon profiles. Soil Sci. Soc. Am. J. 73(1): 255-261.

Prieto Angueira, S., Berton, M.C., Ventura, J. (2020). Región Chaco Santiagueño. En Satorre E.H. *Sistemas Productivos sostenibles. Manual técnico CREA.* Disponible en: https://www.crea.org.ar/manualsps).

Quiroga, A., Carfagno, P., Eiza, M.J., Michelena, R. (2007). Inclusión de cultivo de cobertura bajo agricultura de secano en la región semiárida pampeana. Jornadas de Cultivos de cobertura, 28 y 29 de septiembre, EEA INTA General Villegas y General Pico.

Quiroga, A.R., Galantini, J.A., Studdert, G.A. (2017). La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo. Manejo y conservación de suelos. Con especial énfasis en situaciones argentinas, 139-159.

Raspo, C., Tassone, L.J. (2016). Cultivos de Cobertura de avena y centeno: efecto de la fertilización nitrogenada y momento de quemado sobre la eficiencia de uso de agua, relación carbono nitrógeno y control de malezas. - repo.unlpam.edu.ar.

Reeves, D.W. (1994). Cover crops and rotations. P 125-172. En Hatfield, JL y BA Stewart (Eds.) Crops residue management. CRC Press, Boca Raton, FL.

Reicosky, D. (2008). Carbon sequestration and environment al benefits from no-tillsystems. Pp. 43-58 in: Goddard, T. et al. (ed). No-Till Farming Systems. Special Publication N° 3. World Association of Soil and WaterConservation, 544 pág.

Restovich, S., Andriulo, A. (2013). Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano. Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los siste. mas de producción (Eds. Álvarez C., Quiroga, A., Santos, D., Bodrero M.), 29-35.

Restovich, S.B.; Andriulo A.E.; Portela S.I. (2012). Introduction of cover crops in a maize–soybe an rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and wáter dynamics. Field CropsResearch, 128:62- 70. doi:10.1016/j.fcr.2011.12.012.

Ridley, N. (2013). Cultivos de cobertura en el sur de Santa Fé: Efectos sobre la eficiencia de barbecho y la porosidad del suelo. En *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Álvarez C., A. Quiroga, D. Santos, M. Bodrero (Eds). Primera edición. Ediciones INTA, La Pampa. ISBN 978-987-679-177-9. 170p. Pag 88-91.

Romaniuk, R., Navarro, R., Beltrán, M., Eiza, M., Castiglioni, M., Mousegne, F. (2018). Efecto a corto plazo de la inclusión de vicio y trigo como cultivos de cobertura sobre el C, N y P en distintas fracciones de la materia orgánica, y la disponibilidad de macro y micronutrientes. RÍA. Revista de investigaciones agropecuarias, 44 (2), 48-60.

Ruffo, M.L., Bollero, G.A. (2003). Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal-component regression. Agronomy Journal, 95(4), 1034-1040.

Sá, J.C.M. 1996. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo, Aldeia Norte. Pp. 23.

Sainju, U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F. (2005). Tillage, cover crops and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon and nitrogen. Agronomy Journal, 97(5), 1279-1290.

Sastre Conde I., Bedmar Lobo M.C.M. (2003): Determinación de la actividad ureasa del suelo. En: García Izquierdo C; Gil Sotres F; Hernández Fernández T; Trasar Cepeda C. *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medi-*

das de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Ediciones mundo-prensa. Madrid (España). Pag 123-148.

Sheng, Q., Hunt, L.A. (1991). Dry weight of shoots and roots and soil water in wheat, triticale and rye. Canadian Journal of Plant Sciences, 71(1), 41-49.

Soon, Y.K, Haq, A., Arshad, M.A. (2007). Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 38: 2029-2043.

Sotelo, C.E, Sirio, A.A., Pérez, G.L. (2022). Carbono de la biomasa microbiana del suelo. Método de fumigación-extracción. En Arzuaga, S.A., Ávalos Llano, K.R., Banegas, N., Carnicer, S., Collavino, M.M., Contreras Leiva, S.M., Correa, A., Cossoli, M.R., Delfino, M.R., Ferrerira, M., González, D., Grasso, D.H., Iglesias, M.C., Mansilla, N., Martin, C., Pérez, G.L., Recalde, J.M., Romero, A.M.E., Rojas, J., Serafini, M.H., Sirio, A.A., Sotelo, C.E., Toledo, M., Viruel. *Metodologías microbiológicas de indicadores ambientales de suelo*. Coordinación general Castelán, M.E., Hack, C.M., Porta, M., Sotelo, C.E. Editorial de la Universidad Nacional del Nordeste EUDENE Instituto Agrotécnico Pedro M. Fuentes Godo, 2022. Libro digital, PDF - (Ciencia y técnica)

Stone, L.R., Goodrum, D.E., Jaafar, M.N., Khan, A.H. (2001). Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. Agronomy Journal, 93(5), 1105-1110.

Unger, P., Vigil, M. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. Soil and Water Cons. 53: 200-207.

Villarino, S.H., Pinto, P., Jackson, R.B., Piñeiro, G. (2021). Plant rhizodeposition: A key factor for soil organic matter in stable fractions. Sci. Adv, 7(16), eabd3176.

Volante, J.N., Bianchi, A.R., Paoli, H.P., Noé, Y.E., Elena, H.J., Cabral, C.M. (2005). *Análisis de la Dinámica del Uso del Suelo Agrícola del Noroeste Argentino Mediante Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Período 2000-2005.* Ediciones INTA. Salta, Argentina.

Ward, P.S., Bell, A.R., Droppelmann, K., Benton, T.G. (2018). Early adoption of conservation agricultural practices: Unders-

tanding partial compliance in programs with multiple adoption decisions. Land Use Policy 70 (2018) 27–37.

Zhou, X., Wu, H., Koetz, E., Xu, Z., Chen, C. (2012). Labile soil carbon and nitrogen pools and microbial metabolic diversity under winter crops in an arid environment. Applied Soil Ecology, 53, 49-55.

PANORAMA ACTUAL DE LA LEGISLACIÓN FORESTAL EN SANTIAGO DEL ESTERO

Gabriela Cardona[1], Rocío Sánchez Ugalde[1],
Jorge García[1], Marcela Bissio[2], Miguel Sarmiento[1]

Resumen

En el complejo escenario ambiental, productivo y socioeconómico actual de la Argentina, se quieren evaluar los resultados que tuvieron hasta el momento las dos leyes que son pilares del sector como las Leyes Nº 25.080 y 26.331 a más de 15 años de vigencia en el Parque Chaqueño. La importancia radica no solo en la crisis forestal que está teniendo la región, sino que además los resultados demuestran que el sector forestal por sí solo no da opciones de supervivencia. Se realizará una síntesis crítica de la información disponible acerca de las leyes en estos años y su influencia en la región, con una aproximación que

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Académico de Producción Forestal. Cátedra de Economía y Administración Forestal. Santiago del Estero, Argentina
2 Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Cátedra Introducción a la Administración.

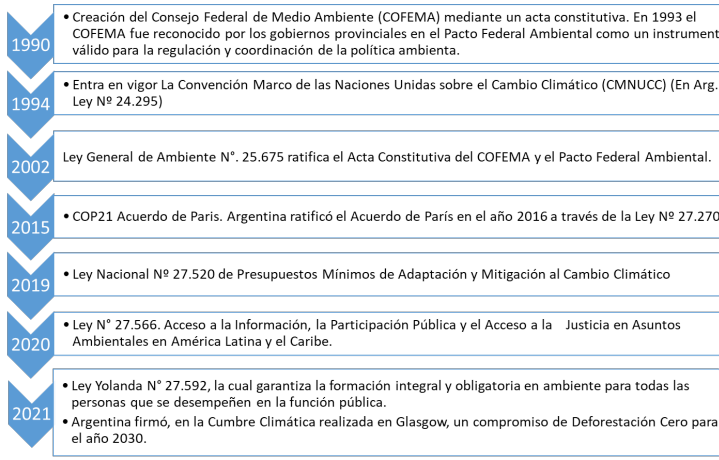
toma en cuenta aspectos ambientales, económicos y sociales. Para ello, se integrará información disponible proveniente de distintas fuentes primarias y secundarias, con el objetivo central de evaluar los resultados reales después de tantos años de vigencia de ambos instrumentos de política forestal. Los resultados señalan que la legislación vigente no está dando los resultados esperados, por diversas causas, entre ellas la falta de control a campo, la falta de previsión de los recursos económicos estipulados por ley, metas poco claras en cuanto a manejo, conservación, producción, etc., a fin de valorar realmente los servicios del bosque, como también se observó la ausencia de criterios comunes en cada región a fin de determinar las áreas del ordenamiento territorial.

Palabras clave: Legislación, política forestal, ambiente

1. Introducción

La República Argentina adopta para su gobierno la forma representativa, republicana y federal. Las provincias existen con anterioridad a la creación de la Nación y conservan su autonomía. Por tal razón, poseen diversas potestades que no han relegado, una de ellas es el manejo de los recursos naturales. La reforma constitucional argentina de 1994 incluye el artículo 41, el derecho de todos los argentinos a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras, como así también el deber de preservarlo. Se facultó entonces, al Congreso Nacional a dictar normas de presupuestos mínimos de protección ambiental, las cuales establecen una tutela ambiental uniforme para todo el territorio nacional en el marco de un país federal; asimismo, garantizan el acceso a la información

pública ambiental y la participación. Si se realiza un breve resumen de lo transitado hasta la fecha en materia ambiental, se tiene el siguiente esquema:



Fuente: Elaboración propia. 2023

En particular al sector bosques, el tratamiento normativo, vinculado a la elaboración e implementación de políticas públicas ha tenido ciertas marchas y contramarchas desde la década del '90 en la que se disuelve el organismo autárquico llamado Instituto Forestal Nacional (IFONA), para dividir el sector y asignarlos a diferentes órbitas ministeriales. Se arriba a la actualidad con la persistencia de esta división del sector, que ha generado políticas forestales a nivel nacional divergentes y de baja efectividad pues dependen de dos organismos diferentes. Las plantaciones forestales están bajo la órbita de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) a través de su Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (DNDFI); mientras que los bosques nativos son gestionados por la Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (SAyDS), a través de su Dirección Nacional de Bosques (DNB). Sin embargo, el país está

a punto de generar otro momento de cambios estructurales globales a nivel nacional y en particular para el sector forestal.

Esta divergencia del sector ha originado que dos leyes forestales centrales promuevan acciones independientes, sin coordinación para la solución de problemas comunes y la optimización de los incentivos que otorgan para promover una mirada común del Desarrollo Sostenibles. En 2007 se sanciona la Ley N°26.331 de "Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos", reglamentada en 2009, y en 1999 se promulga la Ley N°25.080 "Ley de Inversiones para Bosques Cultivados" Hay diferencias entre ambas leyes, mientras que la Ley de Bosques Nativos es de presupuestos mínimos, de cumplimiento ineludible, la de Bosques Cultivados es una ley de adhesión, es decir, las provincias deben adherir explícitamente pero no las habilita a modificarla. En 2008, pasados los diez años de la sanción, se prorroga bajo la Ley N°26.432, estableciendo una nueva concesión por diez años contados a partir del vencimiento del sistema de apoyo económico no reintegrable (hasta el año 2018) (Minaverry, 2017). En la actualidad está vigente bajo Ley N°27.467 hasta el año 2029.

1.1 La Ley de Bosques Nativos

Al analizar los antecedentes sobre el tema, algunos autores, como Aguiar (2018), expresan que, frente a los grandes desafíos ambientales, los estados/gobiernos tienen en sus manos diferentes instrumentos multidisciplinarios que pueden llevarse a cabo, como el ordenamiento de los usos, el pago por servicios ambientales, los diferentes subsidios, etc.; y que, una vez utilizados, deben evaluarse, no solo desde el punto de vista de su efectividad, sino también en la eficiencia y equidad. Los instrumentos de políticas forestales divergentes llevados a cabo en las últimas tres décadas, han generado respuestas disímiles en el país, sobre todo, como se expresó, en promover modelos integrados de desarrollo regional.

Aguiar (2018) opina que, en un complejo escenario económico, político y en particular ambiental, por las altas tasas de deforestación, en 2007 se promulga la Ley Nacional N°26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, conocida como "Ley de Bosques". Esta ley nació con dos grandes pilares, por un lado, el ordenamiento territorial de los bosques y por el otro, un mecanismo de incentivo económico a la conservación para hacer frente a los diferentes tipos de planes que se elaboren y aprueben. Bajo este marco el autor señala aspectos importantes de esta ley.

Langbehn (2017 y 2020) expone los pasos y discusiones que a nivel nacional y provincial fue teniendo la Ley Nº26.331, donde se regula el uso y conservación de las masas boscosas nativas de Argentina. Estas discusiones largas, conflictivas y cargadas de intereses de diferentes actores, dan por resultado situaciones difíciles de resolver equitativamente. El autor resalta la importancia del marco constitucional y la participación de cada provincia defendiendo su patrimonio ambiental.

La ley impone el denominado Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos (OTBN) como primer paso a la elaboración de los diferentes planes que promueve para la conservación y la producción sostenible de bienes y servicios. El ordenamiento se plasma a través de tres categorías vinculadas al valor relativo que se le asignan a las distintas masas boscosas: Categoría I (identificado con el color rojo) de máxima protección ambiental, Categoría II (identificada con el color amarillo) que promueve la conservación a través de la producción sostenible y Categoría III (identificada con el color verde) que habilita a la transformación o conversión de los bosques por otros usos.

1.2 La Ley de Bosques Cultivados

Las plantaciones forestales son promovidas en el mundo para bajar la presión que tienen los bosques nativos y sus conse-

cuencias ambientales de modo de proveer a través de las diversas cadenas de valor, instrumentos económicos que puedan aportar a la reducción de la huella de carbono de la economía.

En esta línea, la Ley Nacional de Inversiones para Bosques Cultivados N°25.080, podría contribuir con los compromisos de cambio climático contraídos en el acuerdo de París y generar desarrollo sostenible. Para ello se pretende aumentar el stock de 1,3 millones a 2 millones de hectáreas de bosques cultivados del país.

Argentina es un país con un sector forestal competitivo y con un elevado potencial de desarrollo sostenido, por lo que la ley de inversiones para bosques cultivados aplicada adecuadamente puede actuar como un efecto potenciador del sector foresto industrial en este país (AFOA, 2012).

La Ley Nº25.080 incluye aspectos fiscales y económicos para promover las plantaciones con beneficios tales como apoyos económicos no reintegrables donde se otorga un monto por hectárea, que varía según la zona geográfica, la especie y la actividad forestal. Las actividades que se benefician mediante esta ley son las de plantación de bosques, mantenimiento, manejo, riego, protección, cosecha, investigación, desarrollo e industrialización. Otros beneficios de esta ley radican en garantizar la estabilidad fiscal por 30/50 años, desgravaciones fiscales (reintegro de IVA o amortización del impuesto a las ganancias) y exención de todo impuesto patrimonial sobre los activos afectados a los emprendimientos forestales.

Actualmente, según el Ministerio de Economía a través de su Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, mediante Resolución Nº188/2022, se disponen los montos a pagar según las especies a plantar, y las actividades de manejo a realizar. La ley además prevé compensaciones monetarias de un 10% adicional por especies de alto valor comercial, enriquecimiento de bosque nativo, por mejoramiento genético y por certificación de gestión forestal sostenible y/o manejo forestal

responsable de la unidad de gestión forestal/establecimiento. Asimismo, tiene consideraciones en cuanto a géneros no previstos en la ley, riego, cultivos de cobertura, cortinas y plantación en macizo con densidades inferiores a las mínimas calculadas.

Las provincias tienen un papel protagónico en la aplicación de la Ley Nº25.080, ya que prevalece un sistema descentralizado en donde las autoridades provinciales realizan la recepción de la documentación y determinan la viabilidad del proyecto forestal según sus respectivo Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN), donde se impide la deforestación sobre las Categoría I (roja), y otorgando los posibles beneficios en las Categorías II y III (amarilla y verde).

Diversos autores hacen referencia a los atributos de la ley, las partidas presupuestarias y la cantidad de hectáreas afectadas en las provincias desde su aplicación, pero pocos hacen referencia a la efectividad de esta política pública.

Sharry (2013) expresa que Argentina tiene ventajas comparativas en las plantaciones, ya que posee altas tasas de crecimiento similares a los principales productores mundiales, además posee un efecto multiplicador en la creación de puestos de trabajo, donde por cada puesto de trabajo que se genera de manera directa, se crean a su vez, 1,4 puestos indirectos. Asimismo, señala que hay disponibilidad de mano de obra, costos competitivos, avances en cuanto a la mejora genética, una amplia superficie de tierra con aptitudes forestales. Además, considera que, de acuerdo a las legislaciones vigentes, el sector se ha visto beneficiado por la aplicación de la Ley Nº 25.080 en lo que a plantaciones forestales se refiere.

El informe realizado por la Auditoría General de la Nación (AGN, 2017) señala, en base a documentación analizada, algunas deficiencias en la aplicación de la ley y da algunas recomendaciones para que se ejecución sea más eficaz y transparente en el futuro.

En materia regional y/o local, un informe elaborado por la Red Agroforestal Chaco Argentina (REDAF, 2021), da a cono-

cer un monitoreo general de la región chaqueña, haciendo hincapié en la provincia de Santiago del Estero, por su elevado porcentaje de desforestación y su conflicto con la tenencia de la tierra. Problema éste, que con el paso de los años se agrava frente a corporaciones fuertes, tanto a nivel nacional como internacional.

A nivel general, en muchas regiones del país, se obtuvieron resultados positivos, donde la mayoría de los parámetros económicos aumentaron (productividad, aumento de la mano de obra, aumento de las hectáreas implantadas, etc.). Sin embargo, en Santiago del Estero a pesar de disponer de amplias superficies con aptitud forestal en zonas de secano y de regadío, la sensación es que todavía esta provincia no alcanzó su máximo potencial.

García y Sarmiento (2018), muestran algunos resultados sobre la implementación de la Ley N°25.080 en pequeños productores en Santiago del Estero, y señalan algunos inconvenientes en la aplicación efectiva de la ley en cuestión particularmente vinculadas al cobro del aporte no reintegrable que otorga la ley, ya que sólo el 10% de la población analizada logro hacer efectivo el cobro en su totalidad.

Coronel de Renolfi y Cardona (2005), analizaron las respuestas de los productores de la zona de riego de la provincia de Santiago del Estero al régimen de promoción forestal, más específicamente a la Ley N°25.080. En su artículo las autoras destacan como principales resultados que esta ley generó respuestas eficaces en muchas regiones del país, pero no así en la provincia de Santiago del Estero.

2. Metodología

La presente investigación tiene una estructura de tipo descriptivo. Para realizar la búsqueda de la normativa y de las principales políticas públicas vigentes en la actualidad, nacional y provinciales se

realizó una investigación de carácter exploratorio cualitativo y documental. Como técnica de análisis se ha utilizado una actividad interpretativa para abordar los textos normativos y los documentos públicos. Además, se ha realizado una investigación en sitios web de instituciones públicas, de organismos forestales y ambientales y se consultaron estudios académicos, información estadística, fuentes judiciales, así como materiales oficiales y públicos.

3. Resultados

COFEMA 230/12 (MDSyA 2021). La mayor tasa de deforestación ocurrió en el norte del país (Salta, Santiago del Estero y Chaco) y durante el período 2002-2006, la tasa de deforestación continuó en aumento por encima del periodo anterior (UMSEF, 2007). Entre 1998 y 2018 se perdieron 6,5 millones de hectáreas de bosques (Ministerio de ambiente, 2022) y según los datos preliminares de la Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF), entre 2006 y 2016, se deforestaron aproximadamente 2,5 millones de hectáreas, con la Ley 26.331, ya en vigencia (Figura1).

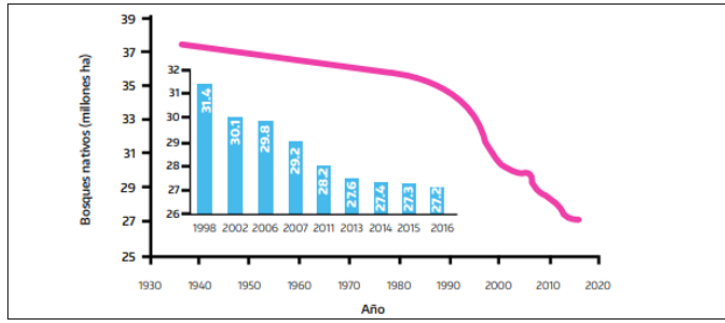


Figura 1. Evolución de la superficie de bosques nativos 1998 y 2006. Fuente: Superficie de bosques nativos entre 1998 y 2016. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos y Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF). Años 2022-2016

La Ley N°26.331 propone, dos instrumentos que trabajan en forma sinérgica: el Ordenamiento Territorial para Bosque Nativo (OTBN) y el Fondo Nacional para el Enriquecimiento y la Conservación de los Bosques Nativos (FNECBN). En su artículo 5º enumera los principales servicios ambientales que los bosques nativos brindan a la sociedad, establece, además, un sistema de fomento a través del (artículos 30 y 31). Los criterios de sustentabilidad ambiental para la definición de las categorías de conservación, son: 1. Superficie o tamaño mínimo de hábitat; 2. Vinculación con otras comunidades naturales no boscosas; 3. Vinculación con áreas protegidas existentes e integración regional; 4. Existencia de valores biológicos sobresalientes; 5. Conectividad entre ecorregiones; 6. Estado de conservación; 7. Potencial forestal; 8. Potencial de sustentabilidad agrícola; 9. Potencial de conservación de cuencas y 10. Valor que las Comunidades Indígenas y Campesinas dan a las áreas boscosas. Criterios que no fueron tomados de forma unánime por las provincias, sino que cada una fue utilizando tal vez el más conveniente.

Específicamente, en su artículo sexto la Ley N°26.331, otorga un plazo de un año (a partir de su sanción) para que cada provincia realice el ordenamiento de los bosques nativos existentes en su territorio, de acuerdo con los criterios de sustentabilidad que figuran en su Anexo. La Autoridad Nacional es la encargada de brindar la asistencia técnica, económica y financiera a las autoridades locales de aplicación para poder materializar esta obligación, previo ordenamiento. Cabe aclarar que, en el tiempo que transcurrió entre la confección de los ordenamientos de los bosques nativos y de la sanción de la ley, no podían autorizarse desmontes, pero los números demuestran lo contrario. Actualmente las 23 provincias han sancionado sus primeras leyes de OTBN entre los años 2008 y 2016. Los procesos de zonificación a nivel provincial han dado lugar a discusiones tanto desde el punto de vista técnico como político sobre la interpretación de los criterios de sustentabili-

dad ambiental establecidos en la ley y el principio de cooperación entre las provincias establecido dentro de la Ley N°25.675, Ley General del Ambiente. Este hecho queda evidenciado a lo largo de los límites provinciales donde no existe coincidencia entre las categorías de conservación definidas. Solo Formosa, Jujuy, Misiones, San Juan, Santa Fe y Santiago del Estero han realizado la actualización del OTBN como indica la ley.

El porcentaje anual de pérdida de bosque nativo respecto del total de bosque mostró una disminución en 2007 hasta su mínimo en el año 2015. A partir de ese año volvió a crecer, algunos autores implican a este aumento a la ocurrencia de incendios que afectaron grandes extensiones de bosques nativos y el aumento de la frontera agrícola a partir de desmontes (Bissio, 2016) (Figura 2).

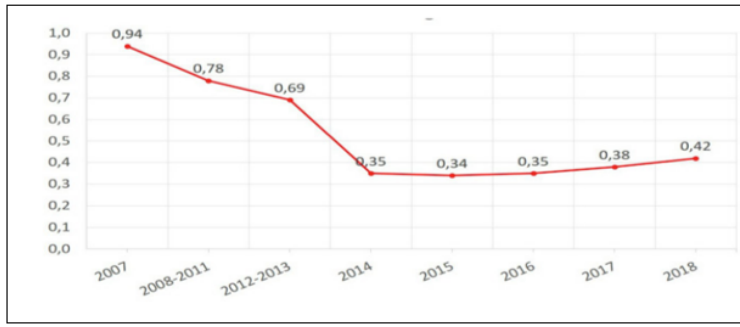


Figura 2. Pérdida anual de bosque nativo (%) entre los años 2007 y 2019. Fuente: Elaboración en base a datos de la Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF) de la DNB (2020).

Otro ítem a considerar es que, el presupuesto destinado a la conservación de bosques nativos cayó un 95% con respecto a 2009, lo que demuestra una importante desfinanciación de la ley, y un bajo incentivo para los productores, que prefieren continuar con las actividades agrícolas ganaderas, a que, incursionar o apostar al sector forestal.

Por otro lado, refiriéndonos a bosques cultivados, la Ley

N°25.080 tiene una visión delimitada a los aspectos económicos de "los emprendimientos con especies forestales cuyo fin sea producir algún producto maderable, con un turno de corto final definido y manejo silvícola adecuado". Uno de los objetivos principales de esta norma ha sido brindar estabilidad tributaria, estableciendo que durante 30 años (hasta 50 años de acuerdo con cada caso) no se podrá incrementar ningún impuesto (Beale y Ortíz, 2013). Esta Ley incluye escasos lineamientos orientados a emplear un enfoque de protección ambiental; hace referencia a que "los bosques deberán desarrollarse mediante el uso de prácticas enmarcadas en criterios de sustentabilidad de los recursos naturales renovables. Todo emprendimiento forestal o forestoindustrial, para ser contemplado dentro del presente régimen, deberá incluir un estudio de impacto ambiental (Art. 5 Ley N°25.080) (Minaverry, 2017).

En cuanto a bosques cultivados, Ley N°25.080 en el Art. 5 de su Anexo hace referencia a que "la zonificación por cuencas forestales para la localización y promoción de los emprendimientos será definida mediante acuerdos bilaterales o multilaterales entre la Autoridad de Aplicación provinciales y nacionales y sus modificatorias. A tales fines, se deberán utilizar los criterios de sostenibilidad ambiental, económica y social que establecen en la materia las leyes nacionales y las convenciones internacionales.

En 1998 la Ley N°25.080 se implementó con un stock aproximado de 800.000 ha y con su "aporte directo a los productores forestales, desde el año 2000 y hasta el presente por más de 500 millones de pesos alcanzó a desarrollar una superficie de 645.000 ha (MINAGRI, 2013). En el año 2012 el país contaba ya con una superficie aproximada de 1,2 millones de hectáreas (SAGPyA, 2012) (Tabla 1).

PROVINCIA	SUPERFICIE ha.	PROVINCIA	SUPERFICIE ha.
Misiones	330.382	Mendoza	17.000
Corrientes	372.834	San Juan	457
Entre Rios	144.732	San Luis	150
Buenos Aires	128.934	Cordoba	28.287
Jujuy	13.714	La Pampa	789
Salta	4.594	Santa Fe	12.213
Tucuman	3.671	Neuquén	58.985
Catamarca	291	Rio Negro	24.474
Formosa	864	Chubut	22.794
Chaco	427	Santa Cruz	15
Santiago del Estero	1.533	TOTAL	**1.167.141**

Fuente: Área SIG e Inventario Forestal - Dirección de Producción Forestal-Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca-Otras Instituciones. 2012

Tabla 1. Superficie implantada en la República Argentina al año 2012

Según los datos de MAGyP, en 2021, la superficie total de bosques cultivados era de 1.374.497 ha. (coníferas, eucaliptos y salicáceas), siendo la región del NEA la de mayor representatividad con más de 900.000 ha. (Figura 3)

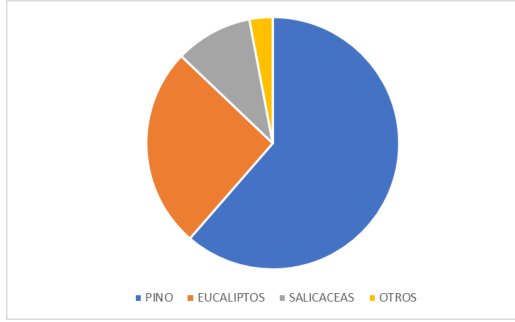


Figura 3. Especies implantadas en Argentina. Fuente: Subsecretaria de Desarrollo Foresto Industrial. 2022.

Son 22 provincias del país las que han recibido aportes de promoción, a excepción de la Ciudad de Buenos Aires y la provincia de Tierra del Fuego, que aún no adhirieron al régimen. El total aportado es de algo más que 250 millones de dólares americanos. Según los últimos datos oficiales, del total de tie-

rras forestales o cubiertas por bosques en Argentina, el 96% pertenece a Bosque Nativos. (Figura 4)

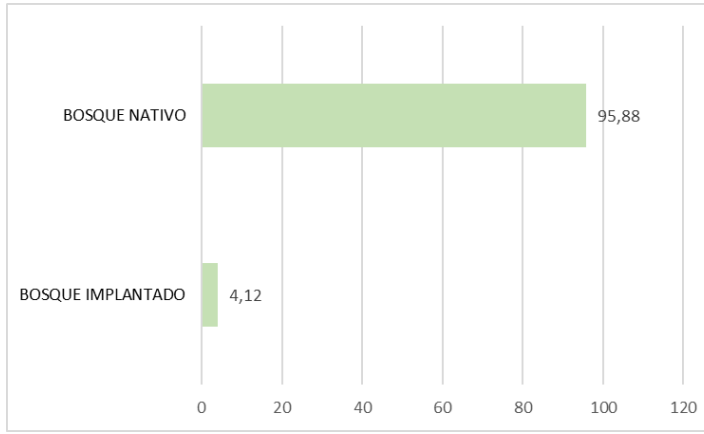


Figura 4. Superficie forestal total en Argentina, expresadas en millones de hectáreas. Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

A nivel de la provincial, en Santiago del Estero partiendo de la revisión bibliográfica, lo primero que se observa es la necesidad de articular políticas de extensión y difusión. Si bien Langbehn (2017), opina que los resultados negativos de la implementación de la Ley, no se deben solo a la administración tanto nacional y provincial, sino que el control de su implementación, es el eje principal para obtener resultados positivos. El informe de la REDAF (2021), afirma que desde mediados de los años 1990 Santiago del Estero ha sufrido un intenso proceso de deforestación, pero en los últimos años y con la ley ya vigente, se han desmontado casi 3 millones de hectáreas, más de lo que hasta entonces se había desmontado en toda la historia de la provincia. (Tabla 2)

Desmonte	
1996-2006	2.988.560 ha
2007-2019	3.109.147 ha

Fuente: REDAF (2021)
Tabla 2. Desmonte total en la provincia de Santiago del Estero

Esta Ley propició el Ordenamiento Territorial, siendo Santiago del Estero, una de las primeras provincias en presentarlo mediante Ley Provincial Nº6942/2009. Es así que, del total de su superficie de 136.351 km2, el 53% son bosques según el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos; donde, la Categoría 1 (rojo) de alto grado de conservación engloba el 14%, la Categoría 2 de (amarillo) mediano grado de conservación 74% y finalmente la Categoría 3 (verde) con un 12%. (Figuras 5 y 6)

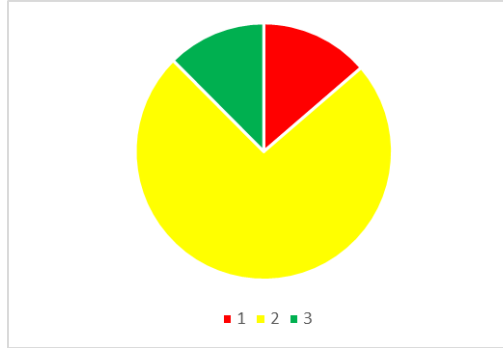


Figura 5. Porcentaje de las áreas clasificadas dentro de la Ley 26331, en Santiago del Estero. Información al año 2020. Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sustentable.

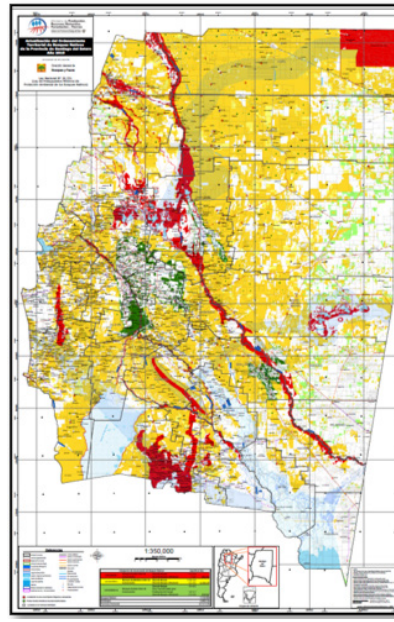


Figura 6. Ordenamiento Territorial de la provincia de Santiago del Estero. Decreto Provincial Nº3.133/15.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sustentable.

En virtud al último OTBN presentado por la provincia de Santiago del Estero (2015) las superficies por categoría quedan discriminadas de la siguiente manera:

- Categoría I: 982.299 ha
- Categoría II: 6.158.124 ha
- Categoría III: 578.567 ha
- Coberturas de No Bosque: 5.998.135 ha

Lo preocupante de los últimos datos de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expresados en el informe de la Fundación Vida Silvestre (2020), es que ya se han deforestado más del 8% dentro de las categorías I y II, con fines productivos, estando esto último prohibido por ley. El mismo ministerio, recalca que la provincia de Santiago del Estero, posee

236.211 hectáreas bajo la acción de algún tipo de plan, siendo el 93% planes de manejo y solo el 7% de conservación.

¿Por qué no se perciben todavía resultados esperanzadores? Aguiar (2018), lista diez puntos principales que en esta Ley 26.331 no se están observando con claridad; entre ellos se destaca haber sido la primera ley que pone en discusión al bosque como recurso; además es la única que se encuentra financiada, aunque al pasar los años el monto es cada vez menos significativo; el problema de la tenencia de la tierra, sumamente sensible en el norte del país; la participación, a través de audiencias públicas, algo novedoso y con grandes resultados positivos; el control, que si bien aumentó en los últimos diez años es totalmente insuficiente, como lo demuestra el aumento de la tasa de deforestación en el norte del país. Y por último, resalta que la sustentabilidad ambiental tenida en cuenta en los criterios para zonificar, quedó opacada por la parte económica en cada región.

Si se observa detenidamente, y como lo expresa Aguiar (2018), en esta Ley para certificar la conservación de los bosques nativos y de los servicios ecosistémicos incorporó un instrumento único en la legislación argentina el Ordenamiento Territorial con la participación de todos los actores. Es por ello, que solicitó que se tengan en cuenta una serie de criterios de sustentabilidad ambiental que incluyen tanto, indicadores de conservación de la biodiversidad, forestal, agrícola y agropecuario de los bosques, como criterios culturales. Este paso, el de ordenar el Territorio y delimitarlo, fue el primer paso. Santiago del Estero fue rápido en esa tarea y en el año 2009 promulga la Ley Provincial N°6.942, acogiéndose a la Ley N°26.331, en todos sus términos. El primer gran inconveniente que hasta la fecha subsiste es el de la tenencia de la tierra. Rosso (2013), exponía que Santiago del Estero posee una población rural cercana al 34%, del total de su población y con mayor porcentaje de tenencia precaria de la tierra, con casi el 55% del total de explotaciones agropecuarias. Esta situación la posiciona en una de las zonas más propicias para la

expansión de la frontera agropecuaria, debido a la fragilidad jurídica que presenta al no poseer títulos de propiedad, por más de que se trate de poblaciones allí establecidas por generaciones, y por la ruralidad que históricamente la ha caracterizado. Esto favoreció afirma Rosso, al ingreso de capitales destinados a la inversión agrícola sin generar demasiadas alteraciones en su perfil productivo (aunque se trate de una marcada diferenciación en cuanto a los cultivos incorporados, al destino de la producción y a la tecnología utilizada).

El propio Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación en el 2011, en su informe sobre *La problemática de la tierra en Argentina,* expone que sería necesario que las políticas de desarrollo rural facilitaran la regularización y acceso a la propiedad de la tierra por parte de la población rural; además sería fundamental que se solucionen los casos de tenencias precarias procurando una mayor transparencia en las transacciones de tierras y garantizando el derecho de los productores al uso y propiedad de la tierra.

En cuanto al aspecto económico, la primera lectura indica el desfinanciamiento del Fondo Nacional para el Enriquecimiento y la Conservación de los Bosques Nativos que tendría la finalidad de fomentar las actividades necesarias para la conservación de los bosques. La ley establece que, debe aplicarse en un 70% para compensar a los titulares de las tierras en cuya superficie se conservan bosques nativos, de acuerdo a sus categorías de conservación, y en un 30% para fortalecer las capacidades de las autoridades de aplicación. Sin embargo, con el paso de los años este Fondo comenzó a perder notoriedad, ya que, en el arranque de la Ley, representaba cerca del 36% del Presupuesto y hoy no alcanza al 4%, como lo muestran las Figuras 7 y 8. Según datos del propio Ministerio, solo el 53 % de los planes recibieron el pago correspondiente. Este desfinanciamiento, provoca la falta de herramientas desde las provincias a preservar sus recursos, a disminuir la presión del sector

agrícola ganadero y sobre todo a realizar un manejo integral de los servicios ecosistémicos del recurso monte.

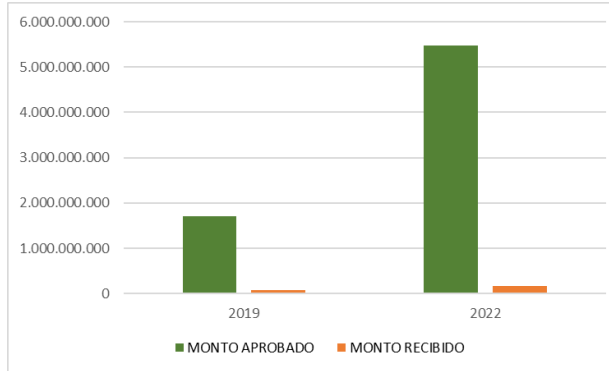


Figura 7. Montos de pagos recibidos, frente al monto que se debería recibir. Información al año 2022. Fuente: Fundación Vida Silvestre-Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

En los últimos diez años el monto otorgado fue disminuyendo de manera drástica, alejándose totalmente de lo que Ley indica.

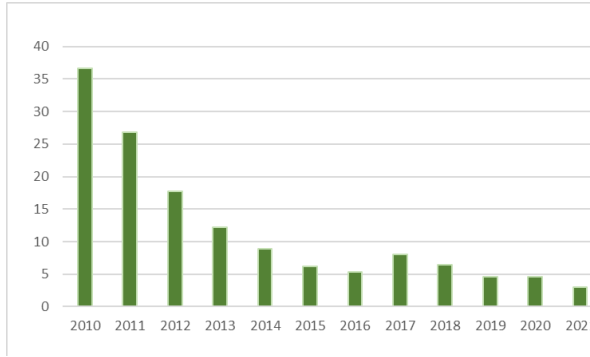


Figura 8. Porcentaje de los montos destinados del Presupuesto Nacional a la Ley 26.331. Fuente: Fundación Vida Silvestre-Argentina Forestal, https://www.argentinaforestal.com/2021/09/26/ley-de-bosques-2

Además de la disminución del monto otorgado, se observa que las categorías menos restrictivas (II y III), admiten la ejecución de actividades productivas que resultan en un beneficio económico mayor para estas zonas, reduciendo así el interés o efectividad del incentivo para conservar o mantener el bosque (Categoría I).

Por último, a entender por todos los autores, el mecanismo de control falló. En su informe, la REDAF, indica que, a pesar de los buenos resultados, la aplicación efectiva de la Ley sigue presentando graves errores. La provincia informó a través de su Dirección de Bosques, que entre los años 2008 y 2014, se desmontaron 610.787 ha de manera ilegal en las tres categorías de conservación. Pero solo 143.791 ha, según la misma fuente, fueron desmontes legales para agricultura y para cultivo de forrajes en sistemas silvopastoriles. Estos resultados marcan que el cumplimiento de la ley es muy bajo: menos del 20% de los desmontes ocurridos en ese periodo cumplieron con los requisitos legales. Se observa entonces, que la eficacia del Ordenamiento Territorial para disminuir el avance de los desmontes es insuficiente. Otros autores, coinciden y consideran que, si bien los organismos tanto nacionales como provinciales se fortalecieron, solo fue en materia de gestión, ya que ese fortalecimiento no se observa a la hora de actuar.

Aguiar (2018), sube el tono y afirma que, la eficacia de las actividades de control y fiscalización dependen de la capacidad de comprobar donde se está realizando el desmonte ilegal y de condenar al infractor, desde el ámbito económico y legal. Esto último lamentablemente no sucede, ya que los desmontes sin autorización, en el ámbito del derecho penal administrativo, son simplemente contravenciones para las que se establecen multas que imponen costos cuyo monto no constituye un desincentivo a la deforestación ilegal. Además de los mecanismos ineficientes del agente controlador, es importante afirmar el papel que cumple la corrupción por parte de funcionarios provinciales.

El tema económico también afecta a la Ley N°25.080; en el año 2022 el presupuesto disponible era de $520 millones compuesto por un presupuesto nacional de $247 millones más un presupuesto adicional de $273 millones. Siendo el presupuesto a ejecutar de $529 millones, lo que da un remanente de $9 millones.

En términos nominales el presupuesto asignado para la Ley en cuestión tuvo un incremento nominal del 108,3% entre los años 2020 a 2022. (Figura 9)

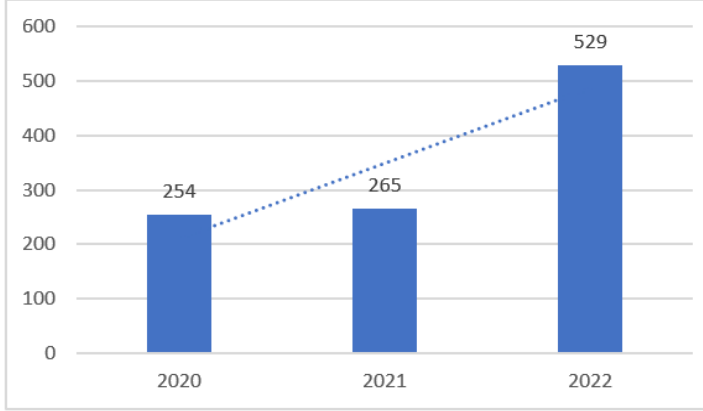


Figura 9. Presupuesto asignado por la ley 25.0080 en millones de pesos para los años 2020 a 2022 en Argentina. Fuente. Secretaría de Agricultura, ganadería y Pesca, 2022.

El estado de la ejecución del presupuesto se muestra en el siguiente gráfico de la Figura 10

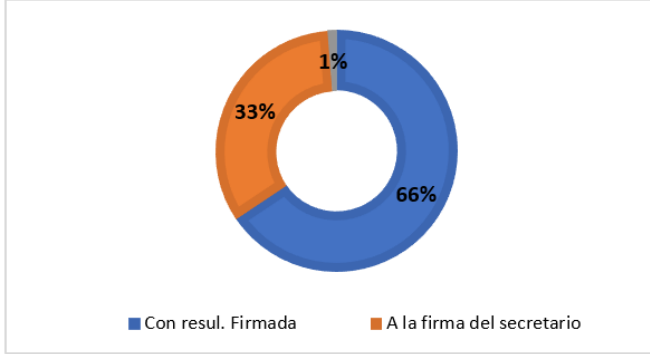


Figura 10. Ejecución del presupuesto según su estado. Nov. 2022. Fuente. Secretaría de Agricultura, ganadería y Pesca, 2022.

Las resoluciones firmadas son por un total de $ 347 millones, de los cuales Santiago del Estero recibe solo el 5,45%. Para el año 2022 se aprobaron 532 planes con diversos fines (Figura 11). La mayoría de ellos corresponden a las provincias de Entre Ríos, Misiones y Corrientes que corresponden al 81% de planes aprobados en el país. Santiago del Estero sólo cuenta con 13 planes aprobados para ese año (Figura 12).

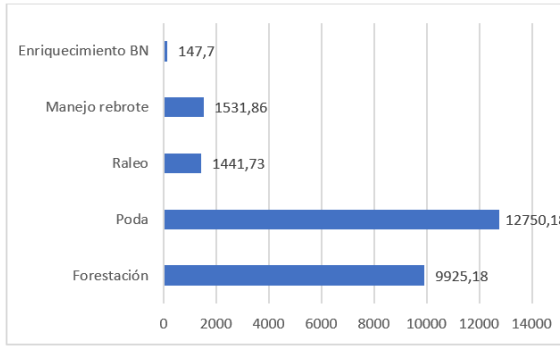


Figura 11. Superficies aprobadas (en ha) en Argentina para el año 2022. Fuente. Secretaría de Agricultura, ganadería y Pesca, 2022.

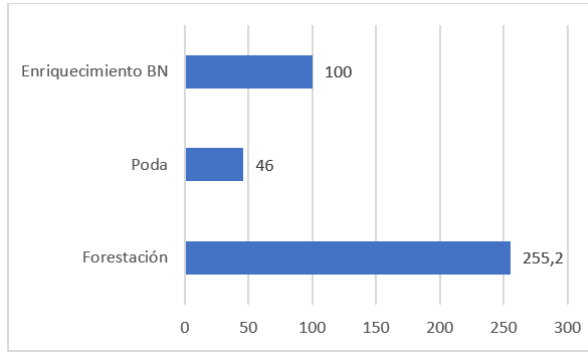


Figura 12. Superficies aprobadas (en ha) en Santiago del Estero para el año 2022. Fuente. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022.

Santiago del Estero es la provincia con mayor cantidad de hectáreas destinadas a enriquecimiento de bosque nativo, que corresponden al 68% del total del país. No se registran actividades de manejo de rebrote y raleo en esta provincia (Figuras 13 y 14).

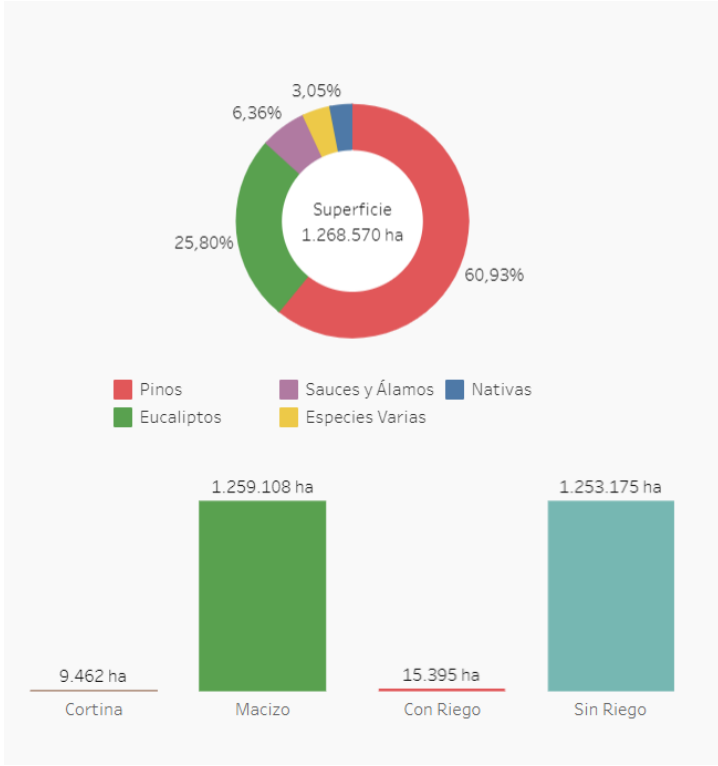


Figura 13. Hectáreas forestadas bajo la Ley N°25.080 en Argentina. Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Inventarios Forestales. 2022.

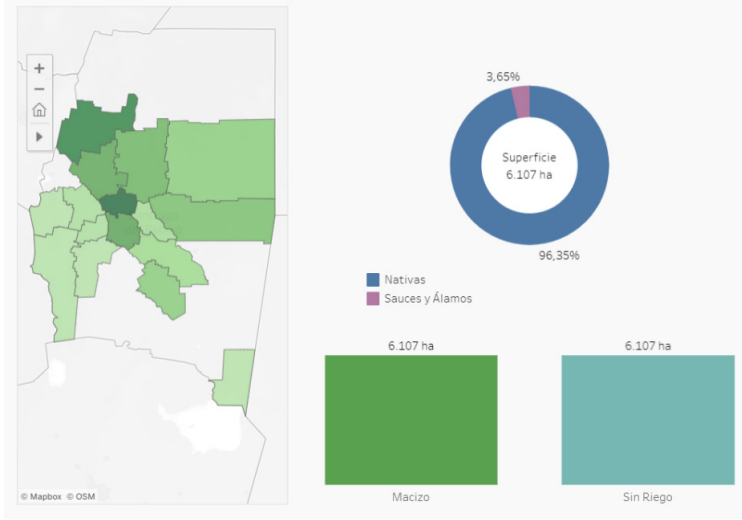


Figura 14. Hectáreas forestadas bajo la Ley N° 25.080 en Santiago del Estero. Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Inventarios Forestales. 2022.

Los objetivos que procura le ley de inversiones para bosques cultivados que son los de abastecer a la foresto industria local, según García y Sarmiento (2018), no coinciden con los objetivos que tienen los productores, ya que los productores en la zona de riego quieren recuperar suelos degradados, mientras que, en la zona de secano, los objetivos de los productores, es la producción de vainas y el fortalecimiento de actos posesorios de la tierra.

La aplicación efectiva de esta promoción forestal, según informe de AGN (2017), depende de la demanda de los actores privados de la economía y eso no genera garantías para cumplir con las metas nacionales propuestas de lograr un desarrollo armónico y sustentable.

Otro aspecto a destacar que señalan los autores García y Sarmiento (2018), es la falta efectiva de los pagos de los apor-

tes no reintegrables de la ley, ya que sólo el 10 % de la población analizada logró cobrar el subsidio por la plantación en su totalidad, siendo el principal inconveniente para el cobro del mismo es que los productos no poseen CUIT y eso imposibilita el pago efectivo del mismo.

Por otra parte, Coronel de Renolfi y Cardona (2005), señalan que hay falta de información en los productores, y, por lo tanto, se observa una baja respuesta de los productores a los incentivos promocionados, señalando, además, que los productores de Santiago del Estero no tienen un perfil forestal.

El informe presentado por la Auditoría General de la Nación (2017), señala que no hay una planificación basada en el potencial forestal ni en criterios de elegibilidad eco regionales con metas de forestación, sino que la asignación de los beneficios está basada en la demanda de fondos que realizan las personas físicas o jurídicas de acuerdo al orden de llegada al organismo pertinente.

El sistema de gestión de expedientes inicialmente no contaba con un sistema digital, pero en la actualidad se puede hacer un seguimiento en la plataforma de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca https://inforestal.magyp.gob.ar/. Sin embargó, según lo manifiesta el informe realizado por la Auditoría General de la Nación, la gestión de expedientes llega un complejo proceso completo, donde puede tardar meses en su culminación desde que se genera el expediente hasta el pago, llegando incluso a demorar hasta 4 años y 7 meses, observándose el menor tiempo de gestión en 18 meses (AGN, 2017).

Alineado a la Ley Nº25.080, en Santiago del Estero surgió el Programa Forestal Santiagueño, promovido por la Mesa Foresto Industrial de Santiago del Estero (MEFISE), cuyo objetivo era *"la forestación, reforestación y enriquecimiento de 900 ha de áreas degradadas, ubicadas estratégicamente en zonas con experiencia previa y con el potencial de generar polos locales de producción competitivas en el periodo 2017 – 2021"*. Este

programa, dirigido a pequeños y medianos productores individuales de la zona de riego, con una disponibilidad de 9 ha a 15 ha para forestar, permitió financiar con fondos del Programa un tercio de las hectáreas a forestar con acompañamiento técnico y administrativo, que luego el productor tenía que devolver al programa con forestación y no con dinero una vez que la Ley N°25.080 hubiese hecho efectivo el pago correspondiente.

3 Conclusiones

Si bien existen metodologías para valorizar los servicios ambientales y sociales, se evidencia que la ponderación de los mismos es muy diferente y que las pautas metodológicas para las actualizaciones del Ordenamiento Territorial (OTNB), en cada distrito, da lugar a diferentes interpretaciones que pueden llevar a retroceder respecto a los niveles de protección alcanzados con anterioridad. La Ley de Bosques Nativos, prevé todas las herramientas para una implementación efectiva pero el cumplimiento de dicha norma podría verse fortalecido por el acompañamiento de un mecanismo institucional para discutir y avalar dichas recategorizaciones. Esta normativa y la legislación ambiental nacional relacionada, ofrecen las herramientas necesarias como para una efectiva implementación y prevención del daño ambiental; una opción es incluir a la deforestación ilegal como un delito mediante en el Código Penal de la Nación, con pena que suponga la posibilidad de prisión efectiva. De todas formas, llegar a la sanción penal o a la multa debiera ser la última opción para la conservación de los bosques nativos. Con el fortalecimiento de canales de denuncia y con la articulación de los procedimientos existentes a partir de las alertas emitidas por el sistema de monitoreo satelital denominado Sistema de Alerta Temprana (SAT) se pueden potenciar los controles en terreno, principalmente enfocados a la prevención del desmonte.

En cuanto a la Ley N°25.080, la falta de mecanismos y herramientas necesarias para poder desarrollar todos los objetivos en la práctica, podría compensarse con la aplicación de la Ley N°25.675 (Ley General del Ambiente) que ofrece instrumentos de política y de gestión ambiental, tales como: ordenamiento ambiental del territorio, evaluación de impacto ambiental, sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas, educación ambiental, sistema de diagnóstico e información ambiental y el régimen económico de promoción del desarrollo sustentable. Con referencia a los bosques cultivados, las autoridades de aplicación nacional y provinciales deberán controlar y revisar los criterios utilizados en la zonificación de cuencas forestales periódicamente, con el objetivo de mantener la masa boscosa y los estándares ambientales marcados.

Para subsanar la evidente desfinanciación de ambas leyes se podría recurrir a la diversificación e incorporación de fuentes de financiamiento externo y fundamentalmente la identificación de subsidios e incentivos perjudiciales para la biodiversidad que se dan en el país para redireccionarlos hacia la protección de los bosques nativos o realización de forestaciones. Es necesario profundizar el análisis, identificar efectos cruzados o contrapuestos de normas y de las políticas y/o incentivos que impactan sobre el bosque nativo. En cuanto a la ley de bosques cultivados el desafío es garantizar el financiamiento del régimen de promoción con fondos extrapresupuestarios, y continuar las gestiones con las compañías aseguradoras y recuperar este aporte para el Fondos de Seguro Verde.

Puntualmente, en Santiago del Estero es necesario revisar algunas cuestiones importantes para una correcta aplicación de la ley 25.080, y de esa forma elevar los porcentajes de rendimiento de la provincia. Temas como la mejora de los mecanismos para hacer efectivos los pagos del aporte no reintegrable, teniendo en cuentas las incompatibilidades con quienes

cobran planes sociales, y la falta de dinamismo en el otorgamiento en los procedimientos administrativos, son necesarios. Otra cuestión importante es la articulación de políticas de extensión y difusión para promover la ley; como, por ejemplo, generar una política de datos abiertos, con mayor transparencia publicando información sobre resoluciones y exposición pública de modo de promover el control ciudadano de una legítima asignación de fondos (AGN, 2017). Por último, no hay información disponible sobre la falta de seguimiento a plantaciones logradas, en cuanto a si las mismas han prosperado, o en caso de no haberlo hecho, conocer los inconvenientes para ser tenidos en cuenta en futuras plantaciones.

Se observa claramente, y los números lo demuestran, que la legislación vigente no está dando los resultados esperados. Más allá de la falta de control a campo, a la hora de aprobar los planes y de la previsión de los recursos económicos que ya estaban estipulados por ley, existen otros causales. Uno de ellos es la falta de metas claras en cuanto a manejo, conservación, producción, etc., a fin de valorar realmente los servicios del bosque. Otros, son la ausencia de criterios comunes en cada región a fin de determinar las áreas del ordenamiento territorial, siguiendo pautas comunes; la falta de seguimiento en los informes de evaluación ambiental, provocando errores de concordancia entre lo que se aprueba y lo que efectivamente se realiza. Por último, una baja o escasa participación ciudadana a partir de las audiencias públicas. En otras palabras, todo instrumento legal debe ser analizado desde el punto de vista de la efectividad ecológica, económica y evaluar también la equidad social en la implementación de las mismas.

Referencias

Aguiar Sebastián, Mastrágelo Matías E, García Collazo María A, Camba Sans Gonzalo H, Mosso Clara E, Ciuffoli Lucía. 2018. *¿Cuál es la situación de la Ley de Bosques en la Región Chaqueña a diez años de su sanción?*: Revisar su pasado para discutir su futuro. Revista Ecología Austral. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000300010&lng=es.

Asociación Forestal Argentina (AFOA). 2012. *Bosques de cultivo*. Recuperado de http://afoa.org.ar/bosques_en_argentina_detalle.php?p=41

Auditoría General de la Nación (AGN). *Informe de auditoría*. 2017.

Beale, I. y Ortíz, E. 2013. *El sector forestal argentino: bosques implantados*. Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial, 41, 1-10.

Coronel de Renolfi, M. y Cardona, G. 2005. *Respuesta de los productores de la zona de riego de Santiago del Estero al régimen de promoción forestal*. Revista Quebracho N° 12, pp. 54-65. Santiago del Estero, Argentina.

FUNDACIÓN VIDA SILVESTRE. 2016. *Los bosques sin fondos: el proyecto de presupuesto 2017 solo asigna el 3.8% de lo que le corresponden*. https://www.vidasilvestre.org.ar/sala_redaccion/?15800/Los-bosques-sin-fondos-el-proyecto-de-presupuesto-2017-solo-asigna-el-38-de-lo-que-le-corresponden.

FUNDACION VIDA SILVESTRE. 2019. *Diagnóstico actualizado del estado de implementación – Ley N° 26.331*. ISBN: 978950-9427-358

FUNDACION VIDA SILVESTRE. 2020. *Ley 26.331 de bosques nativos*.://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://wwfar.awsassets.panda.org/downloads/ficha_ldb_2022_stgo_estero.pdf

García, J. y Sarmiento M. 2018. *Resultados de la implementación de la ley nacional N° 25.080 en pequeños productores de Santiago del Estero*. XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología del NOA, Santiago del Estero, Argentina.

Langbehn Lorenzo, Mariana Schmidt, Pablo Pereira. 2020. *Las leyes ambientales en el ojo de la tormenta. Un análisis comparativo en torno a la legislación sobre glaciares, bosques y humedales en Argentina. Cartografía del conflicto ambiental en Argentina*. 2020. Gabriela Merlinsky COMPILADORA.

Langbehn Lorenzo. 2017. *La ley de bosques y la construcción del federalismo ambiental en argentina.* Revista Administración pública y sociedad número 3. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/APyS/article/view/16849.

Minaverry, C. 2017. *Las normas jurídicas y las políticas públicas sobre bosques cultivados en las regiones del Centro y de Patagonia en Argentina*. FAVE- Ciencias Agrarias, 16(1), 141-152.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. 2011. *La problemática de la tierra en Argentina. Conflictos dinámicos de uso, tenencia y concentración.* Disponible en https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/prodear/biblioteca/_archivos/000001-Desarrollo%20Rural/100811-La%20Problem%C3%A1tica%20de%20la%20Tierra%20en%20Argentina%20-%20FIDA%202011.pdf

Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2022. *Presentación de Comisión Asesora. Ley 25.080 de inversiones para bosques cultivados, Argentina.*

Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2022. *Resolución 188/2022*. Disponible en https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/277904/20221216

Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2022. *Inventarios Forestales*. Disponible en https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/

REDAF. 2021. *Monitoreo de Deforestación en los Bosques Nativos de la Región Chaqueña Argentina. Informe Bosque Nativo en Santiago del Estero.* https://redaf.org.ar/wp-content/uploads/downloads/2021/08/informe-2021.pdf

Rosso, Inés. 2013. *La territorialidad en el proceso de consolidación del Movimiento Campesino de Santiago del Estero, Argentina*. Revista Interdisciplinar de trabajos sobre las Américas, Numero 6. ISSN. 2102-6424

Sharry, S. 2013. *Producción y Procesamiento de Recursos Forestales. Documento de referencia*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/recursos-forestales-doc.pdf

CERÁMICO ELABORADO CON ARCILLA EXTRAÍDA EN LA LOCALIDAD 'LOS ROMANOS'

Carlos A. Cattaneo[1,2], José M. Abdala[3], Aníbal O. Gomez Khairallah[1]

Resumen

El presente trabajo es el resultado de la caracterización de un material cerámico elaborado con una arcilla extraída de la Localidad de los Romanos, en la provincia de Santiago del Estero. Primero se caracterizó la arcilla, obteniendo su composición química elemental mediante EDS, la microestructura de las partículas por SEM y la granulometría y plasticidad de la misma. Por último, se caracterizó la cerámica obtenida, determinan-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Departamento Académico de Mecánica. Cátedra de Ciencia de Materiales. Santiago del Estero, Argentina
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento Académico de Ciencia Básicas. Cátedra de Física. Santiago del Estero. Argentina
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Departamento Académico de Obras Viales. Cátedra de Caminos III. Santiago del Estero, Argentina

do, las especias minerales presentes mediante espectroscopia Raman, la densidad, la porosidad y la tensión de ruptura. Los resultados muestran que la arcilla es apta para utilizarla en la fabricación de ladrillos para la construcción y de productos de artesanía como vajilla o elementos decorativos

Palabras clave: Cerámica, arcilla, densidad, porosidad, tensión de ruptura

1. Introducción

Uno de los primeros materiales que el hombre ha desarrollado desde la antigüedad, son los materiales cerámicos.

Los materiales cerámicos se fabrican partiendo de arcilla a la cual se le agrega agua, para formar una masa maleable que permita moldear en la forma deseada a la pieza que se desea fabricar, posteriormente a esta pieza se la somete a cocción a alta temperatura para que adquiera propiedades físicas y mecánicas, de tal manera que se pueda utilizar con fines específicos.

Los materiales cerámicos pueden tener distintas propiedades físicas y mecánicas, dependiendo del tipo de arcilla que se utilice y de la temperatura a la cual se cocine la muestra.

La producción de cerámica puede necesitar del apoyo de una alta tecnología, ejemplo de este caso sería el proceso de fabricación de piezas para la obtención de cuchillería cerámica, muy empleado actualmente; de una tecnología intermedia para la producción en gran escala como es la fabricación de revestimientos cerámicos (pisos y azulejos) o artefactos sanitarios; de escasa tecnología como ser la fabricación de vajilla o productos decorativos realizados por artesanos y también se pueden fabricar cerámicos sin apoyo de la tecnología como por ejemplo la fabricación de ladrillos para construcción en los denominados tabiques.

La arcilla es un material de origen mineral, que generalmente

se encuentra formado por silicatos aluminatos cristalinos a los que se denominan minerales arcillosos, además de otros silicatos y minerales de hierro, calcio, titanio, etc., los cuales están acompañados frecuentemente por materia orgánica (Bernal et al., 2003); resultantes de la descomposición usualmente atmosférica de rocas silicosas y luminosas, esencialmente feldespatos que comúnmente se encuentran acompañados de otros minerales como hierro, calcio, magnesio y titanio.

Estructuralmente la arcilla se encuentra constituida por láminas de tetraedros de SiO_4 y octaedros de AlO_6, donde la combinación de estas láminas forma diferentes tipos de estructuras arcillosas, dando a su vez origen a paquetes, los que al combinarse generan las placas de mineral arcilloso. Por tal motivo, es muy poco probable encontrar dos arcillas que se comporten de manera semejante y trabajen de la misma manera (Muñoz Meneses et al., 2007).

Díaz Rodríguez y Torrecillas en 2002 presentan una clasificación de arcillas, en la cual definen a la "arcilla común" como toda materia prima arcillosa de amplia distribución de afloramiento, que, por sus propiedades físicas y sus no muy exigentes especificaciones químico-mineralógicas, se utiliza, principalmente, en el sector cerámico de la construcción y en alfarería. Su constitución mineralógica es muy variada y la presencia de desgrasantes, como el cuarzo, los carbonatos, etc., y sus diferentes tamaños de grano hace que sus propiedades cerámicas sean muy variadas, tendiendo hacia plasticidades bajas y puntos de vitrificación inferiores a los 1100°C. El color del producto acabado lleva una componente roja característica, originada por los altos contenidos en óxidos de hierro que suelen estar por encima del 2-2,5%.

Ante este panorama de inmensa variabilidad descripta de las arcillas, variabilidad que depende de numerosos factores difíciles de controlar, es de esperar que las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las cerámicas fabricadas revistan una va-

riabilidad semejante. Esta circunstancia es atendida por Iglesias en su trabajo "Estudio de caracterización mecánica de probetas cerámicas a partir de una adaptación del ensayo brasileño" (Iglesias et al. 2011). Además, Iglesias propone la elaboración de muestras cerámicas a partir de las arcillas estudiadas para la ejecución de un conjunto de ensayos, los que se realizan sobre muestras de material cerámico debidamente acondicionado para tal fin, diferenciándose de los métodos normalizados para productos terminados, lo que hace difícil su comparación.

El presente trabajo muestra el estudio realizado sobre una arcilla extraída en la localidad de Los Romanos ubicada en la provincia de Santiago del Estero, y caracteriza la cerámica producida con esta arcilla.

2 Estudio de la arcilla

Se eligió para estudiar una arcilla utilizada por emprendimientos de la zona, corrientemente denominados tabiques, encargados de fabricación de ladrillos cerámicos macizos destinados corrientemente a la industria de la construcción, empleados en mampostería de cerramientos y portante.

La arcilla se extrajo de una cantera ubicada en la localidad Los Romanos, perteneciente al departamento Banda de la provincia de Santiago del Estero, cuyas coordenadas geográficas son 27°48'21.8" de latitud Sur y 64°10'20.0" de longitud Oeste.

2.1 Imágenes y Composicin Química elemental de la Arcilla

Para la obtención de imágenes de las partículas de arcillas y del análisis químico elemental de las mismas, se empleó un microscopio electrónico de barrido (SEM-EDX), PhenomWorld Pro-X de ThermoFisher, perteneciente al Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBINATEC).

Las muestras se colocaron directamente sobre porta muestra de aluminio (stub tipo pin) de 12 mm de diámetro cubierto con una cinta adhesiva de carbono. No fue necesario tratamiento previo, las imágenes fueron obtenidas con 5, 10 y 15 kV de aceleración del haz de electrones con magnificaciones de 400 a 9000X y un tamaño de haz de 3,3 nm, con un tiempo de exposición de 26 segundos.

Se utilizó un detector de electrones retrodispersados (BSD) para obtener las imágenes de contraste.

El análisis químico elemental (EDS) se llevó a cabo por espectrometría de dispersión de rayo X, incorporado en el equipo, mediante software Phenom Pro Suite Element Identification.

Se tomaron 21 imágenes de diferentes partículas de arcilla y se realizaron en total 24 microanálisis sobre las partículas fotografiadas.

En las siguientes Figuras 1 y 2, se muestran imágenes representativas de microscopia de barrido y el espectro del microanálisis EDX, de dos partículas distintas de arcillas, donde se puede observar la diferente microestructura y composición química de las mismas.

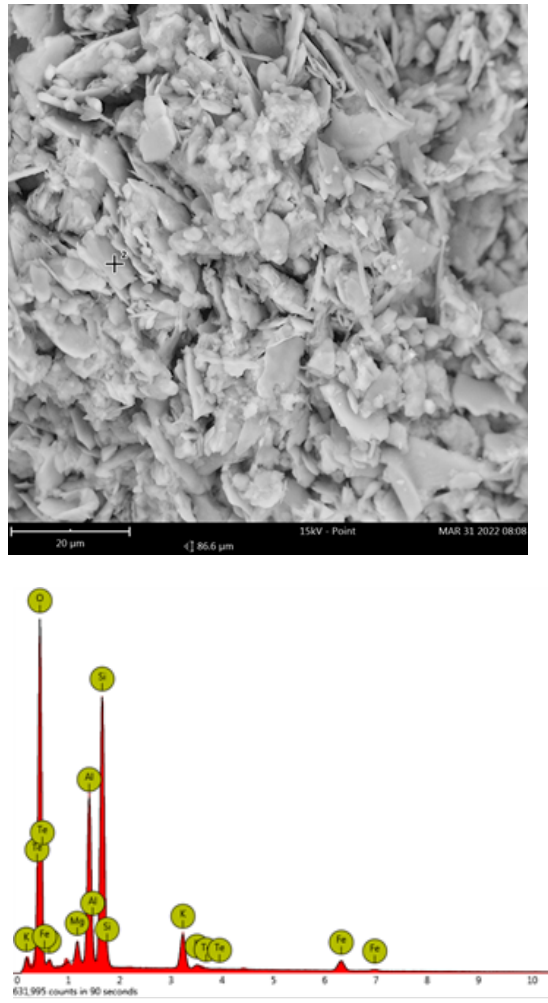


Figura 1. Fotografía y espectro del microanálisis EDX de una partícula de arcilla.

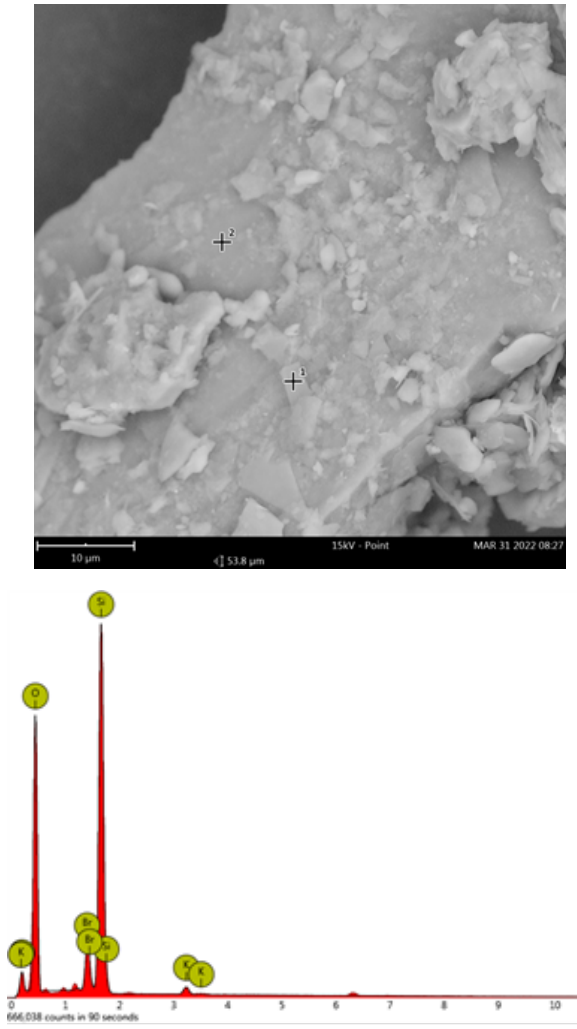


Figura 2. Fotografía y espectro del microanálisis EDX de una partícula de arcilla.

Analizando en conjunto todos los microanálisis realizados, podemos separar los elementos químicos presentes en la arcilla en tres grupos; elementos mayoritarios con una concentración porcentual promedio en peso mayor al 1%, elementos secundarios aquellos que están presente con una concentración porcentual promedio entre el 1% y el 0,1% y trazas de elementos aquellos elementos cuya concentración porcentual promedio en peso es menor a 0,1%, en la Tabla 1 se detallan los elementos químicos presentes en la arcilla estudiada.

	Elemento Químico
Elementos Mayoritario	O, Si, C, Br, Fe, K, Al, Mg
Elemento Secundario	N, Ti, Na, Sb, Ca, Ba
Trazas de elementos	Sr, Sn, Te, Cd

Tabla 1. Elementos químico presente en la arcilla

2.2 Granulometría y Plasticidad de la Arcilla

Para identificación el material extraído, se realizó el ensayo de tamizado por vía húmeda; donde los resultados muestran que el material está compuesto por un 81,6% de arcilla limosa, con contenidos de arena de 16,3% y un 2,2% de materia orgánica.

Además, se determinaron las constantes de Atterberg utilizando el material pasante por el tamiz Nº40 (0,420 mm), obteniéndose para el Límite Líquido un valor de 24,8%, para el Límite Plástico un valor de 19,6% y un valor para el Índice de Plasticidad de 5,2, los cuales indican que la arcilla estudiada tiene escasa plasticidad.

3 Fabricación y caracterización del Material Cerámico

3.1 Fabricación de los cerámicos

Con el objetivo de estandarizar la fabricación de cerámica para poder caracterizar la misma, se seleccionaron un conjunto de pasos, que permitan repetir el proceso de fabricación.

Los pasos seguidos para fabricar las probetas de cerámica fueron:

- Primero se trituró y se pulverizó de forma manual la arcilla.
- Segundo se tamizó para lograr una granulometría uniforme.
- Tercero se hidrató la arcilla con un 15% de agua, en relación de peso.
- Cuarto para conformar las probetas, se utilizó un molde de acero de forma cilíndrica de 40 mm de diámetro, en el cual se colocó 100 gramos de arcilla hidratada, la cual se comprimió con una carga de 5 toneladas que fue aplicada por una prensa hidráulica.
- Quinto las probetas se secaron dentro de una habitación a temperatura ambiente sin corriente de aire hasta que alcanzaron un peso estable que no variaba en el tiempo. Al final de esta etapa se obtienen las probetas de arcilla moldeada.
- Sexto la cocción de la arcilla se realizó en una mufla eléctrica, la cual alcanzo los 1.050ºC y se mantuvo a esta temperatura por el término de 4 h empleando una sucesión de etapas de calentamiento que se describen a continuación. Se inició con 2 h a 100ºC, calentándose con una rampa de 2ºC/min hasta alcanzar los 400ºC, manteniéndose esta por 0,5 h, luego con una rampa de 2ºC/min hasta los 700ºC manteniéndose nuevamente por el termino de 0,5 h, finalmente con una rampa de 2ºC/min se calien-

ta nuevamente hasta los 1050ºC donde se mantiene por 4 h para luego enfriarse lentamente con la inercia propia del horno junto a su carga. Al final de esta etapa se obtienen las probetas de cerámica (arcilla moldeada cocida).

3.2 Caracterización del material cerámico

Se fabricaron 19 probetas en total y de ellas se seleccionaron 10 que no presentaron ningún defecto visible a simple vista. Estas 10 probetas se utilizaron para caracterizar tanto las probetas de arcilla moldeada como las probetas de cerámicas.

La arcilla moldeada se caracteriza durante el proceso de secado, determinando como pierde humedad y como varían sus dimensiones.

La cerámica se caracteriza mediante algunos parámetros físicos generales como son la densidad aparente y la densidad real, la porosidad aparente y la porosidad real; y mediante le tensión de ruptura como parámetro mecánico.

Todos los resultados que se muestran son valores medios con sus respectivas desviaciones estándar, obtenidos en los ensayos realizados sobre las 10 probetas utilizadas para caracterizar la cerámica.

3.2.1 Caracterización de la arcilla moldeada

Una vez conformadas las probetas se procedió al secado de las mismas, como se indica en el paso quinto del proceso de fabricación de la arcilla. En la Figura 3 se muestra la gráfica de secado de las probetas, en la misma se grafica la humedad de las probetas tomando como referencia el peso en el cual se estabiliza el secado de la misma. En la gráfica podemos ver que las muestran alcanzan un peso estable en aproximadamente 50 horas.

Es conocido que el proceso de secado de la arcilla conlleva cambios de dimensiones, encogimientos de las mismas, el cual dependen de manera dominante de las cantidades relativas de los componentes de las arcillas utilizadas y de las condiciones bajo la cual se realice el secado. Por tal motivo se determinaron los encogimientos porcentuales de las dimensiones de las probetas.

Durante las 118 horas en que se secaron las probetas la variación porcentual en las dimensiones de las mismas fueron:

- Encogimiento en el diámetro (0,9 $\pm$ 0,1) %
- Encogimiento en la altura (2,1 $\pm$ 0,6) %

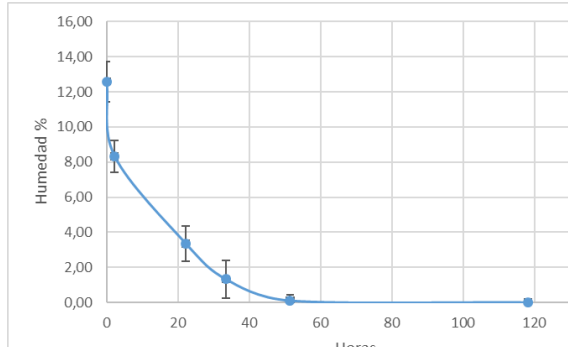


Figura 3. Secado de las probetas de arcilla moldeada, variación de la humedad con el tiempo.

3.2.2 Caracterización de la cerámica

Cuando las probetas de arcilla moldeadas, estuvieron secas se procedió a su cocción de acuerdo al paso sexto de fabricación. En la Figura 4 se muestran las probetas al salir del horno de cocción, en la misma podemos observar que todas tienen un color rojo uniforme en su superficie.



Figura 4. Probetas de arcilla al salir del horno de cocción.

Para determinar que compuestos están presentes en los cerámicos se realizaron análisis de espectrometría Raman. Los mismos se realizaron en el Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBINATEC).

Para la obtención de los espectros, las muestras se colocaron sobre portaobjetos, sin ningún tratamiento previo. Los mismos se adquirieron empleado un espectrómetro raman LabRAM HR Evolution (Horiba), utilizando un láser de 532 nm, con una potencia de 107mW, con detección en un rango espectral comprendido entre 100 y 2500 cm-1. El tiempo de adquisición fue de 3 a 5 segundos, con 3 a 10 acumulaciones y con un objetivo de 50X. Se empleó una rejilla de 1.800 ranuras por milímetro permitiendo una mayor resolución espectral.

En la Figuras 5 y 6 se muestran dos espectros de diferentes muestras donde están remarcados los picos pertenecientes a los compuestos encontrados.

En la Figura 5 se observan los picos correspondientes a los óxidos de hierro Hematita y Magnetita, los cuales coinciden con los reportados por De La Viuda-Perez et al. en 2016 y por Lalla et al. en 2015.

Mientras que en la Figura 6 sobresale claramente el pico cuarzo (silicato de estructura regular), además se pueden observar picos correspondientes a especies minerales del tipo

Actinolita y Moscovita los cuales coinciden con los reportados por De La Viuda-Pérez et al. en 2016, por Wang, Freeman y Jolliff en 2015 y Ostrounov, Faulques y Lounejeva . en 2002.

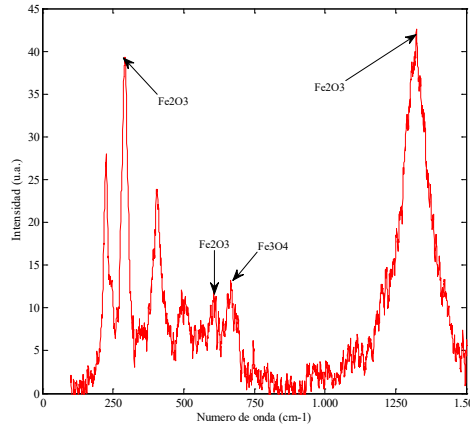


Figura 5. Espectro Raman de cerámica

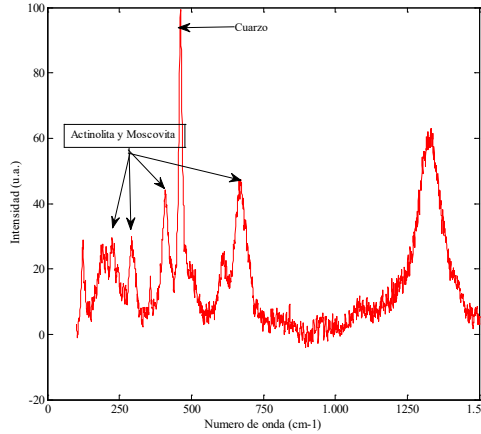


Figura 6. Espectro Raman de cerámica

En la Figura 7 se muestran dos micrografías de barrido de la cerámica, en las cuales se pueden observar algunas partículas regulares embebidas en una matriz de apariencia amorfa, también se pueden observar la gran cantidad de poros existentes. Nótese que la micrografía de la derecha tiene menos de un tercio de la magnificación de la de la izquierda, con lo cual se puede deducir que el tamaño de los poros presentes tiene una buena dispersión.

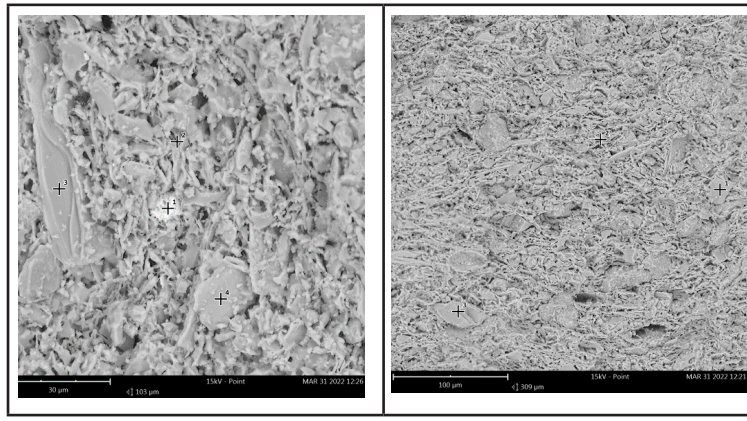


Figura 7. Micrografía de barrido de la cerámica fabricada

La densidad aparente δ_a y la porosidad aparente P_a de la cerámica se determinaron mediante las ecuaciones 1 y 2 respectivamente, para ello fue necesario medir en cada probeta el peso seco P_d, el peso saturado en agua P_s y peso saturado sumergido en agua P_{ss}.

$$\delta_a = \frac{P_d}{P_s - P_{ss}} \delta_{ad} \qquad (1)$$

$$P_a = \frac{P_s - P_d}{P_s - P_{ss}} * 100 \qquad (2)$$

Donde δ_{ad} es la densidad de agua destilada a la temperatura que se realiza el ensayo.

La densidad real del material ceramico δ_r se determinó mediante el uso de un picnometro usando material reducido a polvo muy fino mediante la molienda con un mortero. Mientras que para determinar la porosidad real P_r se utilizo la ecuacion 3.

$$P_r = \frac{\delta_r - \delta_a}{\delta_r} * 100 \qquad (3)$$

Los resultados obtenidos son:

- Densidad aparente (1864 $\pm$ 81) kg/m^3
- Porosidad aparente (20 $\pm$ 5) %
- Densidad real (2602 $\pm$ 66) kg/m3
- Porosidad real (25 $\pm$ 6) %

La caracterización mecánica de la cerámica se determina tensión de ruptura a la compresión, para ello primero se concretó un proceso de secado en horno eléctrico a temperatura reducida para le eliminación de la humedad absorbida en las determinaciones del peso saturado sumergido y peso saturado.
Los ensayos de rotura por compresión se desarrollaron con un equipo de ensayo de suelos de accionamiento manual, el que se lo configuro con un aro de medición con capacidad de 5000 kg, el mismo cuenta con un dispositivo comparador centesimal para la detección de la deformación y con la ayuda de las constantes de calibración se determina la carga correspondiente, en la Figura 8 se muestra una probeta durante el ensayo de compresión. La tensión de ruptura media de la cerámica fabricada fue σ_r = (28 $\pm$ 4) MPa.



Figura 8. Ensayo de compresión.

4 Discusiones

En arcilla de los Romanos, presenta un bajo índice de plasticidad el cual es asociado al porcentaje de arena presente, pero esta arena sirve de desgrasante cuando se moldea la arcilla, haciendo que se tenga un bajo porcentaje de encogimiento durante el secado de la arcilla moldeada, con lo cual se evita el agrietamiento de la pieza moldeada.

Además, el contenido de arena es parte responsable la porosidad en la cerámica porque hace que el empaquetamiento no sea perfecto y allí se producen los poros. Esta porosidad es la responsable de que la densidad aparente de la arcilla sea un 28% menos que la densidad real. La densidad aparente toma valores similares a otras arcillas comunes, como la arcilla de

España estudiada por Iglesias et al. en 2011.

Respecto a la tensión de ruptura el valor de la arcilla elaborada es alto si lo comparamos con los resultados reportados por Santos, Malagón Villafrades y Córdoba Tuta en 2011 y por García en et al. 2012 y 2013 en arcillas de Colombia, aunque es bajo si lo comparamos con las arcillas reportadas por Iglesia et al. en 2011, pero Iglesia ensayo cerámicas elaboradas con una mescla de arcilla. Por lo cual el valor de tensión de ruptura de nuestra cerámica es más que aceptable ya que se logra utilizando un solo tipo de arcilla.

El hierro que se encuentra en el análisis químico elemental de la arcilla (Tabla 1), está formando hemática y magnetita como se observa en a espectrometría Raman de la cerámica (Figura 5) y es el responsable del color rojo intenso que tiene la misma como se observa en la Figura 4.

5 Conclusiones

La cerámica producida bajo las condiciones especificadas usando la arcilla seleccionada, presenta buenas propiedades mecánicas ya que la tensión de ruptura es alta y tiene una densidad aparente no muy grande, la combinación de estos parámetros hace que esta cerámica sea apta para la fabricación de ladrillos para la construcción y de productos de artesanía como vajilla o elementos decorativos. Además, la cerámica presenta un color rojo uniforme.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Jorge Raúl Gómez Rojas, por sus aportes sobre el análisis de EDS y de espectrometría Raman.

Referencias

Bernal, I., H. Cabezas, C. Espitia, J. Mojica & J. Quintero. (2003). Análisis próximo de arcillas para cerámica. *Rev. Acad. Colomb.* Cienc. Vol. 27, 105, 569-578.

De la Viuda-Pérez I., Navarro-Azor R., Lalla E. A, Rodríguez-Losada J. A., Aquilano R., Medina J., Rull-Pérez F. (2016). Estudio de basaltos mediante espectroscopia de plasma inducido por láser (LIBS) para la fabricación de bloques de lapilli. *Minería y Geología*, Vol. 32,. 3, 78-95.

Díaz Rodríguez L.A, Torrecillas R. (2002). Arcillas cerámicas: una revision de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, Vol. 41, 5, 459-470.

García N. A., Guerrero Gómez G., Monroy Sepúlveda R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, Vol 22-1, 43-58.

García N. A., Ibarra Jaime A. C., López Duran C. A. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Revista épsilon*, 20,101-119.

Iglesias I., Acosta B., Yu R., Ruiz G., Aineto M., Acosta A. (2011). Estudio de caracterización mecánica de probetas cerámicas a partir de una adaptación del ensayo brasileño. *Materiales de Construcción* Vol. 61, 303, 417-429

Lalla E. A., López-Reyes G:, Sansano A., Sanz-Arranz A., Schmanke D., Klingelhöfer G., Medina-García J., Martínez-Frías J., Rull-Pérez F.. (2015). Estudio espectroscópico y DRX de afloramientos terrestres volcánicos en la isla de Tenerife como posibles análogos de la geología marciana. *Estudios Geológicos*, 71(2)

Muñoz Meneses R. A., Muñoz Chaves J. A., Mancilla P. & Rodríguez-Páez J. E. (2007) Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi - Costa Pacífica Caucana (Colombia). R*ev. Acad. Colomb. Cienc. 31 (121): 537-544, 2007.*

Ostroumov M., Faulques M., Lounejeva E. (2002). Raman spectroscopy of natural silica in Chicxulub impactite, México. C. R. *Geoscience*, 334, 21–26

Santos Amado j. D., Malagón Villafrades P. Y., Córdoba Tuta E. M. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de barichara, Santander. *Dyna, año 7*8, 167, pp. 50-58

Wang,A., Freeman J. J., Jolliff B. L.. (2015). Understanding the Raman spectral features of phyllosilicates. *Journal of Raman Spectroscopy*. Vol. 46, 10, 829-845

INVESTIGAR Y PLANTAR ALGARROBO BLANCO COMO ESTRATEGIA PARA LA ADAPTACIÓN

Rocío Carreras[1], Amelia Nancy Giannuzzo[2], Myriam Ethel Ludueña[3], María Gracia Senilliani[1]

Resumen

El conocimiento del algarrobo blanco permitirá responder a la demanda de madera, forraje, frutos, dendroenergía y generar acciones de adaptación al cambio climático en la región del Parque Chaqueño. Su variabilidad genética, y la selección de materiales adecuados, pueden ser aprovechadas para concretar programas de mejoramiento y definir estrategias de conservación ante situaciones de degradación, pérdida de cobertura y ocurrencia de incendios. Además, las plantaciones forestales de esta especie, se presentan como alternati-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (INSIMA)
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Laboratorio de Estudios Ambientales
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Tecnología de la Madera (ITM),

va para disminuir la presión que se ejerce sobre los bosques nativos. La calidad de sitio donde se desarrollan estas plantaciones, se presenta como una herramienta para determinar la producción de un determinado servicio de provisión (madera y/o frutos) y realizar un manejo correcto. Es necesario seguir desarrollando estudios sobre la capacidad de provisión de energía y el aprovechamiento de los residuos de los raleos vinculados a los orígenes genéticos para la instalación de plantaciones dendroenergéticas.

Palabras clave: Algarrobo, diversidad, plantación, dendroenergía

1. Introducción

Los bosques proporcionan numerosos productos y servicios que contribuyen al desarrollo sostenible. Son importantes para cientos de millones de personas de las zonas rurales, entre las que se cuentan muchas de las más pobres del mundo. También, son hábitat de numerosos pueblos originarios por lo que en estos últimos años se ha resignificado su valor cultural. Son fuente de recursos maderables, combustibles, medicinas, materiales de construcción, alimentos. Además, almacenan grandes cantidades de carbono y moderan el clima, constituyéndose en fundamentales en la estrategia de defensa contra el cambio climático. Son protectores del suelo y de valiosas fuentes de agua (FAO, 2018). En este marco, el objetivo de la gestión forestal sostenible es asegurar que los bosques proporcionen bienes y servicios para satisfacer no sólo las necesidades actuales sino las futuras y contribuyan al desarrollo sostenible de las comunidades.

En Argentina, frente a la necesidad de proteger los bosques nativos y garantizar su gestión sostenible se sancionó la Ley 26.331 (reglamentada por el Decreto PEN 91/2009) que esta-

blece los Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para el enriquecimiento, restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos y de los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad. Asimismo, el Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático (2017) es un instrumento de política pública y una herramienta de gestión operacional que tiene por objetivo general reducir las emisiones y aumentar la captura de gases de efecto invernadero del sector, a través del fortalecimiento de la gestión sostenible de los bosques nativos. Estos objetivos están en línea con los compromisos nacionales e internacionales asumidos por la Argentina ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en el marco del Acuerdo de París (PANByCC, 2017). En este marco en el año 2022, la Dirección General de Bosques y Fauna de la provincia presentó el Plan Estratégico de Bosque Nativo con una proyección de 10 años (Carreras et al, 2022).

Estos planes y precedentes normativos se fueron gestando en un contexto de pronunciadas tasas de deforestación y avanzada degradación de ecosistemas boscosos. Por ejemplo, en el Parque Chaqueño, dado que la expansión de la agricultura y de la ganadería se produjo principalmente sobre tierras ocupadas con bosques, se han registrado procesos de deforestación de amplias extensiones, principalmente en las provincias de Salta y Santiago del Estero y, en menor medida, en las de Chaco y Formosa (PANByCC, 2017). Algunos estudios preliminares indican que en Santiago del Estero existen unas 37.500 ha degradadas en la zona de riego y 29.533 ha afectadas por incendios durante el año 2020 (FARN, 2020). A esto se suman 84.940 ha desmontadas en el período 2019-2022. Esta situación requiere desarrollar diferentes estrategias para recuperar la estructura y composición del bosque, de tal manera que éste sea capaz de brindar múltiples servicios de forma sostenida en el tiempo.

En este sentido, las plantaciones forestales se presentan, también, como una alternativa para dar respuesta a la demanda de materia prima, disminuyendo la presión que se ejerce sobre los bosques nativos con fines productivos. Particularmente, la tendencia a utilizar especies nativas en vez de exóticas de rápido crecimiento se ha incrementado en los últimos años debido a los beneficios que éstas presentan referidos a la conservación de la biodiversidad, prevención de incendios, aspectos sanitarios y valores culturales, entre otros. Por esto es que las investigaciones sobre especies nativas y su uso forestal a través de plantaciones revisten actualmente gran relevancia.

1.1 Sobre las plantaciones forestales

Los bosques plantados son una estrategia para producir bienes y servicios que pueden ayudar a mitigar la inseguridad alimentaria, la crisis energética y ambiental.

Las plantaciones forestales son cultivos de especies leñosas que se manejan de manera intensiva con fines productivos. Están compuestas por una o dos especies de edad uniforme, plantadas con un espaciamiento regular. Éstas abarcan alrededor de 131 millones de ha, lo que representa el 3 por ciento de la superficie forestal mundial (FRA 2020). El 55 por ciento de todos los bosques plantados, no se manejan de manera intensiva y pueden parecerse a los bosques naturales en la madurez de los rodales. Los propósitos de otros bosques plantados pueden incluir la restauración del ecosistema y la protección del suelo y el agua.

La proporción más alta de plantaciones forestales se encuentra en América del Sur, donde este tipo de bosque representa el 99 por ciento de la superficie total de bosque plantado y el 2 por ciento de la superficie forestal total (FAO, 2020). Particularmente, si consideramos la Región Chaqueña, las plantaciones se realizan en su mayoría con especies nativas

siendo *Netulma alba* (= *Prosopis alba*), conocida como "algarrobo blanco" la principal especie utilizada. En las provincias de Formosa, Chaco y Santiago del Estero se registran aproximadamente 5319 ha reforestadas con esta especie (UCAR, 2014). La gran mayoría de estas plantaciones se realizaron en tierras abandonadas por la agricultura, con suelos salinos y capa freática alta (Ludueña et al. 2021).

En la provincia de Santiago del Estero, desde el año 2019, se ejecuta el Plan Forestal Santiagueño con fondos de la Ley 26331. Éste tiene como objetivo contribuir a la recuperación de áreas degradadas de la provincia mediante la implantación de masas forestales con fines madereros y no madereros en predios de pequeños y medianos productores. Hasta el año 2020 se realizó la plantación de 105 ha con 44.000 ejemplares de algarrobo blanco en los departamentos Robles, Sarmiento, Capital y Banda. En el año 2023 se prevé la plantación de 30 ha más en el Departamento Belgrano.

1.2 La adaptación al cambio climático

El cambio climático puede impactar sobre los ecosistemas forestales al cambiar las relaciones entre el lugar y las especies, modificando las tasas de crecimiento de las mismas y ocasionando otros cambios ecológicos. Es muy probable que la falta de acciones pertinentes de adaptación incremente los efectos de incendios, sequía e inundaciones, plagas entre otros factores. En este sentido, la adaptación al cambio climático se define como un "ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados, o a sus efectos, que atenúa los efectos perjudiciales o explota las oportunidades beneficiosas" (IPCC, 2007). Dada la diversidad de los bosques en todo el mundo, las diferentes necesidades de las distintas partes interesadas en los bienes y servicios forestales, y la incertidumbre acerca del modo en que el cam-

bio climático afectará a los diferentes bosques, la adaptación deberá ser adecuada para cada situación. En este sentido, las plantaciones de algarrobo blanco con los materiales genéticos adecuados y en los sitios correctos pueden dar respuesta a la demanda de madera, leña, frutos y energía y constituirse en una de las acciones de respuestas de adaptación contextualizada en la provincia y en la región del Parque Chaqueño.

1.3 El algarrobo blanco

El algarrobo blanco es la especie del género de mayor distribución en Argentina. Se la encuentra principalmente en las provincias de Córdoba, Santiago del Estero, La Rioja, Catamarca, Tucumán, Salta, Santa Fe, Chaco y Formosa. Extendiéndose, además, a Paraguay, Uruguay y Bolivia (Burkart, 1976). Su amplio rango de distribución y su adaptación a condiciones extremas de aridez la convierten en una especie de alto potencial para plantaciones en estos ambientes.

Se la conoce como una especie multipropósito: sus frutos en alimentación humana, frutos y follajes en alimentación animal, sus maderas para leña, carbón, postes, y muebles.

Además, entre los beneficios indirectos que brinda esta especie y las restantes del género Neltuma, se describe el rol en la recuperación de áreas degradadas en las zonas áridas, de relevancia gracias a sus adaptaciones morfo-fisiológicas a los ambientes bajo estrés abiótico (Villagra et al., 2010; Taleisnik y Launestein, 2011), incidiendo en la dinámica de los rodales que se traduce en un aumento en la diversidad de las comunidades. Según Villagra (2000), las especies del género Neltuma, poseen la capacidad de tolerar sequía y condiciones edáficas adversas, como la salinidad y alcalinidad. Poseen adaptación a la herbivoría, como consecuencia presentan una posición dominante en la vegetación leñosa de zonas áridas y semiáridas de América.

En cuanto a su uso para madera es una de las especies nativas de mayor uso en nuestro país, registrándose en los últimos años un aumento constante en la tasa de consumo. Dado que la totalidad de la madera de algarrobo consumida proviene de bosques nativos, Venier et al. (2013) señalan que su explotación es "insostenible" desde el punto de vista ambiental y económico.

Por otro lado, un estudio sobre el posible impacto del cambio climático sobre la distribución de algarrobo paraguayo (*P. hassleri*) y de algarrobo blanco (morfotipos Santiagueño, Chaqueño y Chaqueño Sur) en el norte de Argentina mostró que los cambios en las condiciones climáticas que se registrarían en el año 2050 afectarían marcadamente la distribución de los bosques de estas especies en la región chaqueña de Argentina. Sin embargo, el morfotipo "Santiagueño", sería el menos afectado bajo el escenario de cambio climático. Para este morfotipo se observa que la mayor parte de su distribución actual permanecería estable, sin sufrir retracciones ni fragmentaciones. Este resultado, podría deberse a que estaría más adaptado a una alta variabilidad de temperatura y. sería significativamente más tolerante al estrés hídrico (López Lauenstein et al. 2013). Este morfotipo se distribuiría en un futuro en la región del Chaco árido, por lo que sería un candidato para utilizar en planes futuros de conservación y restauración de bosques en dicha región.

2. Domesticación y mejora con perspectivas de usos múltiples

El proceso de domesticación de cualquier especie implica la recolección de materiales salvajes, el cultivo sistemático y la selección de ejemplares que respondan mejor a las demandas de la población. Este proceso resulta en una asociación íntima entre la especie y la humanidad a partir del desarrollo de productos, tecnologías y nuevos materiales biológicos que difieren molecular, bioquímica y morfológicamente de aquellos materiales originarios.

Uno de los desafíos más importantes en este proceso es poder identificar la magnitud, distribución y fuente de variación que existe entre las poblaciones naturales. Si hay variación y esta variación es hereditaria, es decir se transmite de generación en generación, es posible capturar las diferencias que se observan entre los árboles y utilizarlas con diversos fines.

En este sentido el algarrobo blanco es una de las pocas especies nativas con importantes avances en el estudio de su variabilidad genética. Estos estudios se han desarrollado tanto en poblaciones naturales como en ensayos genéticos y advierten que la especie presenta una alta diversidad genética y una amplia distribución espacial (Fontana et al, 2018; Frassoni 2021). Esta variabilidad genética puede ser aprovechada para llevar adelante programas de mejora para la producción de madera de alta calidad, forraje, frutos, dendroenergía y recuperación de tierras degradadas. Conocer esta información también permite definir estrategias de conservación ya que la diversidad genética de las poblaciones constituye el material base de la evolución en general y de la adaptabilidad a los cambios ambientales en particular (Frassoni, 2021).

La Universidad Nacional de Santiago del Estero, en conjunto con otras instituciones provinciales y nacionales, ha realizado numerosos aportes al conocimiento en esta temática. En el año 2008 se instaló un ensayo genético de algarrobo blanco en la localidad de Santa María, Dpto Capital, Santiago del Estero. Este ensayo cuenta con 217 familias de progenies provenientes de diez orígenes de la ecorregión Chaqueña y el Espinal. El término "origen" indica el área geográfica natural de donde vegeta la especie (rodal natural). Las familias están integradas por individuos (progenies) producidos por semillas de los árboles seleccionados en cada origen. Es decir, todas las semillas provenientes de un mismo árbol conforman una familia. En cada origen se seleccionaron un número variable de árboles por su superioridad en forma y vigor de los que se

cosecharon semillas (familias) para luego instalar el ensayo (Figura 1). El mismo se estableció con un diseño de bloques completamente aleatorizado con parcelas de árbol individual (single tree plot) no contiguas, con 15 repeticiones (individuos) por familia, bordura perimetral y distanciamiento de 4 m por 4 m entre plantas.

En este ensayo genético se evaluaron rasgos cuantitativos de interés económico y de importancia adaptativa, así como análisis moleculares considerando la estructura jerárquica de orígenes, familias dentro de orígenes e individuos dentro de familias. En total se evaluaron 4 variables de importancia maderera: diámetro, altura total, número de fustes y crecimiento; 12 caracteres de interés adaptativo en hojas y espina; 2 rasgos de interés forrajero en hojas: taninos condensados totales y compuestos fenólicos totales; 6 loci microsatélites (SSR) y cantidad de carbono almacenado en el fuste.

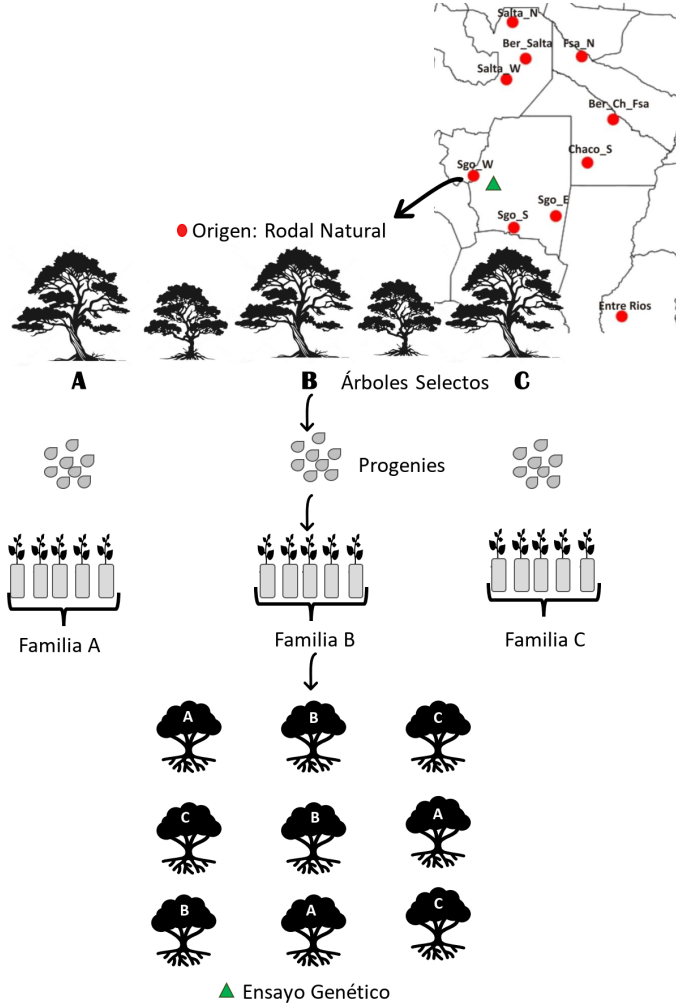


Figura 1. Variación genética del algarrobo blanco establecida en el ensayo de Santa María, Santiago del Estero. Los orígenes están representados por círculos y el sitio del ensayo por un triángulo en el mapa de la parte superior derecha.

Se obtuvieron medidas de variabilidad genética molecular y se llevaron a cabo análisis de conglomerados y escalamiento multidimensional (MDS) para datos moleculares y morfológicos. El número de alelos por locus varió entre 3 y 8 y la Heterocigosis promedio fue de 0,52. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre los distintos orígenes ensayados. En este mismo sentido, como se observa en el Figura 2, la matriz de distancias moleculares no se ajustó a lo esperado por aislamiento por distancias (r=0,177, P=0,142), mientras que las distancias morfológicas y geográficas mostraron una correlación significativa (r= 0,309, P= 0,045) (Carreras et al., 2013). Es decir que a pesar de que el algarrobo blanco posee una gran distribución geográfica y una alta variabilidad genética a nivel molecular, los distintos agrupamientos de orígenes sugieren que los caracteres cuantitativos podrían ser adaptaciones locales. Por lo tanto, es necesario realizar la selección por orígenes para cualquier rasgo de importancia económica, ambiental o cultural.

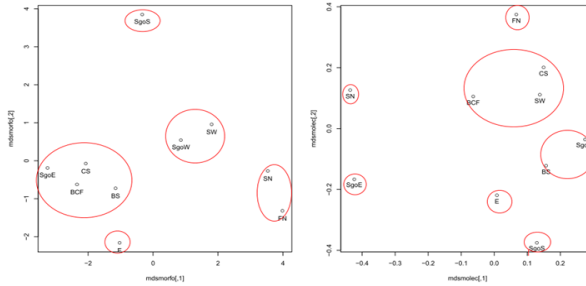


Figura 2. El gráfico MDS de la izquierda muestra cierta asociación entre las diferencias morfológicas y la distribución geográfica formando 3 grandes grupos: Salta Norte y Formosa Norte; Santiago Oeste y Salta Oeste; Santiago Este, Chaco y Bermejo y Santiago Sur y Entre Ríos aislados, mientras que el gráfico MDS de la derecha realizado en base a caracteres moleculares muestra una asociación diferente entre orígenes formando 2 grandes grupos: Chaco, Bermejo y Salta Oeste; Santiago Oeste y Bermejo Sur y de forma aislada el resto.

Si el objetivo de la selección es la obtención de madera de calidad, los análisis de correlación genética entre las variables altura, diámetro, número de fustes y tasa de crecimiento indican que los mismos están positiva y significativamente correlacionados entre sí. Es decir, estos rasgos estarían determinados por los mismos genes lo cual implica que la selección de árboles con un menor número de tallos (mejor forma), representaría una pérdida en los rasgos de importancia para el aserrío (altura y diámetro). Ante esta problemática se diseñó una estrategia de selección basada en un "índice" que considera varios rasgos simultáneamente dándoles un peso o penalización (w) según distintos escenarios económicos. Como se observa en la Figura 3, con esta metodología, es posible obtener una ganancia en altura (H) del 6 %, en diámetro (DAP) del 17 % y en número de fustes (NF) del 18 % (Carreras et al., 2016). Los mejores orígenes en este sentido son Bermejo-Chaco-Formosa, Bermejo Sur, Chaco Sur, Formosa Norte, Santiago Este, Santiago Oeste y Salta Oeste.

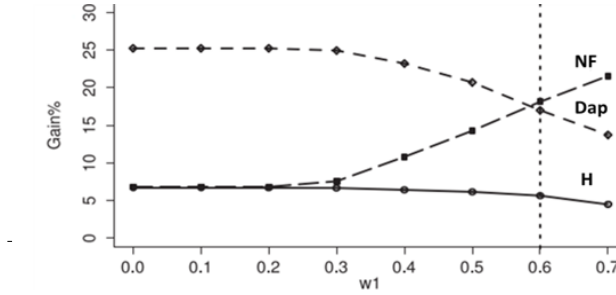


Figura 3. Ganancias por rasgo individual según índice multicriterio. El mejor compromiso para las tres variables se logra con valores del coeficiente w1=0,6; w2=0,1 y w3=0,3.

Si se considera el potencial del algarrobo blanco como fuente de recursos forrajeros sobre todo en los sistemas agroforestales, donde sus hojas y frutos son muy apetecidos por el

ganado y son una gran alternativa en la estación seca cuando escasean los pastos, es de gran interés analizar la variabilidad genética en tipos y concentraciones de metabolitos secundarios. Entre las moléculas más abundantes en las leguminosas y que más afectan la producción animal se encuentran los "taninos". Si estas se encuentran en altas concentraciones (5-10 % de la materia seca), deprimen el consumo y la digestibilidad del forraje, mientras que a menor concentración (2-4 % de la materia seca), podrían disminuir las pérdidas de proteína por microorganismos e incrementar la absorción intestinal (Aerts et al, 1999).

Según estudios preliminares, la concentración de taninos condensados, según el origen presentaron diferencias significativas ($P<0,05$) para Santiago Sur, Salta Oeste y Salta Norte alcanzando valores medios entre de 2,14 % y 1,38% de materia seca. Estos valores medios de taninos se encuentran dentro de los rangos beneficiosos en la nutrición animal y justifican la necesidad de realizar selección de genotipos de interés para la producción foresto ganadera en programas de uso múltiple del algarrobo blanco (Carreras et al, 2015).

El secuestro de carbono atmosférico sería otra variable de selección si el objetivo es la reducción de gases de efecto invernadero. En este sentido, se realizaron algunos análisis exploratorios de la cantidad de carbono almacenado a nivel de fuste aplicando la función universal de carbono propuesta por Gayoso (2000). Se encontraron diferencias significativas entre orígenes y familias dentro de orígenes, siendo los de mejor desempeño Bermejo-Chaco-Formosa, Chaco Sur y Salta Norte (Castillo y Carreras 2017). Esto indica que la eficiencia de captura puede incrementarse en futuras plantaciones, utilizando material genético proveniente de estos orígenes.

Cuando el objetivo de una plantación es la restauración del "bosque degradado", es interesante pensar con qué criterios se seleccionará el material genético a implantar. La restauración

puede ser entendida como "el proceso de asistir al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido" (SER 2004 citado por PNRBN, 2018), o bien como una "rehabilitación". Esta no implica llevar al ecosistema degradado a un estado original, sino que se enfoca en el restablecimiento de manera parcial de elementos estructurales o funcionales para recuperar la productividad y los servicios ambientales del mismo. Otra forma de entender la restauración es la "recuperación", la cual tiene como objetivo retornar la utilidad del ecosistema sin tener como referencia el estado pre-disturbio, reemplazando un ecosistema degradado por otro productivo (PNRBN, 2018). En cualquiera de los casos, estas plantaciones deberán considerar la incertidumbre del cambio climático ya que los genotipos que seleccionamos hoy para un determinado ambiente probablemente no sean los más adecuados en un par de décadas (Gallo, 2013). En consecuencia, es necesario mantener la diversidad genética como insumo para la adaptación de la especie y esto implica mantener una base genética amplia tanto en huertos o rodales semilleros de donde se cosecha la semilla como en las plantas que se llevan a campo.

En Santiago del Estero la restauración de áreas degradadas se realiza principalmente con algarrobo blanco. Los viveros que producen las plantas obtienen las semillas de árboles o rodales establecidos en la zona de riego y los criterios de selección son en la mayoría de los casos madereros (altura, diámetro y forma). Teniendo en cuenta lo antes dicho, urge una revisión en las prácticas forestales en cuanto se trate de "restauración" y considerar la diversidad genética como la única forma que tendrán los ecosistemas para adaptarse al cambio climático.

3. Las repoblaciones forestales ante el desafío de la adaptación a los cambios

Los bosques cultivados han sido implantados con múltiples y diversas funciones a lo largo de la historia, para el bienestar de las sociedades, entre las que se destaca la importancia de los servicios ecosistémicos. Sea cual fuere el objetivo para el que fueron creados, el silvicultor dispone de una variada gama de medidas y técnicas silvícolas para implementar en la gestión de las masas forestales y conseguir así el objetivo propuesto.

Diversos estudios describen los beneficios directos e indirectos del uso del algarrobo. Su plasticidad fenotípica es aprovechada para promover las plantaciones de esta especie en la región Chaqueña, considerando el doble rol que pueden cumplir, un fin productivo en sitios donde las condiciones de crecimiento son las adecuadas y un rol ecológico fundamental para la rehabilitación de áreas que han sido degradadas. El uso de especies tolerantes a la salinidad en las forestaciones es una de las alternativas productivas para la recuperación de suelos degradados o afectados por salinidad.

Cuando se hace referencia a "condiciones del sitio" adecuadas para algarrobo, indefectiblemente se incorpora el concepto de calidad de sitio, que se define según Prodan et. al. (1997) como la respuesta en el desarrollo de una determinada especie a la totalidad de las condiciones ambientales existentes en un determinado lugar. En plantaciones forestales cuyo propósito es generar un servicio de provisión (madera, frutos) la calidad de sitio se define como su potencial para la producción de dicho servicio, considerando que las mejores calidades tendrán mayor producción (Clutter et al., 1983). Ahora, si el objetivo es proveer un servicio de regulación (por ejemplo, protección del suelo, agua, entre otros), la productividad de la especie no debería ser el eje a trabajar, más bien sería oportuna la selección de materiales genéticos adecuados a condiciones

extremas como las que se dan en situaciones de degradación, pérdida de cobertura, ocurrencia de incendios.

El crecimiento de plantaciones de algarrobo está influenciado por el sitio donde crecen, así lo expresa Senilliani (2021), en relación al impacto de factores fisiográficos y propiedades físico-químicas del suelo en el desarrollo de la especie. Por esto, se puede inferir que el crecimiento está condicionado negativamente por la conductividad eléctrica y demás parámetros característicos de las condiciones de salinidad en los suelos. Esta aseveración será de importancia si pensamos en forestaciones para producción de madera a mediano plazo, sin embargo, como ya expresamos anteriormente la plasticidad fenotípica de la especie permite su sobrevivencia y reducido crecimiento en condiciones salinas, con un establecimiento progresivo en el sitio, permitiendo la recuperación de los suelos en un rol ecológico.

Una primera aproximación en la estimación de la capacidad productiva de los sitios para algarrobo blanco se expresa a partir de estudios de calidad de sitio que han permitido definir tres calidades representativas del comportamiento de la especie para Santiago del Estero destinada a la zona típica de forestación: calidad I (buena), II (regular) y III (mala). La determinación de estas calidades de sitio es una herramienta importante que permite en el área de riego de la provincia realizar una correcta selección de un sitio para plantación (Figura 4) de acuerdo al objetivo que se persigue.

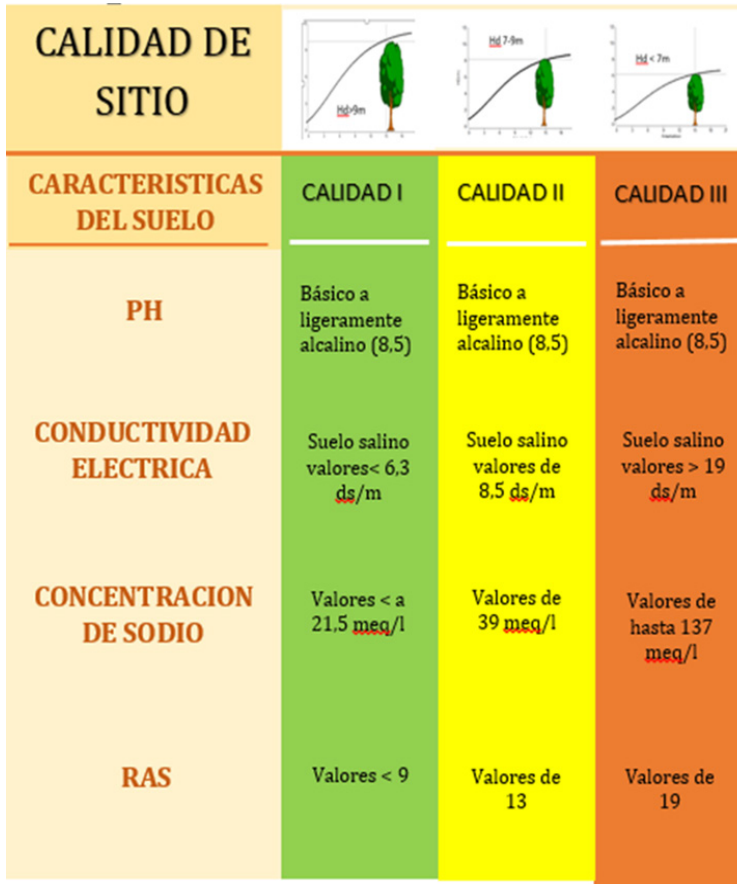


Figura 4. Valores indicadores de las características edáficas relacionadas a las clases de calidad de sitio

Para avanzar en una adecuada zonificación de la actividad de plantación con esta especie se recomiendan las calidades de sitio I y II para forestación con fines de obtención de servicios de provisión (madera y frutos) y la calidad III, debido a su baja productividad, podría destinarse a la producción de frutos y

servicios ecosistémicos de regulación, entre ellos la recuperación de áreas degradadas.

La provincia de Santiago del Estero, cuenta con ambientes salinizados generando ecosistemas degradados en estado de abandono desde el punto de vista productivo. Esta situación ha generado, en muchos casos, a nivel de finca, el abandono de predios que han perdido rendimiento en los cultivos. En este contexto, es importante contar con una propuesta productiva sostenible para recuperar estas áreas, promover la infiltración y mejorar las condiciones químicas y físicas del suelo (Cisneros et al., 2008), conjuntamente con la implantación de especies leñosas tolerantes a la salinidad, y en este aspecto el algarrobo posee gran potencial.

Existen algunas experiencias donde se han realizado plantaciones con algarrobo blanco en lotes con historia de uso agrícola y posterior abandono por su baja producción en áreas de riego del Río Dulce (Chaco Semiárido de Santiago del Estero), donde se pudo evaluar el grado de mejora y restauración abiótica del suelo. Las condiciones iniciales del suelo fueron salino-sódicas con reacción ligeramente alcalina, altos valores de conductividad eléctrica y pH mayores a 8. La acumulación de sales uniforme en el perfil confirmó que existió un proceso de salinización por ascenso capilar de la napa. Cuando la plantación registra 11 años de edad, ya se perciben cambios que se profundizan a los 20 años de realizada la plantación, se percibe un menor pH y una disminución en la concentración de sales (principalmente sodio) en los primeros horizontes (Sarmiento et al,2021). Si bien la conductividad eléctrica supera los 4 dSm-1 (que por clasificación indica suelos salinos), los valores de salinidad decrecen de 21 dSm-1 a 6.3 dSm-1. La respuesta en crecimiento de algarrobo en este tipo de suelos con alto nivel de salinización fue notable, registrándose un incremento medio anual del diámetro de 1,34 cm/año. El crecimiento de la altura de los árboles dominantes, indicaron que desde la fase

juvenil de la plantación hacia la fase adulta se registró una variación del índice de sitio.

En conclusión, en la rehabilitación de sitios degradados con las características descriptas, la incorporación del componente forestal con especies del género Neltuma puede aportar cambios significativos en los parámetros edáficos, contribuyendo a la acumulación de materia orgánica, a equilibrar el pH y básicamente disminuir el tenor en la conductividad eléctrica, permitiendo la lixiviación de las sales en el perfil. La cobertura arbórea y herbácea cumple un rol clave en la disminución de la evaporación de los suelos, factor determinante en el ascenso de las sales y acumulación de las mismas en su superficie. Este estudio constituyó una primera aproximación hacia la restauración abiótica del sistema, siendo necesario continuar el análisis sobre el componente biótico.

4. La madera de algarrobo blanco como biocombustible

Se denomina dendroenergía a la energía derivada directa o indirectamente de la biomasa leñosa, que corresponde al poder calorífico neto del combustible (FAO, 2004). Comprende toda la energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos primarios y secundarios derivados de los bosques, árboles y otra vegetación de terrenos forestales.

Según FAO (2017), la energía de origen forestal es crucial para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible de asegurar una energía asequible, responsable, sostenible y moderna para todos en 2030. Actualmente, proporciona el 40% del suministro mundial de energía renovable, tanto como la energía solar, hidroeléctrica y eólica juntas y cerca del 50 % -1860 millones de m3- de la producción de madera mundial, se emplea para producir energía.

Su popularidad es cada vez mayor en los países desarrollados. La producción de pellets de madera, por ejemplo, aumentó un 42% desde 2012 hasta 2015. Además, 2400 millones de personas en todo el mundo usan la madera como combustible para cocinar, hervir el agua para beber y calentar sus casas y más de 700 millones de mujeres dedican la mitad de su jornada a la recolección de madera para combustible, producción y comercio. Finalmente, 65 millones de personas desplazadas de sus hogares por desastres dependen de la energía de origen forestal para sus necesidades de energía básicas.

Así presentada, la madera es el biocombustible sólido más conocido y utilizado por las personas desde tiempos remotos debido al poder calorífico que de ella se desprende, una vez comenzada la ignición. Se distingue la leña que consiste en madera que combustiona en forma directa, y el carbón vegetal, las briquetas, los pellets, las astillas, el aserrín, entre otros, según sus usos: en economías de subsistencia, para fines comerciales o para fines industriales.

Un aspecto importante de los biocombustibles sólidos es su contenido de cenizas, que indica la cantidad de materia sólida no combustible por kg de material. Los principales elementos que constituyen las cenizas de la madera son el aluminio (Al), el calcio (Ca), el hierro (Fe), el potasio (K), el magnesio (Mg), el manganeso (Mn), el sodio (Na), el fósforo (P), el azufre (S), el silicio (Si) y el cloro (Cl), que, aunque no poseen un valor energético, contribuyen a la determinación del poder calorífico a través de las cenizas que generan disminuyendo la capacidad calórica del combustible (Ngangyo Heya et al, 2016). Es decir, mientras más cenizas contengan los biocombustibles más disminuirá su poder calorífico, siendo la característica fundamental de un biocombustible.

Todas las formas de biomasa tienen poder calorífico, el cual se expresa como la cantidad de energía por unidad masa de la sustancia; por ejemplo, joule por kilogramo o kilocalorías por

kilogramo. Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente. El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa (Ludueña et al., 2021). De acuerdo a Vega-Nieva et. at (2015), es la característica fundamental que define a un combustible como tal y depende básicamente de la composición química del combustible.

Se ha determinado el valor de 4616,67 kcal/kg para el algarrobo blanco. Como referencia, la leña más solicitada del Parque Chaqueño para su uso como dendrocombustible es la de *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco), sobre cuya madera se determinó un valor de 4.696,67 kcal/kg. Estos datos presentan al algarrobo blanco como una excelente opción para su uso en este sentido.

Al respecto, la Región Chaqueña tiene potencial para la producción de cultivos forestales de manera amigable con el ambiente y que contribuyan a la generación de dendroenergía. En este sentido, en la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la UNSE se está evaluando la capacidad dendroenergética del material genético de algarrobo blanco, para la generación eficiente de energía, proveniente del ensayo instalado (Figura 5). Esto permitirá el desarrollo de plantaciones adaptadas a las condiciones locales con material seleccionado con fines dendroenergéticos que podrían generar altas ganancias en la producción de biomasa disminuyendo así la presión sobre el bosque nativo.

La biomasa forestal, especialmente en plantaciones forestales, puede ser obtenida tanto en aprovechamiento final como en tratamientos silviculturales, pudiendo ser productos principales de los aprovechamientos y/o ser un producto secundario de los mismos, como el raleo.

El aprovechamiento del material del raleo no sólo permite disminuir los residuos de cosecha, sino que también permite aumentar el margen de rentabilidad económica de la actividad

forestal debido a la máxima obtención de productos por intervención. Esto es posible gracias al procesamiento de lo que antes se consideraba un residuo forestal, como ramas, despuntes y madera fina, transformándose ahora en un subproducto con valor comercial, como lo son los "chips" de residuos forestales.



Figura 5. Planificación y recorrida realizada por investigadoras e investigadores de la FCF UNSE, en Ensayo Genético de algarrobo blanco (Neltuma Alba), ubicado en Santa María, Dpto. Capital, Santiago del Estero.

5. Conclusiones

El algarrobo blanco presenta una alta variabilidad genética y los estudios realizados indican que es necesario realizar una selección de materiales por orígenes para emprendimientos productivos o de restauración.

Diagnosticar en términos energéticos a la madera de algarrobo blanco y el residuo de raleos promoverá el mejor aprovechamiento de la especie y las plantaciones para estos fines.

El éxito de las plantaciones de algarrobo blanco dependerá, entre otros factores, de la calidad de sitio de implantación, siendo este determinante para el tipo de servicio de provisión (madera, frutos, ecosistémicos).

Referencias

Aerts, R. J., Barry, T. N., & McNabb, W. C. (1999). Polyphenols and agriculture: Beneficial effects of proanthocyanidins in forages. Agriculture, Ecosystems & Environment, 75(1-2), 1–12. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00062-6

Burkart, A. (1976). A monograph of the genus Prosopis (Leguminosae, Subfam. Mimosoideae). Journal of the Arnold Arboretum, 57(3), 219–249.

Carreras, R., López Escobar, A., & Zanichelli, N. (2022). Santiago del Estero: Avances de la provincia en la planificación estratégica de los bosques nativos en el marco de la Ley 26.331. Argentina Forestal. https://www.argentinaforestal.com/2022/11/29/planificacion-estrategica-de-los-bosques-nativos-en-santiago-del-estero/

Carreras, R., Bessega, C., López, C. R., Saidman, B. O., & Vilardi, J. C. (2016). Developing a breeding strategy for multiple trait selection in Prosopis alba Griseb., a native forest species of the Chaco Region in Argentina. Forestry: An International Journal of Forest Research, 89(1), 1-12. https://doi.org/10.1093/forestry/cpw032

Carreras, R., García, M., López, C. R., Cisneros, F., Bessega, C., Saidman, B. O., Vilardi, J. C., & Nazareno, M. (2015). Cuantificación y evaluación genética de taninos en el follaje del algarrobo blanco para su aplicación forrajera. Quipu Forestal, 1(1), 24–25. https://doi.org/10.2422/2422-7560

Castillo Slawycz, R., & Carreras, R. (2017). Variación genética en la fijación de carbono en fustes de algarrobo blanco. En Actas del 2° Congreso Internacional del Gran Chaco Americano (pp. 1198). Bellas Alas Editorial.

Carreras, R., Cisneros, E. F., López, C. R., Bessega, C., & Saidman, O. B. (2013). Caracterización molecular y morfológica de orígenes de Prosopis alba (Leguminosae). En Actas del 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano.

Cisneros, J., Degioanni, A., Cantero, J., & Cantero, A. (2008). Caracterización y manejo de suelos salinos en el área pampea-

na. En Manejo de suelos salinos (pp. 17-46).
Clutter, J., Fortson, J., Pienarr, L., Brister, G., & Bailey, R. (1983). Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley & Sons.
Fundación Ambiente Recursos Naturales (FARN). (2020). Argentina incendiada. Lo que el fuego nos dejó. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/12/DOC_ARGENTINA-INCENDIADA_links.pdf
FAO. (2004). Terminología unificada sobre la bioenergía (TUB). Terminología de los dendrocombustibles sólidos. http://www.fao.org/3/j6439s/j6439s00.htm
FAO. (2017). Bosques y energía. https://www.fao.org/forestry/es/
FAO. (2018). El estado de los bosques del mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo. https://www.fao.org/3/cb1468es/cb1468es.pdf
FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. https://www.fao.org/documents/card/es/c/ca8753en/
Fontana, M. L., Pérez, V. R., & Luna, C. V. (2018). Evolutive characteristics of Prosopis spp.: Cytogenetic, genetic and hybridizations. Rodriguésia, 69(2), 409-421. https://doi.org/10.1590/2175-7860201869212
Frassoni, J. E. (2021). Diversidad morfológica y adaptativa de poblaciones y progenies de Prosopis alba Grisebach del Parque Chaqueño argentino y Espinal frente al cambio climático (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Córdoba. http://hdl.handle.net/11086/28198
Gallo, L. (2013). Domesticación y mejora de las especies forestales nativas para la incertidumbre climática. Producción Forestal, 3(7), 39–42. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/revista-produccion-forestal/07.pdf
Gayoso, J. (2000). Proyectos forestales para mitigación del cambio climático. En Seminario El mercado del carbono – Realidad y perspectivas (pp. 63). FONDEFINFOR-UACH.
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change. https://archive.ipcc.

ch/publications_and_data/ar4/wg2/es/annexsanexo-1.html

Ludueña, M., Carreras, R., Jiménez, V., Carranza, M., & Gulotta, M. (2021). Parque Chaqueño Argentino: Aplicaciones dendroenergéticas. En Sistemas de biomasa y bioenergía: Casos ejemplares en Iberoamérica. Hacia una sustentabilidad bioenergética territorial (pp. 267–296). CYTED Ediciones. ISBN: 978-84-15413-40-0.

Ngangyo Heya, M., Foroughbakhch, R., Carrillo-Parra, A., & Colín-Urieta, S. (2016). Compuestos inorgánicos de la madera en la combustión. En Química de los Materiales Lignocelulósicos y su Potencial Bioenergético. Sierke-Verlag.

Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático (PANByCC). (2017). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_accion_nacional_de_bosques_y_cc_0.pdf

Plan Nacional de Restauración de Bosques Nativos (PNRBN). (2018). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. https://faolex.fao.org/docs/pdf/arg196664.pdf

Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). Mensura Forestal.

Sarmiento, M., Brassiolo, M., & Senilliani, M. G. (2021). Parque Chaqueño: Rehabilitación de áreas degradadas con especies nativas/Prosopis. En Peri, Martínez Pastur, & Schlichter (Eds.), Uso sostenible del bosque, Aportes desde la Silvicultura Argentina (1a ed., pp. 1-20). Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Senilliani, M. G. (2022). La calidad de sitio como condicionante del crecimiento y la calidad de frutos de plantaciones de Prosopis alba Griseb en la provincia de Santiago del Estero, Argentina (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. ISBN 978-987-8922-09-6.

Taleisnik, E., & López Launestein, D. (2011). Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución argentina a este tema. Ecología Austral, 21(1), 3-14.

Vega-Nieva, D. J., Fernández Lorenzo, M., Ortiz Torres, L., & Corral-Rivas, J. J. (2015). Caracterización bioenergética de los residuos de cosecha de las principales especies forestales del noroeste de España. Información Tecnológica, 26(4), 03-12.

https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000400002

Venier, M. P., Cosacov Martinez, A., López Lauenstein, D., Vega, C., & Verga, A. (2013). Impacto del cambio climático sobre la distribución de Prosopis hassleri y P. alba en la región chaqueña. Producción Forestal, 3(7), 35-38. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Villagra, P. (2000) Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. Multequina 9 (2),35-51. https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal//multequina/indice/pdf/09_02/9_2_3.pdf

Villagra, P., Vilela, A., Giordano, C. and Álvarez, J. (2010). Ecophysiology of Prosopisspecies from the arid lands of Argentina: what do we know about adaptation tostressful environments? Pp. 321-340 en: Ramawat, KG (ed.). Desert Plants. Springer.Berlin. Germany.

UCAR. Unidad para el Cambio Rural. (2014). Argentina: Plantaciones Forestales y Gestión Sostenible. Buenos Aires, Argentina, Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación. http://forestoindustria.magyp.gob.ar

DESARROLLO DE BANCO DE PRUEBA PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS DE TUBOS HEAT PIPE

Enzo V. Storniolo[1], Carlos A. Cattaneo[2], Aníbal O. Gomez Khairallah[2]

Resumen

El presente trabajo busca brindar una herramienta tecnológica que contribuya con la problemática dada por las dificultades que surgen para ensayar prototipos de tubos Heat Pipe (HP) en condiciones de campo con el banco de prueba que actualmente se dispone para tal fin. Dichos tubos están destinados al aprovechamiento del recurso solar para calentamiento de aire en aplicaciones agro-productivas en el medio local. Se describe las etapas de diseño, construcción, puesta a punto y pruebas de un banco de pruebas de laboratorio, estableciendo

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Departamento Académico de Electricidad. Cátedra de Maquinas Eléctricas. Santiago del Estero, Argentina
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Departamento Académico de Mecánica. Cátedra de Ciencia de Materiales. Santiago del Estero, Argentina.

condiciones similares al banco de campo. Se presenta además un modelo simplificado que describe el fenómeno asociado al mecanismo de funcionamiento los tubos HP, planteando expresiones que permitan determinar, a partir de mediciones, su conductividad térmica y resistencia térmica para conformar la hoja de datos característicos del elemento ensayado. Los primeros ensayos realizados permiten concluir que el banco constituye una herramienta útil para determinar estos parámetros térmicos. Al comparar las mediciones con las realizadas en el banco de prueba existente, se encuentran resultados semejantes, con leves diferencias dadas por las condiciones de funcionamiento en cada caso.

Palabras clave: Heat Pipe, Colectores solares, Banco de prueba de tubos Heat Pipe

1. Introducción

Dada la imperiosa necesidad de desarrollar tecnologías amigables con el medio ambiente que puedan ser aplicadas en todos los ámbitos de la sociedad, en combinación con el abundante recurso solar disponible en la región, susceptible de ser aprovechada ya sea con fines eléctricos, térmicos, etc., se considera que la utilización de tubos del tipo Heat Pipe brinda una oportunidad para el caso de aprovechamiento térmico. Por lo tanto, es oportuno brindar facilidades para el estudio e investigación de esta tecnología, favoreciendo su pronta implementación para aplicaciones agro-productivas en el medio local. Un sistema Heat Pipe puede utilizarse para el secado de productos alimenticios en pequeños emprendimientos, siendo un sistema accesible, eficiente y de fácil implementación, facilitando el desarrollo productivo y económico de pequeños productores.

El presente trabajo busca brindar una herramienta que contribuya con la problemática dada por las dificultades que surgen para ensayar tubos Heat Pipe en condiciones de campo con el banco de prueba actualmente disponible en para su estudio por parte del equipo de trabajo que aborda a diario esta temática por medio del sistema de investigación de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Dichos tubos están destinados al aprovechamiento del recurso solar para calentamiento de aire en prototipos de secaderos de alimentos en la provincia.

1.1 Tubos Heat Pipe

Existen distintas clasificaciones de tubos Heat Pipe, siendo una de las principales aquella que los distingue entre los que cuentan con mecha para bombeo capilar, y los termosifones bifásicos.

El termosifón bifásico constituye el tipo más sencillo de Heat Pipe, como vemos en la figura 1. El mismo cuenta con un determinado grado de llenado de un fluido de trabajo con capacidad de cambio de fase (como lo es el agua, metanol, etanol, etc.) en el interior del tubo sellado, al cual previamente se le realiza vacío. El extremo inferior del tubo es calentado por medio de una fuente de calor, el cual se desea transportar, ya sea para evacuación o para aprovechamiento en aplicaciones de interés. Este calor produce la evaporación del fluido de trabajo, donde, por la presión de vapor resultante, se desplaza hacia el extremo superior, condensándose y liberando su calor latente de vaporización al sumidero de calor provisto. El condensado retorna hacia el extremo evaporador por gravedad, dando origen a un proceso cíclico de transmisión de calor.

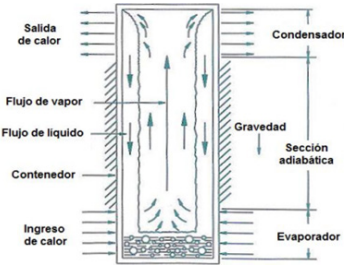


Figura 1: Sistema termosifón bifásico

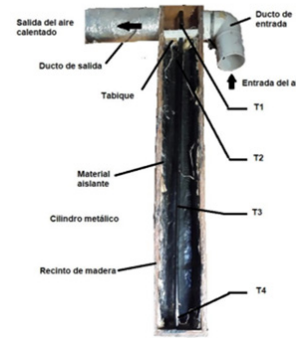


Figura 2. Partes del banco de ensayo de campo

Por lo tanto, existe un fenómeno de transferencia por calor latente de vaporización y condensación, mediante el cual se puede transferir cantidades mucho mayores de calor para un sistema geométricamente equivalente respecto al caso de transferencia por calor sensible. Esto se explica por un incremento de la capacidad calorífica en el primer caso. En los sistemas de una sola fase, la capacidad calorífica depende del cambio de temperatura del fluido de trabajo, por lo que, se necesitan grandes gradientes de temperatura o un gran flujo másico para transferir grandes cantidades de calor. En contraste, con el incremento de la capacidad calorífica asociada al cambio de fase del fluido de trabajo, se requieren flujos másicos considerablemente menores para transportar una cantidad equivalente de calor, para un rango de temperaturas dado. Debido a las características de este sistema, se cuenta con la limitación de que la zona condensadora debe estar situada en el extremo superior del tubo. Como ventaja, su construcción es sencilla, lo que repercute, a su vez, en un menor costo.

1.2 Aplicaciones de tubos Heat Pipe

En la actualidad, existen múltiples sistemas tecnológicos en los cuales se requiere importantes tasas de transferencia de calor para funcionar correctamente. La complejidad de estos sistemas es diversa, abarcando desde el secado de productos alimenticios en la industria local, hasta el óptimo funcionamiento de sistemas electrónicos como los presentes en los smartphones o en la industria aeroespacial. (Bar-Cohen et al., 2015)

Los colectores solares son equipos que forman parte de Sistemas Solares Térmicos y son diseñados para transformar energía radiante recibida desde el sol en energía térmica que es aprovechada, por ejemplo, para el calentamiento de un fluido. En un colector construido con tubos Heat Pipe, estos constituyen el medio de transporte de la energía capturada hacia el fluido caloportador.

La inclinación de un sistema solar térmico influye en su funcionamiento. Si la aplicación pretende maximizar la energía anual, un valor de inclinación igual a la latitud del lugar suele ser suficiente (por lo tanto, en Santiago del Estero, se adopta 27°). (Subsecretaría de Gobierno de Energía, 2019).

1.3 Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta la naturaleza continuamente transitoria del fenómeno de la transmisión de calor en tubos Heat Pipe para aplicaciones de calentamiento de aire, se presenta un complejo análisis y modelado para la cuantificación de los parámetros térmicos, por lo que se considera necesario el desarrollo de un método experimental para la validación de las características de funcionamiento.

Actualmente, se cuenta con un arreglo experimental para realizar mediciones en condiciones de campo, mediante el cual se pueden obtener parámetros térmicos que caracterizan

el funcionamiento de tubos Heat Pipe. El estudio de la caracterización de los tubos mediante este arreglo fue publicado en diversos trabajos, tales como "Determinación de variables térmicas de Heat Pipe tubulares, utilizados en colectores solares para calentar aire" (Cattaneo et al, 2021) y "Colector solar tubular heat pipe para el calentamiento de aire" (Togo et al., 2020).

Si bien este sistema permite probar el funcionamiento del tubo en condiciones reales, presenta ciertas desventajas. Se ha observado que las fluctuaciones en las condiciones medio ambientales de ensayo constituyen una problemática para la medición de los parámetros que caracterizan el funcionamiento de los tubos Heat Pipe, debido a que la posibilidad de realizar ensayos queda sujeta a la existencia de condiciones favorables de radiación solar. Por otro lado, las condiciones variables mencionadas tienen como consecuencia una baja repetibilidad en las condiciones de ensayo, lo que dificulta la comparación directa de los parámetros de distintos tubos. Por último, con el equipo actual no se pueden imponer distintos valores de flujo de calor o de temperatura exterior para poder estudiar el comportamiento del tubo en distintas condiciones.

1.4 Descripción mínima de la solución propuesta

En base a la detección de la necesidad observada, se considera conveniente el desarrollo de un banco de ensayo de laboratorio, en el cual se pueda analizar el comportamiento de los tubos ante distintas condiciones de funcionamiento. Además, se considera factible la construcción de este banco con otra utilidad adicional, la cual sería su uso como herramienta didáctica. Para ello, se plantea un diseño que permita la observación de la variación del comportamiento de un fluido en distintos regímenes, así como la posibilidad de emplearlo para evaluar aislaciones térmicas en prácticas de laboratorio.

2 Banco de ensayo actual

Las partes principales del equipo con el que se cuenta para ensayos en campo, se muestran en la figura 2. El tubo Heat Pipe se encuentra encerrado en una estructura, con forma de caja, de madera y de polímero diseñada para trabajar como colector solar. Dicha caja cuenta con forma de paralelepípedo de base rectangular con medidas interiores de 1,21 m x 0,14 m x 0,08 m construido en madera fenólica y recubierto en los costados con material aislante (lana de vidrio con foil de aluminio de 50 mm de espesor), la cual se encuentra pintada de color negro mate.

El recinto se encuentra dividido en dos compartimentos separados por un tabique; el compartimento inferior es la zona colectora de radiación solar donde se encuentra casi la totalidad del tubo, esta tiene una longitud de 1,1 m. El tabique deja en la parte superior un espacio de 0,12 m que es la zona de condensación del fluido de trabajo; en este compartimento es donde se produce la transferencia de calor desde los tubos hacia el aire (fluido caloportador); para lograr esto, en el costado derecho se encuentra un codo que cumple la función de ducto de entrada, permitiendo 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 PVC de 100 mm de diámetro.

3 Modelo térmico en colector Heat Pipe

Como indica Cattaneo (Cattaneo et al., 2021), se considerará que el flujo de calor entregado hacia el Heat Pipe es ganado por el aire circundante en la zona condensadora. Además, se puede determinar su valor mediante la ecuación 1:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a C_a \, \Delta T_a \qquad \textbf{(1)}$$

donde:

$\dot{Q}$:es el flujo de calor que entrega el Heat Pipe (W)

$\dot{m}_a$:es el flujo másico de aire en la zona condensador **(kg/s)**

C_a: calor específico del aire en (J/ (kg °C))

ΔT_a: diferencia entre la temperatura de salida y de entrada del aire en la zona condensador

A partir de esto, se plantean modelos térmicos para la determinación, en base a los resultados experimentales, de variables térmicas que caracterizan el funcionamiento de un tubo Heat Pipe.

En primer lugar, se propone la aplicación de una analogía eléctrica a un sistema de transmisión de calor, con la cual podemos estimar la resistencia térmica del sistema (Holman, 1986). Esta resistencia térmica, la cual engloba las consecuencias de los fenómenos de transferencia de calor involucrados (conducción, convección), indica la oposición del sistema a la transferencia de calor desde la zona de alta temperatura (colector) hasta la zona de baja temperatura (condensador). Podemos calcular la resistencia térmica del dispositivo, considerando la diferencia entre la temperatura media del tubo en la zona colectora y la temperatura media del tubo en la zona condensadora, dividiendo esta diferencia por el flujo de calor que es entregado.

$$R_{te} = \frac{\Delta T_{c-c}}{\dot{Q}} \qquad \textbf{(2)}$$

donde:

R_{te} :es la resistencia térmica (°C/W)

ΔT_{c-c}:es diferencia entre la temperatura media del tubo en la zona colectora y la temperatura media del tubo en la zona condensadora (°C). Dichos valores medios se obtienen al promediar mediciones a lo largo de las respectivas zonas.

En segundo lugar, se propone un modelo en el cual se considera al tubo Heat Pipe como una barra maciza. Para ello, la trasmisión de calor se da desde la zona colectora, foco caliente, a la zona condensadora, foco frio. (Brusly Solomon, 2016).

A partir de esta equivalencia, podemos aplicar la ecuación

de calor de Fourier para estimar el coeficiente de conductividad térmica efectivo del mecanismo:

$$k_{ef} = \dot{Q} \frac{L_{ef}}{A\,\Delta T_{c-c}} \quad \textbf{(3)}$$

donde:

k_{ef} :coeficiente de conductividad térmica efectivo (W/(m °C)), el cual nos permite cuantificar y comparar las cualidades del sistema

A :es el área transversal del Heat pipe

L_{ef} :es la longitud efectiva del Heat pipe, la cual se calcula:

$$L_{ef} = \frac{L_{colector} + L_{condensador}}{2} \quad \textbf{(4)}$$

En ingeniería, es común definir un parámetro de rendimiento para cuantificar que tanto de la energía que ingresa en un sistema puede ser aprovechada. Por lo tanto, se considera pertinente la utilización de la ecuación desarrollada por Duffie y Beckman (Duffie, 2013) para determinar el rendimiento instantáneo del colector.

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_c\, I_i} \quad \textbf{(5)}$$

donde es el área del colector en m2 (se consideró el área del recinto donde el tubo absorbe la radiación solar) e i es la intensidad de la radiación instantánea en W/m2.

4 Banco de ensayo de laboratorio

Para emular las circunstancias presentes en el equipo experimental actualmente utilizado, se establecen las siguientes condiciones de borde para el diseño, selección de elementos constitutivos y construcción del banco de laboratorio:

- El fluido caloportador en la zona condensadora será aire
- Se busca emular la transmisión de calor uniforme en la zona evaporadora producto de la radiación solar
- Se buscará el mayor aislamiento posible entre las distintas zonas del equipo y, por lo tanto, disminuir las pérdidas de calor, de forma que todo el calor trasmitido en la zona evaporadora sea constante y transferido al fluido caloportador de la zona condensadora
- La zona adiabática del sistema HP que se ensayara debe ser lo más pequeña posible
- Se optimizará el diseño de forma que se pueda realizar su construcción, considerando los recursos disponibles

Se observa en la Figura 3, un código QR generado, mediante el cual se puede acceder a contenido multimedia explicativo sobre el funcionamiento del banco construido y sus partes, utilizando, para ello, la cámara de un smartphone.



Figura 3. Código QR vinculado con video explicativo del banco de ensayo y sus partes

A continuación, se detallan las partes constitutivas de banco construido.

4.1 Zona evaporadora

Para emular la radiación incidente, se propone un baño de agua confinando al tubo, calentándolo a través de una resistencia, regulando la potencia consumida o determinando una temperatura de trabajo. Se consideró como la alternativa más fiel a la realidad, ya que se supone un flujo de calor aproximadamente uniforme desde el baño hacia el tubo, similar a la situación real de radiación sobre el tubo.

Para lograr una gran versatilidad en las condiciones de funcionamiento de la zona evaporadora, permitiendo simular distintas condiciones de radiación solar incidente, se incluyen dos lazos de control al sistema: la potencia disipada por la resistencia eléctrica y la temperatura del baño de agua. Es conveniente resaltar que el controlar cualquiera de estas variables, imposibilita el control de la restante, al ser variables dependientes.

Para controlar la potencia disipada en la resistencia, se propone utilizar la lectura de un equipo de medición de la potencia consumida por la resistencia, como parámetro de comparación con la potencia deseada, ajustando la diferencia mediante la utilización de un dimmer que ajuste la tensión en bornes de la resistencia. El equipo seleccionado para el control de potencia es un medidor de consumo eléctrico, con un display indicador de los valores de potencia, tensión, corriente y energía consumida en el sistema.

Para el control de la temperatura del baño, se propone un controlador digital, modelo Gaynor PH96. Este es un instrumento que controla la temperatura de un proceso, midiéndola a través de una termocupla, y pudiendo establecer distintas configuraciones de control. Una de las configuraciones posibles, permite mantener la temperatura en un valor preestablecido, utilizando para ello un sistema de control PID. Otra de las configuraciones posibles, es un tipo de control ON-OFF. En ambos casos, se trabaja con potencia eléctrica constante en la resistencia.

4.2 Resistencia eléctrica

De acuerdo con los valores registrados en trabajos anteriores por el equipo de investigación en relación al presente trabajo, la máxima irradiancia incidente registrada en un plano inclinado fue 1100 W/m^2. (Cattaneo et. al., 2021; Togo et. al., 2020; Togo et.al., 2022).

Se adopta este valor como referencia para calcular la potencia que debe poder disponer la resistencia seleccionada. Además, como se busca emular el funcionamiento del banco existente, utilizaremos en dicho cálculo el área de colección en la zona evaporadora del mismo.

Por lo tanto, se calcula la potencia que debe aprovecharse de la resistencia para representar las condiciones del banco de ensayo de campo:

$$P = S_{bancocampo} * I_{max} = 0{,}154\ m^2 * 1100 \frac{W}{m^2} = 169{,}4\ W. \qquad \textbf{(6)}$$

Se propone la utilización de una resistencia calefactora extraída de una cafetera eléctrica, la cual consume 1000 W al ser conectada a la tensión de la red.

Asimismo, el valor de voltaje necesario tomado como referencia para la disipación de la potencia máxima adoptada se calculada mediante la ecuación 7.

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow V = \sqrt{P * R} = \sqrt{200\ W * 52{,}4\ \Omega} = 102{,}37\ V. \qquad \textbf{(7)}$$

Teniendo en cuenta que la tensión disponible de la red es de 220 V, se utilizara una placa dimmer, con un potenciómetro, para poder variar este valor, tanto al valor de referencia como a distintos valores de prueba, variando los valores potencia de disipación, los cuales, a su vez, representan radiación incidente.

4.3 Montaje

Se propone la utilización de un caño metálico, por sus propiedades a las temperaturas de trabajo, concéntrico al tubo para contener al baño de agua, y cuyo calibre permita un cómodo montaje de todas las piezas y de las termocuplas.

Con el objetivo de cumplir con la suposición de que en estado estacionario existe igualdad entre el calor disipado en la resistencia y el transferido al fluido caloportador, debe aislarse el exterior del caño, lo que se logra rodeándolo con lana de vidrio ISOVER, modelo Rolac Plata Cubierta HR, de espesor 50 mm.

Se realizó un anillo de plástico con forma estrellada, el cual se coloca en la parte inferior del tubo Heat Pipe, para mantener su concentricidad dentro del caño.

Se realiza la impresión en 3D de una tapa para el caño, con un agujero que alojara un prensa estopas, destinado a sujetar el tubo Heat Pipe. Dicha tapa se atornillará con el cabezal de la parte condensadora, a través de una plataforma en su parte superior. Se observa a la pieza impresa en la Figura 4.

Para sostener la resistencia dentro del baño de agua, se fabrica una pieza hueca de aluminio, a la cual será atornillada. Se colocará en el interior del baño de agua, haciendo tope contra el caño. Para la obtención de la pieza, se llevó a cabo un proceso de moldeo y colada, y posterior torneado. Se observa en la Figura 5.

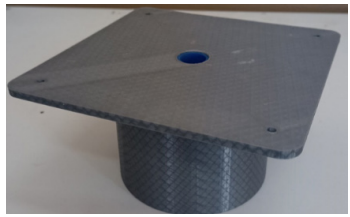


Figura 4. Tapa de zona evaporadora impresa



Figura 5. Pieza de aluminio fabricada para acoplamiento de resistencia

4.4 Zona condensadora: Cabezal túnel de viento

Se decidió diseñar una zona condensadora que funcione como un túnel de viento, y que será acoplado, como cabezal, a la tapa de la zona evaporadora. El ingreso del aire circundante se producirá a través de un ducto de aire en uno de los extremos de este cabezal. En el otro extremo se acoplará un ducto de salida, conectado a una curva, en cuya salida se alojará una canalización hacia un equipo forzador de aire. El diámetro de los ductos determinara el calibre de los extremos del cabezal, que se diseñaran con sección circular.

Para representar las condiciones del banco existente, se prevé una sección rectangular para el paso de aire en la zona donde atraviesa al tubo Heat Pipe. A su vez, para mantener constante la velocidad de aire a través de todo el conducto, se considera una variación en la forma del túnel en la zona donde se encuentra el tubo. Esto último, a su vez, permite mantener la uniformidad de las líneas de corriente.

Con el objetivo de analizar la transmisión de calor en régimen laminar turbulento, se diseña un cabezal con forma conveniente, para su posterior impresión 3D.

Supondremos flujo turbulento totalmente desarrollado para (Cengel y Afshin, 2011), siendo este valor la condición de diseño. De acuerdo a experiencias realizadas en los trabajos de Cattaneo y Togo mencionados anteriormente, se obtuvieron muy buenos valores de rendimiento y de conductividad térmica de distintos tipos de tubos Heat Pipe (de cobre o acero, con uno o dos tubos) para caudales de aire de 0,004 m3/s.

Por lo tanto, se puede calcular el diámetro hidráulico conveniente mediante la ecuación 8.

$$Re = \frac{c * d_h}{\upsilon} = \frac{Q * 4}{\pi * \upsilon * d_h} \rightarrow d_h = \frac{Q * 4}{\pi * \upsilon * Re}. \qquad (\mathbf{8})$$

Por lo tanto, el diámetro hidráulico máximo:

$$d_{hmax} = \frac{Q * 4}{\pi * \upsilon * Re} = \frac{0{,}004 \left(\frac{m^3}{s}\right) * 4}{\pi * 1{,}51 * 10^{-5} \left(\frac{m^2}{s}\right) * 10000} = 0{,}0338\, m.$$

Siendo υ la viscosidad cinemática del aire para 20 °C (Cengel & Afshin, 2011)

Podemos relacionar el diámetro hidráulico con un conducto de sección rectangular de lados y mediante la ecuación 9 (Cengel y Afshin, 2011).

$$d_h = \frac{2 * a * b}{(a + b)} \qquad (9)$$

La zona condensadora del banco existente cuenta con 10 cm libres del tubo en la zona condensadora, siendo esta la condición que intentaremos emular. Si consideramos que b es la altura del cabezal, entonces deberá ser igual a 10 cm. Tomado este parámetro, calculamos el ancho máximo necesario.

$$b = 10\ cm \ \rightarrow a_{max} = \frac{d_h * b}{2 * b - d_h} = \frac{(3{,}38 * 10)cm^2}{(2 * 10 - 3{,}38)cm} = 2{,}03\ cm$$

Adoptamos un ancho de 1,5 cm, en ecuación (9) se obtiene 2 cm, lo que verifica la dimensión adoptada.

Con el objetivo adicional de poder utilizar este equipo para realizar experimentos didácticos en asignaturas de la carrera de Ingeniería Electromecánica e Industrial, se decide que en la parte superior del túnel se coloque un vidrio. Con este diseño, se podría, mediante la utilización de un fluido adecuado, observar el comportamiento de un flujo con régimen turbulento. Se observa la pieza, impresa en tres partes, en la Figura 7.

4.5 Control, medición e impulsión de flujo masico

Es condición indispensable que las mediciones cuenten con repetibilidad, para poder realizar comparaciones entre distintas experiencias, para lo cual se debe asegurar la constancia del flujo másico. Esto se puede verificar asegurando que no se

presenten fluctuaciones considerables en la medición del anemómetro. Para ello, se debe poder variar de forma continua la potencia consumida por el forzador de aire, de modo que, ante posibles variaciones del valor establecido, que pueden producirse por fluctuaciones en las pérdidas de carga, se mantenga la condición de flujo másico. Además, esto permite contar con la posibilidad de analizar la transmisión de calor para diferentes caudales de aire. Durante el ensayo se procederá a variar la posición de la perilla de control de un equipo dimmer para ajustar el valor leído en el anemómetro al valor requerido. Se utiliza un equipo extractor de aire de 150 W. A partir de mediciones, se verifica que el equipo puede impulsar el flujo requerido.

4.7 Medición de temperaturas

Se plantea la introducción de siete termocuplas. La primera de ellas, se coloca a dos centímetros del extremo inferior del tubo HP, en la zona evaporadora. La segunda, a dos centímetros por debajo del final de la zona evaporadora del mismo, también sobre el tubo. La tercera y cuarta se colocan en el medio de la zona evaporadora, una de ellas sobre el tubo, y la restante debe medir la temperatura del baño de agua.

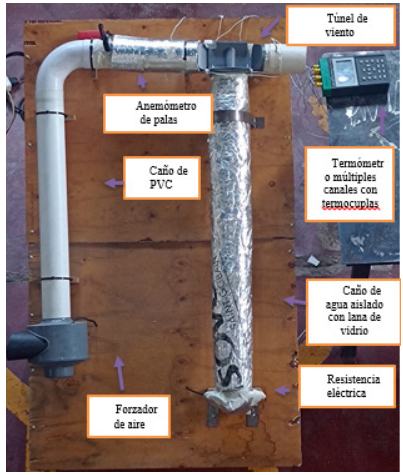
El banco de prueba contara, además, con una sobre el tubo en la zona condensadora y dos para la medición de temperatura de entrada y salida del aire.

Para visibilizar las mediciones de temperatura de las distintas termocuplas se utilizará un termómetro de múltiples canales.

Podemos concluir que el diseño previsto presenta una gran versatilidad, al brindar las siguientes variables de control; Potencia disipada a través de la resistencia eléctrica, Temperatura del baño de agua, Inclinación del tubo Heat Pipe, Longitud de zona adiabática y de evaporación, Caudal de aire circundante. El banco construido, con sus diversas partes, se observa en la Figura 6.

5 Ensayo en banco de laboratorio

Se realizaron diversos ensayos utilizando el banco de prueba construido (para distintos valores de potencia consumida por la resistencia, para temperatura fija, sin impulsión de aire, etc.), con lo cual se demuestra la versatilidad del equipo. En todos ellos, se determinaron los parámetros térmicos del tubo HP bajo las condiciones de cada ensayo, a partir de las mediciones tomadas. Se procuró observar el comportamiento del tubo al alcanzar un funcionamiento estable. El tubo Heat Pipe utilizado en los ensayos tiene un diámetro de 16 mm y un largo de 1,18 m. Se cargó con agua destilada como fluido de trabajo, con un grado de llenado del 20% de su capacidad total. Como se mencionó, se observan buenos rendimientos en el banco para velocidades de 1 m/s, siendo este el valor adoptado para la impulsión de aire en este ensayo.



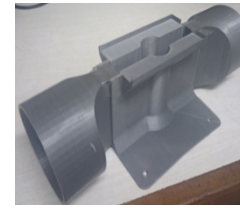


Figura 6. Banco de ensayo concluido, vista en plana

Figura 7. Túnel de viento para la condición de régimen turbulento impreso

Todas las curvas observadas en el presente trabajo, representan los valores corregidos de las mediciones, ya que se realizaron procedimientos de calibración en los instrumentos.

En uno de los ensayos realizados, se aumentó progresivamente la potencia disipada por la resistencia. El mismo duro se realizó en 18 horas ininterrumpidas. Durante las primeras 8 horas, se ensayó con el mínimo valor permitido por el elemento de control de potencia de la resistencia calefactora del baño, en promedio de 140 W, y luego con 170 W, valor equivalente a la irradiancia promedio medida en ensayos de campo (1100 W/m2). Se apuntaron mediciones de forma manual a intervalos regulares. Se observan las mediciones de las distintas termocuplas en la Figura 8.

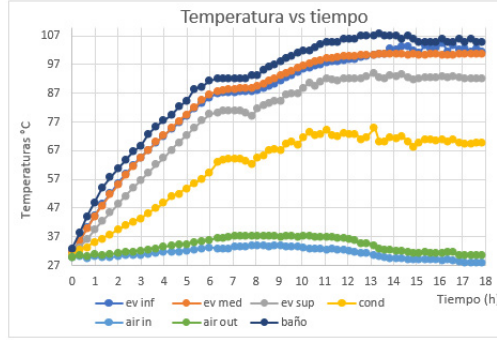


Figura 8. Temperaturas medidas para potencias sucesivas 140 W y 170 W en el parte inferior (ev inf), media (ev med), superior (ev sup) del evaporador, en el medio del condensador (cond), a la entrada (air in) y salida (air out) del aire, y en el baño de agua

El aumento de potencia se produce luego de la estabilización de los parámetros en 140 W. Se considera que las mediciones se es-

tabilizan una vez alcanzada la inercia térmica del sistema (punto donde se llega al equilibrio térmico del sistema en su conjunto).

En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se observa el flujo de calor, rendimiento, resistencia térmica y conductividad térmica.

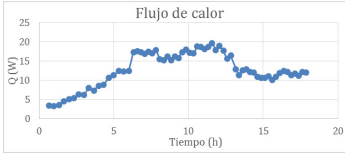


Figura 9. Flujo de calor al aire para las potencias sucesivas de 140 W y 170 W



Figura 10. Rendimiento para las potencias sucesivas de 140 W y 170 W

Se observa que existe una diferencia de temperatura entre la parte superior de la zona evaporadora y las partes medias e inferiores, aun al alcanzarse la estabilidad del sistema, lo cual concuerda con experiencias anteriores realizadas en las que se verifica el funcionamiento de tubos Heat Pipe tipo termosifón de cobre, con agua como fluido de trabajo. (Menlik, 2014). (Sarmasti Emami et al, 2008), (Temimy et al, 2021).



Figura 11. Resistencia térmica para las potencias sucesivas de 140 W y 170 W



Figura 12. Conductividad térmica para las potencias sucesivas de 140 W y 170 W

6 Discusiones

Se plantean las siguientes discusiones, en base a los resultados de los diversos ensayos realizados en el banco construido:

En cuanto al tubo ensayado, se verifica que la conductividad térmica efectiva es inversamente proporcional a la resistencia térmica, teniendo en cuenta el modelo propuesto de estudio mediante modelos paralelos. Además, los valores de conductividad térmica obtenidos son valores muy superiores a las conductividades térmicas de los metales puros; la conductividad térmica del cobre es 380 W/(mK). Esto verifica que los dispositivos Heat Pipe aumentan la eficiencia en la transmisión de calor desde la zona colectora a la zona condensadora del colector solar, respecto a una barra maciza de metal de las mismas dimensiones, para transportar calor.

A partir de las curvas de rendimiento, se deduce que gran parte del calor aportado por la resistencia se emplea, en primera instancia, en el aumento de temperatura del baño de agua, cuya curva, a su vez, presenta una forma ascendente, progresiva y regular en el tiempo. Transcurrido este periodo, la temperatura del baño de agua se estabiliza, lo que se asocia a una situación de equilibrio, infiriendo que el flujo de calor transferido desde el tubo HP al aire, se equipara al flujo de calor que la varilla HP está ganando del baño. Además, se consideran despreciables las pérdidas de calor por la aislación.

Al contrastar los valores obtenidos entre los ensayos del banco construido y los del banco de campo, se observa semejanza entre los mismos. Se espera que ambos resultados no sean iguales, debido a que los ensayos realizados en el banco de laboratorio fueron con un cabezal para régimen turbulento, mientras que en el banco de campo se considera la existencia de régimen laminar. Por otra parte, se puede explicar la leve disparidad de resultados teniendo en cuenta que las transferencias de calor se realizan a través de distintos modos en ambos bancos. En un caso, se cuenta con una exposición directa al sol, dando como resultado una transferencia de calor por

radiación, mientras que, en el otro caso, el medio que entrega calor al tubo es un baño de agua, lo cual supone una predominancia de la convección. Ambos mecanismos son gobernados por diferentes ecuaciones y fenómenos físicos. Asimismo, se debe considerar que en el banco construido se realiza un ensayo bajo condiciones controladas de laboratorio, en contraste con el ensayo en campo, el cual es afectado por distintos factores externos. Por lo tanto, se considera necesario realizar numerosas mediciones en el banco construido, para establecer una correlación directa con los resultados que se obtendrían en el banco de campo.

En los ensayos realizados con valores altos de potencia (200 W y 250 W), se observa una aproximación entre las curvas de temperatura a lo largo de la zona evaporadora, siendo levemente superior la temperatura en la parte inferior. Además, simultáneamente, se observa una caída abrupta de la temperatura en la zona condensadora. Estas observaciones permiten suponer, que, para esa potencia, el líquido de retorno se evapora casi inmediatamente en su regreso a la zona evaporadora, sin descender hasta la parte inferior de la misma. Esta situación, se corresponde con el límite de potencia del sistema, en el cual todavía se verifica el funcionamiento del mecanismo Heat Pipe.

Se observa, en el banco construido, que la respuesta del sistema no es tan rápida, debido a la inercia térmica del baño de agua, elemento acumulador de energía del conjunto. Esta respuesta permite que el sistema alcance un estado estacionario (situación de equilibrio), en contraste al banco de ensayo de campo, en el cual se observa un comportamiento constantemente transitorio, lo que no permite asegurar que se alcance un estado estacionario de funcionamiento.

7 Conclusiones

Se verifica que el banco de ensayo construido cumple exitosamente la función para la cual fue fabricado. El mismo presenta alta versatilidad para realizar ensayos, permitiendo parametrizar tanto potencia como temperatura del baño de agua, con la posibilidad de variar, a su vez, la inclinación de ensayo del tubo Heat Pipe, o la longitud de la zona evaporadora o adiabática. A su vez, se cuenta con la posibilidad de realizar ensayos con distintos flujos másicos de aire, al poder regular la velocidad del mismo. Complementariamente, se brindan facilidades en el equipo que podrían permitir la visualización de la variación del comportamiento del aire ante los distintos regímenes de flujo.

Se concluye, mediante comparación con valores registrados, que los resultados obtenidos en el banco de ensayo construido para los parámetros térmicos del tubo Heat Pipe, son coherentes.

Por último, en la Tabla 1, se observa la hoja de datos del tubo Heat Pipe estudiado, realizada a partir de los distintos ensayos realizados en el banco de prueba construido. De esta forma, se logró desarrollar una herramienta que pueda brindar facilidades para el estudio de aplicaciones de tecnología Heat Pipe en el ámbito local, y, a su vez, la misma cuenta con potencial didáctico para el desarrollo de laboratorios que abordan esta y otras temáticas como lo son la mecánica de fluidos y termodinámica propias de la carrera de Ingeniera Electromecánica ofertadas por la facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de universidad.

 Tubo Heat Pipe de cobre	Diámetro externo (in)	5/8
	Liquido interno	Agua
	Grado de llenado	30 %
	Longitud total (m)	1,21
	Longitud zona evaporadora (m)	1,105
	Longitud zona condensadora (m)	0,1
	Conductividad térmica con potencia nominal (W/m °C)	1543,3 W/m °C
	Resistencia térmica con potencia nominal (°C/W)	2,2
	Potencia límite de funcionamiento (W)	250

Tabla 1. Hoja de datos de tubo Heat Pipe, obtenida bajo condiciones de ensayo definidas

Referencias

Bar-Cohen, A. ; Matin, K. ; Jankowski, N. ; Sharar, D. (2015). *Two-phase thermal ground planes: technology development and parametric Results.* Journal of Electronic Packaging Vol.137, 010801-1 - 010801-9.

Brusly Solomon A., S. A. (2016). Analytical expression for thermal conductivity of heat pipe. Applied Thermal Engineering, 462-467.

Cattaneo, C., Gomez Khairallah, A., & Togo, P. (2021). *Determinacion de variables termicas de Heat Pipe tubulares, utilizados en colectores solares para calentar aire*. En C. UNSE, La investigacion cientifica en la Universidad Nacional de Santiago del Estero y sus aportes a la sociedad (págs. 1185-1203). Santiago del Estero: EDUNSE.

Cengel, Y., & Afshin, G. (2011). *Transferencia de calor y masa.* Cuarta Edicion. Mexico DF: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.

Duffie, J. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes. Fourth edition*. New Jersey: John Wiley & Son, Inc.

Holman, J. (1986). *Transferencia de calor*. Colonia San Juan Tlihuaca: Compañia Editorial Continental S.A.

Menlik, T., Sozen, A., Gürü, M., & Oztas, S. (2014). *Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe.* Journal of the Energy Institute, 247-257.

Sarmasti Emami, M., Noie, S., & Khoshnoodi, M. (2008). *Effect of aspect ratio and filling ratio on thermal performance of an two-phase closed thermosyphon*. Iranian Journal of Science & Technology, 39-51.

Storniolo, E. (2022). *Modelado por medio de bloques de sistemas colectores solares, basados en tecnologia de transferencia de calor tipo Heat Pipe placa plana para calentamiento de aire*. Santiago del Estero: Beca EVC - CIN.

Subsecretaria de Gobierno de Energia. (2019). *Introduccion a la Energia Solar Termica*. Ciudad Autonoma de Buenos Aires: Libro Digital.

, A., Abdulrasool, A., & Hamad, F. A. (2021). *Study of Heat Pipe Thermal Performance with Internal Modified Geometry*. Fluids, 1 -24.

Togo, P., Gomez Khairallah, A., & Cattaneo, C. (2020). *Colector solar tubular heat pipe para el calentamiento de aire.* Investigaciones en Facultades de Ingenieria del NOA N°6, 139 - 144.

Togo, P., Villalba, G., Gomez Khairallah, A., Cattaneo, C., Biasoni, E., Larcher, L., & Storniolo, E. (2022). *Analisis comparativo de colectores Heat Pipe tubular y de barra maciza de hierro, para calentamiento de aire.* En U. N. Salta, Libro de resumenes de las XV Jornadas de Ciencia y Tecnologia de las facultades de Ingenieria del NOA- Salta 2022 (págs. 370 - 373). Salta: Walter Orlando Vaca.

CALIDAD DE LA MATRIZ FORESTAL DEL TERRITORIO CAMPESINO INDÍGENA Y SU APORTE A LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO

Federico F. Rivas[1], María M. Abt Giubergia[2], Analía d. V. Guzmán[2], Miguel M. Brassiolo[2]

Resumen

Comunidades campesino-indígenas son aliados estratégicos en conservación de bosques sudamericanos, pero su aporte ha sido poco visibilizado y amenazado por procesos de deforestación y concentración de tierras. Partiendo de la delimitación de esta territorialidad, nos propusimos caracterizar la calidad de sus ambientes y evaluar su aporte a la conservación de servicios ecosistémicos relevantes para la Ley N° 26.331. Resultados muestran que esta área contiene 81% de bosques

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Protección Vegetal. Cátedra de Zoología. Santiago del Estero, Argentina.
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Cátedra de Silvicultura. Santiago del Estero, Argentina.

protegidos por ley, la mitad de ellos en Categoría I y corredores asociados, 74% de bosques Categoría II; la estabilidad de la matriz se confirma con el análisis de ocurrencia de incendios de los cuales 68,3% ocurren en ambientes externos al área. Concluimos que estas comunidades son relevantes en la conservación de bosques protegidos por ley, por lo que el fortalecimiento de sus posibilidades de arraigo debiera orientar políticas de asignación del Fondo Nacional para Enriquecimiento y Conservación de Bosques Nativos.

Palabras clave: Ecorregión chaqueña, conservación, comunidades, incendios forestales

1. Introducción

Los análisis geoespaciales muestran que las tierras de los pueblos indígenas se cruzan con el 40 % de todas las áreas protegidas terrestres y paisajes ecológicamente intactos, en su mayoría bosques (Garnett et al. 2018). Estudios recientes han demostrado que un tercio de los bosques del mundo son manejados por pueblos indígenas y comunidades locales y que su rol es importante en la conservación de servicios ecosistémicos (Perfecto et al, 2009; Pokorny et al. 2011; Mónaco et al. 2020). El vínculo entre las comunidades tradicionales y los ambientes naturales ha sido descrito para Latinoamérica entre otros por Toledo (1980) y Bartra (2015).

En los debates actuales sobre teorías de conservación (*land sharing* vs *land sparing*), las comunidades locales se sitúan como un ejemplo de integración entre la producción y la conservación (Perfecto y Vandermeer, 2012; Grau et al, 2019).

El Gran Chaco Americano es una de las áreas prioritarias de conservación (Naumann, 2006) y es un punto crítico de deforestación global a partir de la sustitución de bosques secos por

cultivos anuales (Hansen et al. 2013) lo que aumenta su fragilidad ecológica. En Argentina, esta región representa la zona forestal más extensa del país, sin embargo, el 22% de sus ecosistemas naturales ya se habían transformado hasta el año 2012, siendo el segundo foco de deforestación después del Amazonas (Mónaco et al. 2020). Santiago del Estero, es la provincia que concentró el 23% de dicha transformación (Vallejos et al. 2015).

La Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de Bosques Nativos (Ley Nacional N° 26.331), fue sancionada con el objetivo de promover la conservación mediante el Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos (OTBN) y la regulación de la expansión de la frontera agropecuaria y de cualquier otro cambio de uso del suelo, además de mejorar y mantener los procesos ecológicos y culturales en los bosques nativos que beneficien a la sociedad. Para ello las provincias deben periódicamente, cartografiar la superficie de bosque provincial, ordenando los mismos en función de su valor de conservación[3], mediante la aplicación de 10 Criterios de Sostenibilidad Ambiental (Ley 26.331). Nueve de los criterios se refieren a la sostenibilidad ambiental, sólo uno se refiere a la sostenibilidad social atendiendo a la vinculación entre bosques y comunidades, lo que en principio dificulta la visibilización del aporte que estas comunidades hacen a la protección de los bosques.

Sin embargo, Mónaco et al. (2020) demuestran que el 65,6% de las comunidades indígenas registradas en el país habitan dentro de los Ordenamientos Territoriales de los Bosques Na-

3 Existen tres categorías de conservación: Categoría I: áreas de muy alto valor de conservación; Categoría II: zonas de valor medio de conservación y Categoría III: áreas de bajo valor de conservación. Estas categorías explican ambientes con matrices predominantes de bosques, pero encierran además otros ambientes asociados a una escala mayor.

tivos (a ello hay que sumarles las comunidades campesinas y otros grupos culturales, que comparten estilos de vida comunitarios similares y con fuertes vínculos con el bosque).

En el análisis de la efectividad de la ley a diez años de su implementación, la expansión y diversificación de la actividad agropecuaria, los incendios, el sobrepastoreo, el desarrollo de infraestructura, la sobreexplotación de los recursos forestales, la deficiente aplicación de la legislación y la falta de controles siguen siendo las principales causas directas de la deforestación (Mónaco et al. 2020)

Las consecuencias son la modificación del ciclo hidrológico, alteración del ciclo de nutrientes, las pérdidas de fertilidad de los suelos, el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero y la pérdida de biodiversidad (Giménez et al. 2016). Sumado a la disminución de los medios de subsistencia de las comunidades locales y a la pérdida de valores culturales, se afectan todos los servicios que brindan los bosques y son reconocidos por la Ley N° 26.331 (Mónaco et al. 2020).

Además, este proceso de transformación trae como consecuencia la reestructuración social asociada a la concentración económica y productiva, que provoca el éxodo rural y debilita a las comunidades locales con precariedad de tenencia de la tierra, generando importantes conflictos sociales (Bolsi, Paolasso y Longhi, 2006).

Según Porter-Bolland et al. (2012), la tenencia forestal comunitaria es tan importante para proteger los bosques como las áreas protegidas establecidas por el Estado, además de tener en general efectos positivos en el bosque (Bowler et al. 2010).

En este sentido, Rivas et al, (2019) estudiando la relación entre el estado de conservación de la fauna silvestre y los bosques campesinos en la ecorregión del Chaco Seco, han demostrado que las formas de habitar los territorios de las comunidades en una diversidad de ambientes, mantienen poblaciones de fauna silvestre y promueven la conectividad entre diferentes ecosis-

temas. Abt (2015), explica esta relación a través del vínculo de los estilos de vida de estas comunidades con el bosque, el cual constituye la base material de su cultura.

Considerando el manejo comunitario como cualquier situación que involucra íntimamente a la población local en la silvicultura (Macqueen y Mayers, 2020), se comprenden los territorios de bosques campesino-indígena, como áreas manejadas por estos grupos culturales, para la producción de bienes y servicios necesarios para la reproducción social comunitaria.

Guzmán (2017) analizó la relación entre la conservación de paisajes forestales y los estilos de vida campesinos, demostrando el aumento de su vulnerabilidad cuando estos pierden la posesión territorial.

Rivas et al. (2019) y Guzmán (2017) sostienen que la conservación del bosque, según *land sharing*, tiene a las comunidades campesino-indígenas como aliadas en el cuidado de bienes comunes. Pero se requiere fortalecer la tenencia territorial y una mayor valoración social de sus estilos de vida.

La hipótesis que guía nuestra investigación es que, las comunidades campesino indígenas tienen una relación multifactorial con matrices forestales,; constituyéndose en aliados de la conservación de bosques.

Para superar la escasa consideración y valoración de los territorios campesino-indígenas, Rivas, Abt y Guzmán, (2022) con el uso de técnicas geomáticas y participativas, a partir de una combinación metodológica lograron cartografiar el Territorio Bajo Manejo Campesino-Indigena (TBMCI) en la provincia de Santiago del Estero, demostrando la importancia de esta tenencia en la provincia.

Siguiendo con ese objetivo de visibilización y valoración del TBMCI para la conservación de los bosques y sus servicios ecosistémicos, en este trabajo nos propusimos indagar acerca de la calidad de los bosques conservados en el TBMCI.

Conceptualizamos la calidad de la matriz forestal como el

grado de cumplimiento de la misma en relación a criterios de sostenibilidad ambiental detallados en la Ley 26.331 como base para la elaboración de los OTBN. De los cuales se eligieron: la extensión y vinculación entre parches de bosques con otras comunidades naturales; la vinculación con áreas protegidas existentes; el grado de conectividad y el estado de conservación (en este caso con relación a incendios, ya que los demás disturbios fueron excluidos en el proceso de delimitación del área). Finalmente, el área en sí misma es un elemento que demuestra el valor que las comunidades le asignan a ese territorio por lo que el criterio diez es la base del análisis de todos los anteriores.

Esperamos que esta visibilización del aporte del TBMCI y su valor para la conservación de los bosques sea una herramienta para futuros OTBN.

3. Objetivos, metodologías y fuentes, áreas o casos de estudio

El objetivo del trabajo fue caracterizar el estado de conservación de los bosques contenidos en el territorio bajo manejo campesino indígena de Santiago del Estero (TBMCI) y su aporte al servicio ecosistémico de regulación de incendios forestales.

3.1 Área de estudio

Santiago del Estero está localizado en la ecorregión Chaqueña Argentina. Sus características climáticas la ubican en un área subtropical con estación seca, con condiciones biológicas de semiaridez. Sin embargo, la región está cubierta por un vasto ecosistema forestal (Ledesma, 1992).

Su relieve llano, modelado por los ríos que lo atraviesan, forman paleoabanicos de suelos arenosos cubiertos por pastizales que atraviesan la matriz boscosa característica (Torrella y Adámoli, 2006).

La vegetación típica es el bosque xerófilo, dominado por *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado), *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco) y *Neltuma spp.* (algarrobos), un estrato arbustivo alto dominado por leguminosas y un estrato herbáceo de gramíneas. Su fauna silvestre se considera de alto valor de conservación por estar en peligro de extinción como el tatú carreta (*Priodontes maximus*), el oso hormiguero gigante (*Myrmecophaga tridactyla*) y el águila coronada (*Buteogallus coronatus*) (Morello et al, 2009), o endémicas como el chancho quimilero (*Catagonus wagneri*) (Wetzel et al. 1975).

La población total de la provincia es de 804.457 habitantes (INDEC, 2010), de los cuales aproximadamente 270.000 son pobladores rurales. Es una de las provincias con mayor población campesina del país. La mayoría carece de tenencia legal de sus territorios (Lanusse y Duhalde, 2003). Desde principios del siglo XXI, el avance de la frontera agropecuaria, ha provocado desmontes masivos y éxodo de la población campesina.

Según De Dios (2006) en el año 2002, los campesinos representaban el 68 % de las EAPs; de las 20.949 EAPs provinciales, 10.830 tenían límites definidos y ocupaban 5.393.632 ha, siendo las restantes, unidades sin límites definidos. Según estimaciones de Paz et al, (2018), en base a las encuestas del Registro Nacional de la Agricultura Familiar, la superficie ocupada por este sector sería aproximadamente de 7.000.000 ha.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación fue de tipo exploratorio descriptivo y utilizó metodologías cuantitativas.

A partir del polígono del TBMCI determinado por Rivas, Abt y Guzmán (2022), se caracterizaron sus coberturas ambientales y su relación con las categorías del OTBN. Posteriormente se evaluó la calidad de la matriz y el aporte que realizan esos ecosistemas naturales contenidos en el TBMCI.

3.2.1 Identificación de coberturas ambientales y su relación con las categorías del OTBN

Para la identificación de las coberturas ambientales se utilizó una clasificación semiautomática y multiespectral supervisada (Meinel y Neubert, 2004), que posibilitó la elaboración de un mapa de coberturas del área de estudio (Rivas et al. 2022). Para el procesamiento se utilizó el software QGIS (versión 2.18) y el plugin "SCP". Como entrada al proceso de clasificación se utilizó una escena satelital Modis 2017, sensor TERRA, con tres bandas, de resolución espacial de 250 m y combinación RGB 1, 2, 3. La clasificación se realizó utilizando NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Baldi y Paruelo, 2008). El algoritmo seleccionado fue la "distancia mínima" sin valor umbral de corte, con siete clases temáticas definidas.

3.2.2 Determinación de la calidad de la matriz del TBMCI

La calidad de la matriz se determinó a partir de la superposición de capas vectoriales del OTBN (2015) y corredores biológicos con el mapa de coberturas ambientales contenidas en el TBMCI. Posteriormente se analizó la autocorrelación espacial utilizando el estadístico I de Moran (Foster y Hipp, 2011), siendo las variables a analizar las diferentes coberturas identificadas.

3.2.3 Aporte del TBMCI a la regulación de ocurrencia y propagación de incendios forestales

Para realizar una primera aproximación a evaluar los aportes que realizan los ecosistemas naturales contenidos en el TBMCI en relación a los servicios ecosistémicos que estos proveen, seleccionamos como servicio de regulación el factor de amortiguamiento y reducción a la ocurrencia y propagación

de incendios forestales, que poseen los bosques mixtos y de quebrachos. Para ello, consideramos los meses de verano de tres años consecutivos, los períodos 2021-2022 y 2022-2023, coincidiendo con el evento climático de La Niña, lo cual exacerbó las condiciones de sequía imperantes por varios años en este sector de Argentina. Utilizamos la capa de fuego y anomalías termales Aqua y Terra MODIS disponible en la plataforma web Nasa Worldview, la cual exhibe detecciones activas de incendios y anomalías térmicas, como volcanes y llamaradas de gas. Las anomalías térmicas se representan como puntos (centro aproximado de un píxel de 1 km) en Worldview/GIBS. Estos puntos cargados en una capa vectorial se contabilizaron mediante los complementos del programa Qgis (versión 2.18) para los dos períodos mencionados, restringiendo el análisis al territorio de Santiago del Estero[4] y comparando la cantidad de casos que ocurrieron al interior y por fuera de la capa TBMCI. Finalmente se realizó un análisis de tablas de contingencia testeando las frecuencias absolutas de ocurrencias de incendios al interior y exterior de TBMCI para comprobar si la diferencia de proporciones es significativa. Se emplearon los estadísticos Chi Cuadrado de Pearson y MV-G2 en el programa InfoStat.

4 Además, se eliminaron los puntos de calor vinculados a la presencia de hornos de carbón o ladrilleros, los cuales también son detectados satelitalmente

4. Resultados

4.1. Extensión y vinculación entre parches de bosques con otras comunidades naturales. Vinculación con áreas protegidas existentes

El polígono TBMCI generado tiene 6.165.200 ha, ocupando el 45,2% de la superficie provincial. El área TBMCI fue mayor que la esperada inicialmente, ya que se encontró la presencia de comunidades en otros ambientes no boscosos como Arbustos-pastizales y Humedales.

La superficie cubierta por bosques nativos es de 5.762.773 ha, lo que representa el 93 % de la misma. Dentro del polígono del TBMCI se identificaron 7 coberturas ambientales (Figura 1): a) Bosque de quebrachos (16%); b) Bosque mixto (53%); c) Arbustal-pastizal (7%); d) Agricultura (7%); e) Suelo desnudo (13%); f) Suelo salino (2%); g) Humedales (2%).

Se observa un gradiente latitudinal de coberturas. Entre los 25-27° de latitud Sur, se distingue una matriz predominante de bosques continuos de quebracho, que luego entre 26-30° de latitud Sur da paso a una matriz de bosques mixtos, habiendo además una combinación de ambientes que incluyen arbustos-pastizales, humedales y áreas salinas.

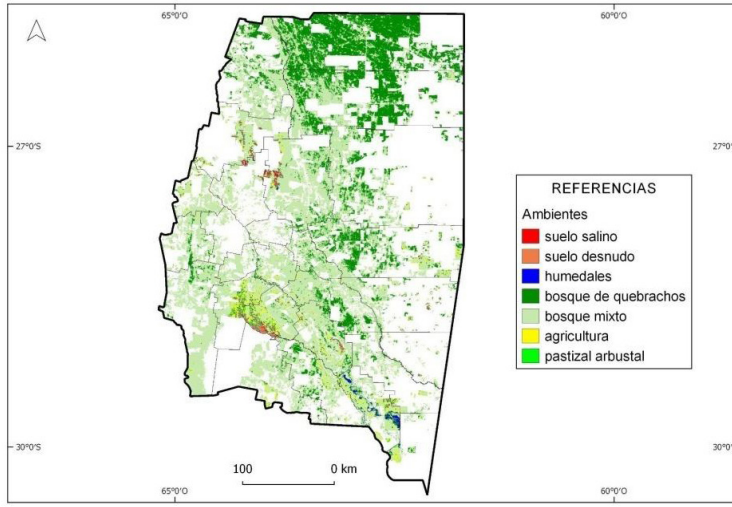


Figura 1. Coberturas ambientales identificadas dentro del TBMCI (Rivas et al (2022))

Si consideramos que el área forestal total declarada por el OTBN provincial (2015) es de 7.108.203 ha, el TBMCI representa el 81% de esa área forestal, lo que evidencia que el bosque bajo gestión de productores que responden a lógicas de producción intensiva es solo del 19%, resaltando el vínculo entre conservación de bosques y presencia de comunidades campesinas.

Con relación a las categorías de bosques del OTBN y corredores biológicos (Tabla 1) el TBMCI contiene la mitad de los bosques de Categoría I, y de los corredores biológicos asociados. Por lo tanto, el TBMCI, no solo se encuentra vinculando las áreas de bosques con el 50% de las áreas protegidas, sino que también se demuestra la potencialidad de estrategias de conservación "*land-sharing*".

Además, conserva el 74% de los bosques de Categoría II, categoría que representa el 82% de los bosques de la provin-

cia y donde se manifiestan con mayor fuerza las disputas por la tenencia de la tierra y el avance de la frontera agropecuaria.

Categorías OTBN	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
I (Rojo)	525.301	50
II (Amarillo)	4.181.455	74
III (Verde)	96.653	10
Corredores Biológicos	957.554	54

Fuente: Elaboración propia
Tabla 1. Área forestal según categorías de valoración del OTBN y Corredores Biológicos dentro del TBMCI

4.2. Conectividad

Utilizando el estadístico I de Moran (Foster y Hipp, 2011), encontramos que el mapa TBMCI (Figura 1) presenta una distribución más agrupada de ambientes, a diferencia del resto del mapa provincial en el que los ambientes están más dispersos o menos correlacionados. Esta distribución agrupada implica que los entornos TBMCI son más homogéneos y menos fragmentados. Coincidiendo con varios autores (Bowler et al. 2010; Perfecto y Vandermeer, 2012) sobre la vinculación de ecosistemas conservados y comunidades locales y observado en nuestra provincia por Guzmán (2017), quien encontró el mismo patrón al analizar el aporte del sistema productivo campesino a la conservación del paisaje forestal utilizando métricas de paisaje en un área de avance de frontera agrícola en el sureste provincial.

4.3. Estado de conservación con relación a incendios

Durante los dos períodos de verano considerados (2021-2022 y 2022-2023) se registraron un total de 284 eventos de anomalías termales o incendios para la provincia de Santiago del Estero, de los cuales 90 (31,7%) ocurrieron al interior de TBMCI, mientras que 194 (68,3%) se dieron en ambientes externos al TBMCI (Figura 2).

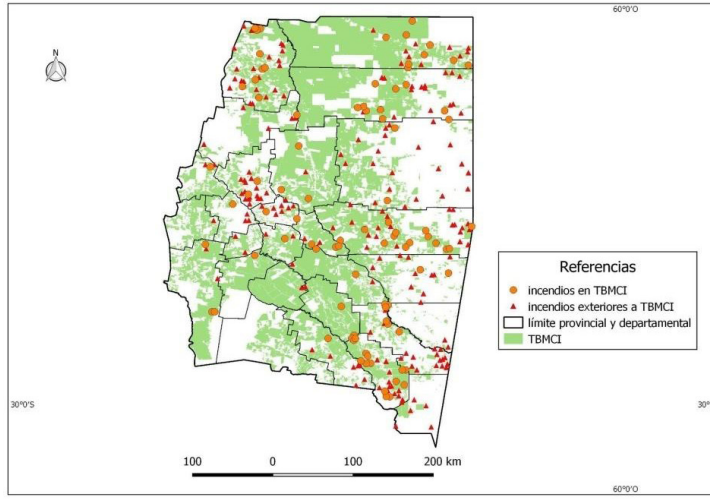


Figura 2. Incendios en Santiago del Estero durante los períodos de verano 2021-2022 y 2022-2023

De la prueba del estadístico Chi cuadrado surge que la incidencia de incendios adentro y afuera de TBMCI presenta diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) (Tabla 2).

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	38,08	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	38,98	1	<0,0001
Coef. Conting. Cramer	0,37		
Coef. Conting. Pearson	0,34		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Tabla de contingencia con los resultados (p valores) de las pruebas de los estadísticos Chi cuadrado y MV-G2.

Esta diferencia está asociada a la presencia de ecosistemas forestales con una estructura de varios estratos y sin elevada fragmentación, que sirven de buffer o ralentizan la generación y posterior propagación de los incendios, a diferencia de lo que ocurre con las áreas de bosques transformadas, donde la baja densidad de árboles y la elevada presencia de herbáceas, genera mayor disponibilidad de combustibles finos que favorecen los incendios, coincidiendo con lo observado por Kunst y Bravo (2003) y Kunst (2011).

5. Discusión

Nuestro trabajo suma evidencia sobre la importancia de la tenencia forestal comunitaria en la conservación de ambientes, en línea con Porter-Bolland et al. (2012) y en base a los datos sobre calidad de la matriz, asumimos que esta forma de tenencia ha tenido efectos positivos en el bosque, en coincidencia con lo manifestado por Bowler et al. (2010).

Reforzando esta afirmación, los resultados coinciden con Rivas, Mujica y Brassiolo (2019) que demuestran que la heterogeneidad de ambientes entre dos áreas formales de conservación, tienen implicancias positivas para los índices de biodiversidad.

Del mismo modo, el alto porcentaje de áreas de alto valor de conservación y corredores biológicos encontrados en el TBMCI muestra concordancia con lo expresado por Porter-Bolland et al. (2012).

El área TBMCI revela la importancia del sector campesino indígena en la distribución de los territorios forestales de la provincia y constituye una evidencia a favor de la teoría *land sharing* como estrategia de conservación de matrices forestales, en línea con Perfecto, Vandermeer y Wright (2009), concepto que reivindica la oportunidad de las comunidades de ser actores destinatarios centrales de políticas públicas.

Desmitificando la escasa presencia territorial de las comunidades campesino indígenas, el TBMCI visibiliza un área similar en superficie, que la de aquellas pertenecientes a actores con lógicas productivas empresariales. Sin embargo, al observar la calidad de la matriz forestal en ambos territorios, es evidente la diferencia en términos de integridad y conectividad del bosque en el TBMCI, cuya lógica de uso de los recursos se inclina hacia la teoría de *land sharing*.

Hemos demostrado que, por su tamaño, diversidad de ambientes y el predominio de bosques de alto valor de conservación, el área del TBMCI debe ser valorada por su potencial para la conservación de la biodiversidad, en línea con lo que otros autores han señalado (Pokorny et al. 2011; Perfecto y Vandermeer, 2012; Garnett et al. 2018; Macqueen y Mayers, 2020).

La menor frecuencia de incendios al interior de TBMCI, no sólo surge de condiciones meramente bióticas, sino que es una combinación de las últimas con el tipo de actor social que habita estos montes y demás ecosistemas naturales implicados.

Del análisis integral de los resultados, podemos afirmar que las comunidades campesino-indígenas mantienen paisajes más estables, coincidiendo con lo observado por Pokorny et al. (2011) en la región amazónica y por Guzmán (2017) en un área de nuestra provincia.

6. Conclusiones

Los resultados permiten aseverar que las comunidades campesino indígenas de la provincia de Santiago del Estero tienen una relación multifactorial con matrices forestales, que contribuye a la conservación de matrices forestales de alta calidad para la provisión de servicios ecosistémicos.

La elevada proporción de ambientes de ecosistemas forestales y otros ecosistemas naturales contenidos en el TBMCI que conservan la calidad y estabilidad de la matriz forestal, constituye una evidencia a favor de la estrategia *land sharing* y de la importancia de la tenencia comunitaria para la conservación.

El TBMCI demuestra la relevancia de las comunidades campesino indígenas en la conservación de los bosques de Categoría I y II de la Ley N° 26.331 en Santiago del Estero; permitiendo afirmar que el valor que las comunidades indígenas y campesinas le dan al bosque (décimo criterio), se constituye en una condición *sine qua non* para la conservación de los demás criterios, considerados para la valoración de los bosques en los OTBN de la Argentina.

Referencias

Abt, M. (2015). *El bosque como espacio multifuncional para las familias campesinas de Santiago del Estero*. Argentina. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Baldi, G., y Paruelo, J. M. (2008). *Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands.* Ecology and Society, 13(2), 6. http://dx.doi.org/10.5751/ES-02481-130206

Bartra, A. (2015). S*er campesino es un modo de vida.* Diario La Razón. http://www.la-razon.com/index.php?_url=/suplementos/animal_politico/ArmandoBartra-campesino-modo-vida_0_2271972841.html Acceso en la fecha 23/12/2019.

Bolsi, A., Paolasso, P., y Longhi, F. (2006). *El Norte Grande Argentino entre el progreso y la pobreza*. Revista Población y Sociedad, (12/13), 227-266. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=386939739007 Acceso en la fecha 01/08/2022.

Bowler, D., Buyung-Ali, L., Healey, J. R., Jones, J. P., Knight, T., y Pullin, A. S. (2010). *La base de evidencia para la gestión forestal comunitaria como un mecanismo para suministrar beneficios ambientales globales y mejorar el bienestar local.* Revisión CEE 08-011 (SR48).

De Dios, R. (2006). *Diagnóstico sobre los pequeños productores, trabajadores transitorios y Pymes empobrecidas y grupos vulnerables de la Provincia de Santiago del Estero.* Informe final. Ministerio de Economía y Producción Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos Dirección de Desarrollo Agropecuario PROINDER.

Foster, K. A., y Hipp, J. A. (2011). *Defining Neighborhood Boundaries for Social Measurement: Advancing Social Work Research. Social Work Research*, 35(1), 25-35. https://doi.org/10.1093/swr/35.1.25Acceso en la fecha 01/08/2022.

Garnett, S. T., Burgess, N. D., Fa, J. E., Fernández-Llamazares, A., Molnár, Z., Robinson, C. J., Watson, J. E. M., Zander, K. K., Austin, B., Brondizio, E. S., Collier, N. F., Duncan, T., Ellis, E., Geyle, H., Jackson, M. V., Jonas, H., Malmer, P., McGowan, B.,

Sivongxay, A., y Leiper I. (2018). *A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation*. Nature Sustainability, (1), 369-374. https://www.nature.com/articles/s41893-018-0100-6 Acceso en la fecha 01/08/2022.

Giménez R., Mercau J., Nosetto M., Jobbágy E. (2016). *The eco-hydrological imprint of deforestation in the semiarid chaco: insights from the last forest remnants of a highly cultivated landscape*. Hydrological Processes 30: 2603-2616

Grau Muñoz, A., Arizpe Ochoa, D., y Navas Saurin A. (2019). *Desacoples y tensiones entre la cosmovisión experta y la tradicional sobre la protección y la restauración de bosques en las comarcas de Els Ports y la Tinença de Benifassà* (Castelló, España). AGER: Revista de Estudios sobre despoblación y Desarrollo Rural (Journal of Depopulation and Rural Development Studies), (28), 1-27. http://ruralager.org/wp-content/uploads/Ager-28-04-Grau-et-al.pdf Acceso en la fecha 01/08/2022.

Guzmán, A. (2017). *Sistema productivo campesino y su aporte a la conservación del paisaje forestal en el Salado Centro.* Santiago del Estero, Argentina. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hanchers, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman's, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., y Townshend, J. R. G. (2013). *High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. Science, 342(6160), 850-853. http://doi.org/10.1126/science.1244693Acceso en la fecha 01/08/2022.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina 2010* [Archivo de datos]. https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4- Tema-2-41-135 Acceso en la fecha 01/08/2022.

Kunst C. (2011). *Ecología y uso del fuego en la Región Chaqueña Argentina*: Una revisión. Boletín del CIDEU 10: págs. 81-105 ISSN 1885-5237. www.inta.gov.ar/santiago Acceso

en la fecha 01/08/2022.

Kunst C., Bravo S. (2003). *Ecología y régimen de fuego en la región chaqueña argentina*. En: Fuego en Ecosistemas Argentinos, Ediciones INTA, Capítulo: 10.

Lanusse, P., y Duhalde, L. E. (2003). Informe Santiago del Estero. Ministerio de Justicia, Salud y Derechos Humanos. https://webdocsantiago.com/files/informe_santiago.pdf Acceso en la fecha 01/08/2022.

Ledesma, N. R. (1992). *Caracteres de la semiaridez en el Chaco Seco.* Reunión Interacadémica. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria y Universidad Nacional de Santiago del Estero, XLVI(5).http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/30097/%20Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acceso en la fecha 01/08/2022.

Ley N° 26.331 (2009). *Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos*. http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/135000- 139999/136125/norma.htm Acceso en la fecha 01/08/2022.

Macqueen, D., y Mayers, J. (2020). Unseen Foresters. An *assessment of approaches for wide recognition and spread of sustainable forest management by local communities*. WWF. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/wwf_silvicultores_invisibles_investigacion_completa.pdf Acceso en la fecha 01/08/2022.

Meinel, G., y Neubert, M. (2004). *Una comparación de los programas de segmentación para datos de teledetección de alta resolución.* Archivos Internacionales de Fotogrametría y Teledetección, 35(Parte B), 1097-1105.

Mónaco, M. H., Peri, P. L., Medina, F. A., Colomb, H. P., Rosales, V. A., Berón, F., Manghi, E., Miño, M. L., Bono, J., Silva, J. R., González, Kehler, J. J., Ciuffoli, L., Presta, F., García Collazo, A., Navall, M., Carranza, C., López, D. R., y Gómez Campero, G. (2020). *Causas e impactos de la deforestación de los bosques nativos de Argentina y propuestas de desarrollo alternativas*. Informe técnico MAyDS-INTA-AIFCH. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/desmontes_y_alternati-

vas-julio27_0.pdf Acceso en la fecha 01/08/2022.

Morello, J. H., Rodríguez, A., y Silva, M. (2009). *Clasificación de ambientes en áreas protegidas de las ecorregiones del Chaco Húmedo y Chaco Seco*. En J. Morello, y A. Rodríguez (eds.), El Chaco sin bosques: la Pampa o el desierto del futuro (pp. 53-91). UNESCO, GEPAMA, FADU.

Naumann, M. (2006). *Atlas del Gran Chaco Sudamericano. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica* (GTZ). https://redaf.org.ar/wp-content/uploads/2008/02/ATLAS_GRAN_CHACO_ES.pdf Acceso en la fecha 01/08/2022.

Paz, R., Rodríguez, R., y Jara, C. (2018). *Sistemas comunales y explotaciones sin límites definidos, persistencia del campesinado en Argentina*. Santiago del Estero: EDUNSE.

Perfecto, I., Vandermeer, J., y Wright, A. (2009). *Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781849770132 Acceso en la fecha 01/08/2022.

Perfecto, I., y Vandermeer, J. (2012). *Separación o integración de la conservación de la biodiversidad: la ideología detrás del debate de "land-sharing" versus "land-sparing"*. Revista Ecosistemas, 21(1-2), 180-191. https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/36 Acceso en la fecha 01/08/2022.

Pokorny, B., Godar, J., Hoch, L., De Koning, J., Medina, G., Steinbrenne, R., Vos, V., y Weigelt, J. (2011). *La producción familiar como alternativa de un desarrollo sostenible para la Amazonía. Lecciones aprendidas de iniciativas de uso forestal por productores familiares en la amazonía boliviana, ecuatoriana y peruana. Centro de Investigaciones Forestales Internacionales* (CIFOR). https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BPokorny1002.pdf Acceso en la fecha 01/08/2022.

Porter-Bolland, L., Ellis, E. A., Guariguata, M. R., Ruiz-Mallén, I., Negrete-Yankelevich, S., y Reyes-García, V. (2012). *Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics.* Forest Ecology and Management, (268), 6-17. https://doi.org/10.1016/j.

foreco.2011.05.034 Acceso en la fecha 01/08/2022.

Rivas, F. F., Abt, M. M., Guzmán, A. V. (2022). *Uso de técnicas geomáticas y mapeos participativos para determinar el territorio bajo manejo campesino indígena* (provincia del Gran Chaco, Argentina). AGER: Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural (Journal of Depopulation and Rural Development Studies), (36), 35-68. https://doi.org/10.4422/ager.2022.16

Rivas, F. F., Mujica, G., y Brassiolo, M. (2019). *Corredores Biológicos y la Conservación de la Biodiversidad: El caso del corredor Norte en Santiago del Estero*. En A. Mª. Giménez, e I. Bolzon (eds.), Los bosques y el futuro. Consolidando un vínculo permanente en la educación forestal. Cooperación binacional Argentina-Brasil (pp.151-177). Universidad Nacional de Santiago del Estero y Universidad Federal de Paraná.

Sistema de Información Geográfica QGIS (2018). *Proyecto de Fundación Geoespacial de Código Abierto.* http://qgis.osgeo.org Acceso en la fecha 01/08/2022.

Toledo, V. (1980). *La Racionalidad Ecológica de la Producción Campesina*. Revista Agroecología y Desarrollo, (5), 18-34.

Torrella, S. A., y Adámoli, J. (2006). *Situación ambiental de la ecorregión del chaco seco*. En A. Brown, U. Martínez Ortiz, M. Acerbi, y J. Corcuera (eds.) La Situación Ambiental Argentina 2005 (pp. 75-82). Fundación Vida Silvestre. https://d2qv5f444n933g.cloudfront.net/downloads/situacion_ambiental_argentina_2005.pdf Acceso en la fecha 01/08/2022.

Vallejos, M., Volante, J., Mosciaro, J., Vale, L., Bustamante, M., y Paruelo, J. M. (2015). T*ransformation dynamics of the natural cover in the Dry Chaco ecoregion: A plot level geo-database from 1976 to 2012*. Journal of Arid Environments, (123), 3-11. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.11.009 Acceso en la fecha 01/08/2022.

Wetzel, R. M., Dubos R. E., Martin, R. L., y Myers, P. (1975). *Catagonus, an "Extinct" Pecarí, alive in Paraguay*. Science, 189(4200), 379-381. http://dx.doi.org/10.1126/science.189.4200.379 Acceso en la fecha 01/08/2022.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ABSORBEDORES EN COLECTORES SOLARES DE BARRA MACIZA DE HIERRO Y TUBULARES HEAT PIPE DE HIERRO Y DE COBRE APLICADOS AL CALENTAMIENTO DE AIRE.

Pablo S. Togo[1], Gustavo A. Villalba[1],
Aníbal O. Gómez Khairallah[2], Carlos A. Cattaneo[1,2],
Enrique M. Biasoni[1], Ledda I. Larcher[1], E. Storniolo[2]

Resumen

Se ensayaron colectores solares para el calentamiento del aire en la provincia de Santiago del Estero en una franja horaria próxima al mediodía solar. Se evaluó la resistencia térmica y la conductividad térmica de diferentes absorbedores cilíndricos que forman parte del colector solar. Los absorbedores empleados son de dos materiales diferentes: cobre y acero; además, en los absorbedores de cobre empleados se varió el diámetro. De los resultados obtenidos se destaca el coeficien-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Santiago del Estero, Argentina
2 Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Santiago del Estero, Argentina

te de conductividad térmica de los absorbedores para diferentes materiales, así como las diferencias obtenidas variando el diámetro del absorbedor. Los valores obtenidos del coeficiente de conductividad térmica de los absorbedores que se desempeñan como heat pipe presentan, en general, conductividad térmica efectiva mayor a las de los materiales sólidos de dimensiones semejantes y condicen con el incremento de temperatura alcanzada por el fluido caloportador, que en promedio fue de 10°C.

Palabras clave: colector solar; heat pipe; conductividad térmica; resistencia térmica

Una Problemática del sector solar térmico

Los avances tecnológicos recientes demuestran que la energía solar térmica es cada vez más asequible, eficiente y se está utilizando cada vez más en instalaciones para refrigeración y calefacción de acuerdo a autoridades vinculadas al ámbito de las energías de EEUU y la Agencia Internacional de Energía (IEA), estos factores han incidido en la reducción de sus costos. Asimismo, han informado que, entre los años 2008 a 2016, estas instalaciones solares han incrementado el suministro de energía de 1,2 a 20 GW (gigavatios). Una cantidad suficiente para abastecer las necesidades energéticas de aproximadamente 4 millones de hogares estadounidenses. (IEA, 2017)

En América latina en el año 2014, se recolectaron 10 GW de energía por medio de instalaciones solares térmicas. Del total instalado, el 94% de los sistemas térmicos solares instalados en el mundo son para la provisión de agua caliente (Piqueras, 2016).

A pesar de que en el mundo se esté incrementando el uso de sistemas solares térmicos, sería interesante que para el año 2030 la población mundial tenga un consumo diario de agua

caliente y de electricidad haciendo uso de este sistema. La falta de uso, de diseño y de construcción de instalaciones de energía solar térmica, no ha permitido que aumenten los porcentajes de recolección de energía en países desarrollados como EEUU y Canadá. En los países subdesarrollados, adicionalmente, falta el apoyo económico y la iniciativa investigativa para desarrollar dispositivos e instalaciones, que permitan aumentar el porcentaje de recolección de energía solar.

Por otro lado, en el sector residencial, se utiliza preferiblemente el gas natural. Por ejemplo, en Argentina entre el 25% y el 30% del gas consumido se utiliza en el sector residencial. De este porcentaje, entre el 70% y 80% se usa para calentar agua o calefacción. El 20% de esta energía tiene el potencial de suplirse utilizando energía solar térmica. Sería conveniente que las residencias actuales y las que se vayan a construir, utilizaran más instalaciones de energía solar para la calefacción y calentamiento de agua sanitaria, con el fin de incrementar el ahorro de gas natural en valores superiores al 20% (Skenta, 2016)

Se han reportado varios intentos para modificar el rendimiento de los colectores solares térmicos de baja temperatura, entre los que pueden mencionarse el de Rodríguez Mejía (2016) en la ciudad de Zacatecas, México, quien logró incrementar en un 3% el rendimiento térmico de colectores solares de placa plana manipulando la velocidad del flujo de fluido; también los diseños españoles de colectores solares térmicos CPC con tubos al vacío "ligeros", que pesan sólo 18 kg y aprovechan de mejor manera la radiación solar; y, por último, los colectores solares españoles de placa plan tipo "slim", con 30% menos de peso, más delgados pero conservando la misma área de captación y rendimiento que los colectores convencionales (Sastoque y Ortiz, 2018). Sería interesante observar otras estrategias utilizadas en los últimos 15 años para aumentar el rendimiento de los colectores solares de baja temperatura y examinar si tales estrategias han permitido obtener rendimientos por encima del 3%.

En ingeniería se encuentran muchas aplicaciones del proceso de intercambio de calor entre dos fluidos a diferentes temperaturas y separados por paredes sólidas. Muchos equipos para el intercambio de calor en la práctica son irreversibles, destruyen exergía y generan entropía. Reducir estos efectos es un reto para mejorar los procesos y dispositivos, así como para desarrollar nuevos equipos y procedimientos para la optimización del calor generado o recuperado. Así, el análisis y la determinación experimental del valor de ciertas variables como la conductividad térmica y la resistencia térmica de los materiales, resulta de interés para el desarrollo y mejora de los colectores solares térmicos.

1. Introducción

La energía proveniente del Sol puede emplearse de diferentes formas, una de ellas consiste en calentar un fluido caloportador y transferir ese calor a otro medio dentro de un proceso o sistema, así tendremos energía solar térmica. Este tipo de energía "renovable" puede sustituir o reducir el uso de combustibles fósiles y puede considerarse como una de las alternativas comerciales económicas para la producción de calor. La intermitencia del Sol sobre la superficie terrestre, provoca que sea necesario disponer de sistemas auxiliares de almacenamiento térmico al utilizar la energía solar, lo que resulta en mayores costos de inversión y a su vez, menor viabilidad económica y técnica para la ejecución de nuevos proyectos (Carrión-Chamba et al, 2022)

La energía térmica se puede almacenar en forma de calor latente o calor sensible; no obstante, en el mecanismo de calor latente con materiales de cambio de fase o Phase Change Materials (PCM) se requiere un menor volumen de almacenamiento debido a que la densidad de energía es mayor que en los materiales de calor sensible.

Los colectores solares térmicos son dispositivos encargados de transformar la energía solar en térmica a través de diversos principios de funcionamiento que varían según el tipo de colector empleado. En aplicaciones industriales los principales aspectos a tomar en cuenta para instalar un sistema solar térmico son la temperatura objetivo, el requerimiento energético, los criterios económicos, la disponibilidad del espacio y el grado de madurez de la tecnología analizada (Ghazouani et al, 2020).

Una cantidad de materia o una región en el espacio seleccionada para el análisis se define como sistema. Se considera que un sistema es cerrado cuando una cantidad fija de masa no puede cruzar su frontera. Es decir, ninguna cantidad de masa puede entrar o salir de un sistema cerrado. Pero la energía, en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera; el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo. Si en el sistema cerrado existe interacción de energía, esta puede ocurrir debido a la transferencia de calor, donde la fuerza impulsora es una diferencia de temperatura y, en caso contrario, hablamos de trabajo.

Todos los sistemas de aprovechamiento solar con fines térmicos cuentan con una zona de colección, que dependiendo de las características o estrategias de aprovechamiento del calor útil, tienen formas y dimensiones específicas. Las características de desempeño de los sistemas de aprovechamiento solar se valoran por medio de parámetros térmicos, como lo describen detalladamente Solomon , Sekar Yang (2016) y Hari y Muraleedharan (2016) en sus trabajos en los que estudian la transferencia de calor de los tubos Heat Pipe (HP) teniendo en cuenta las incertidumbres de los coeficientes de transferencia de calor, donde la conductividad térmica de la tubería de calor es estimada mediante el uso de la ley de conducción de calor de Fourier y el modelo de red de resistencia térmica concentrada; de allí que la conductividad y la resistencia térmica resultan parámetros importantes para determinar la variación de temperatura entre las secciones del evaporador y del conden-

sador del colector. Considerando que la conductividad térmica (k) es una característica propia de cada material, es la propiedad intrínseca que posee un material para trasladar calor.

Dependiendo del tipo de proceso industrial, se puede dar una clasificación de los colectores solares dependiendo del rango de temperatura en tres categorías: baja temperatura (< 150 °C), media temperatura (150–400 °C) y alta temperatura (> 400 °C) (IEA, 2017)

La conducción puede ocurrir en sustancias sólidas, líquidas o gaseosas; como resultado de las interacciones entre las partículas, se produce la transferencia de energía desde las partículas más energéticas hacia las adyacentes menos energéticas. En los sólidos, la transferencia se debe a la combinación de la vibración de las moléculas en una red y el transporte de energía mediante electrones libres. Así como los electrones pueden transportar carga eléctrica, también pueden transportar energía térmica (Holman y Valenzuela, 1998).

La tasa de conducción de calor se determina mediante la ecuación 1

$$\dot{Q} = k\,A\frac{\Delta T}{\Delta X} \qquad (W) \qquad (1)$$

Donde ΔT $(\Delta T = T_f - T_c)$ es la diferencia de temperatura en la capa de espesor ΔX $(\Delta X = d)$ y A es el área normal a la dirección de transferencia de calor. K es la constante de proporcionalidad denominada conductividad térmica del material, la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor (Figura 1).

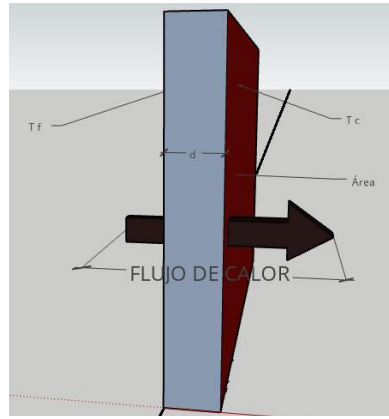


Figura 1. Esquema de flujo de calor

1.1 Tubos de calor y termosifones

El tubo de calor y los termosifones bifásicos (TSB) son una fuente de energía limpia y económica que aprovechan el calor solar o el residual de desecho de algún proceso, ampliamente utilizados en sistemas de recuperación de calor, incluyendo celdas solares fotovoltaicas, hornos de cocción, equipos electrónicos, intercambiadores de calor y sistemas de enfriamiento electrónico, así transfieren calor adecuadamente a una distancia dada para alguna aplicación conveniente.

Los termosifones son dispositivos pasivos que no requieren conectarse a una fuente de energía para su funcionamiento, tienen alta eficiencia, estructura simple, confiabilidad y bajo costo económico y ecológico. Los equipos heat pipe de placa plana, son un tipo especial de heat pipes que pueden transportar mayor flujo de calor con respecto a los heat pipe cilíndricos; además, una desventaja comparativa de los equipos heat pipe cilíndricos es que no son una solución deseada debido a su alto peso, la pequeña relación superficie-volumen y el gran

tamaño (Rassoulinejad et. al., 2012). Entre las ventajas del empleo de tubos de calor y TSB se encuentra el hecho de que el heat pipe es un sistema cerrado, por lo que la adecuada elección de los materiales, eliminaría los problemas de corrosión. Además, los heat pipe al ser dispositivos pasivos, no requieren bombas o ventiladores para mover el fluido de trabajo en el colector y se pueden diseñar y fabricar como módulos, lo que facilitaría la instalación y el mantenimiento del equipo. Actualmente, en la fabricación de termosifones se utilizan diferentes materiales y con geometrías planas, para aprovechar el calor de fuentes de energía alternativas (radiación solar), la recuperación de energía geotérmica y la mejora de su potencial con la ayuda de bombas de calor (Vasiliev et al, 1993).

Para el caso de los sistemas heat pipe (HP) el colector se basa en el principio de funcionamiento denominado ciclo de evaporación-condensación, siendo esta particularidad la que le brinda cualidades de alta eficiencia. El proceso inicia cuando el tubo de calor (HP) recibe la radiación solar y hace que el fluido en su interior (por ejemplo, metanol, etanol o agua), con capacidad de cambio de fase en el rango de temperaturas a ser usado, cambie de estado líquido a gaseoso provocando que el vapor se eleve a la parte superior del tubo donde se encuentra el condensador. El vapor al condensarse libera el calor latente hacia el circuito principal -en general, agua o aire-, luego el líquido condensado regresa a la parte inferior del tubo de calor para completar el ciclo de circulación.

1.2 Del fluido y los materiales sólidos

Los tubos de calor presentan una conductividad térmica altamente eficiente. El cobre es uno de los metales que presenta mejor capacidad de conducir calor, tiene una constante de conductividad térmica de 400 W/m.K, mientras que los tubos de calor pueden oscilar entre 5.000 y 200.000 W/m.K. El calor

absorbido en la evaporación es transportado por la zona adiabática y liberado en la condensación donde se aprovecha para algún proceso (Handayani et al., 2012). El fluido de trabajo juega un papel importante en el rendimiento de los termosifones. Al elegir el fluido, se deben tener en cuenta algunas características tales como propiedades de ebullición, presión de vapor, conductividad térmica y tensión superficial. Un fluido con propiedades termo físicas mejoradas podría conducir a mejoras en el rendimiento de un termosifón (Kamyar et al, 2013). Para una sustancia, como el agua en estado líquido, estando a una temperatura y presión menor a las de saturación (100°C y 1 atm) es muy factible que la sustancia empiece a absorber calor y con ello cambie su temperatura. Si a 25°C se le suministra calor al agua, la energía suministrada se denomina calor sensible, siempre y cuando no genere un cambio de fase, sólo incrementa su temperatura pasando por ejemplo a 60 °C. De otra manera, el calor suministrado a la temperatura de ebullición de 100 °C (1 atm) no se emplea en aumentar dicha temperatura. Se usa en cambiar el estado de líquido a gas y se denomina calor latente. Y aunque se aumente el calor de entrada del sistema de calentamiento, este permanecerá a la misma temperatura, siempre y cuando exista fluido líquido (Rathod y Banerjee, 2013). Se debe señalar, además, que sólo existe ebullición en el valor de temperatura y presión exactos para cada sustancia. Estas son una presión de saturación y una temperatura de saturación. Si se disminuye la presión de saturación, la temperatura de saturación también lo hará y si se incrementa la presión, la temperatura aumentará. Así, por ejemplo, a una presión de 70,1 kPa (0,7 atm) el agua líquida pasa también a vapor, pero a 90°C; mientras que a 198,5 kPa (2 atm) la temperatura es de 120°C. Si se logra una presión de alto vacío el agua hervirá a temperaturas tan bajas como 0,01°C y para cada pareja de presión y temperatura existirá un calor latente diferente o entalpía de vaporización. El paso de líquido a gas y de este a líquido nuevamente, es la base de

numerosos procesos termodinámicos; en algunos de estos procesos se emplean los tubos de calor (heat pipe) y los termosifones bifásicos (TSB). La diferencia básica entre un tubo de calor y un termosifón radica en que el segundo no requiere material capilar para el retorno del fluido líquido desde el condensador al evaporador y el retorno se hace por la acción de la fuerza de la gravedad.

1.3 Del rendimiento de los Heat Pipes y Termosifones

El rendimiento de transferencia de calor de un termosifón, así como el de un tubo de calor, se ve significativamente afectado por la geometría, el ángulo de inclinación, la temperatura del vapor, la relación de llenado y las propiedades termo físicas del fluido de trabajo. Entre ellos, la relación de llenado se define como la relación de volumen del líquido al volumen del evaporador (Jafari et al., 2016). Además, la cantidad de fluido de trabajo utilizado se estima como el volumen mínimo que permite una operación de termosifón estable. Se han informado muchas investigaciones experimentales sobre el rango apropiado de proporción de llenado. Por su parte, Jiao et al., (2008), sugirió el 20% del volumen del evaporador como valor óptimo de llenado. 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 (Togo et al, 2020).

2. Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló con el propósito de caracterizar el desempeño de los colectores solares tubulares construidos, determinando experimentalmente variables térmicas como resistencia y conductividad efectiva de los tubos y de la barra de acero empleados como absorbedores. Estas magnitudes físicas contribuyen para evaluar la pertinencia de su implementación en sistemas para el calentamiento de fluidos para el hogar o para el secado de productos agropecuarios, así como en otros procesos en donde se requiera el calentamiento de aire.

Basándose en los rangos de temperaturas y usos en la industria antes descritos, este trabajo analiza colectores de baja temperatura.

Se construyeron colectores solares tubulares, en los que los tubos absorbedores de la radiación ensayados son de diferentes materiales y diámetros:

- Para el primer absorbedor A, se empleó una barra de acero macizo de 5/8 de diámetro (15,87 mm) y 1,2 m de longitud.
- El segundo, absorbedor B, se conformó empleando un tubo cilíndrico de acero hueco de 13 mm de diámetro interno, 15 mm de diámetro externo y 1,2 m de longitud. El cilindro hueco se llena con agua destilada hasta un 20% de su volumen interno. En los extremos superior e inferior del cilindro hueco se ubica un tapón de metal cerrándose con un cordón de soldadura con aporte de plata de bajo punto de fusión, confinando el fluido de trabajo en el interior del tubo.
- En caso del tercero, absorbedor C, se empleó un tubo de cobre 5/8 diámetro exterior (15,87 mm) de 1,2m de longitud y 0,001 m de espesor. El cilindro hueco se llena con agua destilada hasta un 30% de su volumen interno.

- Por último, para el absorbedor D se empleó un tubo de cobre 7/8 diámetro exterior (22,22 mm) de 1,2 m de longitud y 0,001 m de espesor. El cilindro hueco se llena con agua destilada hasta un 30% de su volumen interno.

Para minimizar la pérdida de calor desde el colector hacia el ambiente, los colectores tubulares se encuentran dentro de un recinto rectangular cerrado de madera contrachapada de 1,25 x 0,17m, el recinto se recubre interiormente con material aislante (lana de vidrio con foil de aluminio de $5x10^{-2}$ m de espesor), estas dos capas tienen un coeficiente de transferencia de calor bajos, ideales para evitar la transferencia desde el recinto al ambiente. La cara aluminizada del aislante se pintó de negro mate para favorecer la absorción de la radiación solar en el recinto. Se compartimentó el recinto de madera empleando un tabique; el compartimento inferior es donde se encuentra en proporción casi la totalidad del colector, donde incide la radiación solar y se transfiere el calor al fluido de trabajo. En la parte superior, delimitada por el tabique, queda un espacio de 0,12m; es en este compartimento donde se produce la transferencia de calor desde los colectores al aire (fluido caloportador). En el lateral derecho del recinto se encuentran orificios de $10x10^{-3}$ m que permiten el ingreso del aire circundante y en el lateral izquierdo del compartimento se realizó un orificio de 0,1m de diámetro acoplado a un tubo de PVC de igual diámetro, forrado con material aislante (ducto de salida). En el ducto se ubicó un cooler de 2W de potencia, que fuerza el ingreso del aire a temperatura ambiente desde el lateral derecho, luego se produce la transferencia de calor desde los cilindros al aire (fluido caloportador) y es extraído del compartimento superior a través del ducto de salida. 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 colector). Ver Figura 2.

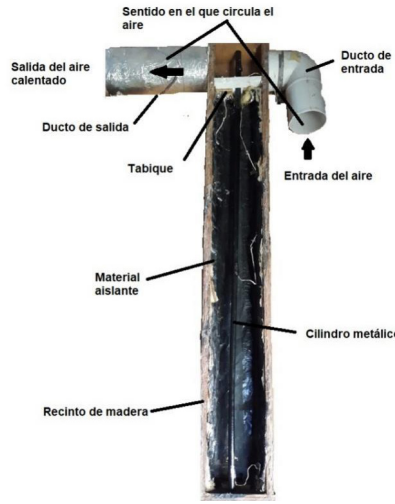


Figura 2. Colector solar con ductos de aire.

Los ensayos se realizaron en la provincia de Santiago del Estero, Argentina (-27.79511, - 64.26149); durante los meses de enero, marzo y abril. Los colectores se ensayaron entre las 10 y las 16:00h. El colector se orientó en sentido norte sur, con un ángulo de inclinación de 28°, el ángulo seleccionado es para aprovechar al máximo la radiación solar incidente sobre el colector en los meses más desfavorables.

Se midió la temperatura a lo largo de los tubos, empleando termocuplas tipo K, las cuales se ubicaron en la cara inferior del tubo, evitando que la radiación solar incida sobre ellas de forma directa. Para la adquisición de los valores de temperatura se empleó un termómetro de cuatro canales. Las termocuplas se ubicaron una (T1) a 0,05 m del extremo superior del tubo (zona de transferencia de calor), las restantes se ubicaron en la zona del absorbedor a 0,15 m del extremo superior (T2) a 0,65 m (T3) y a 1,15 m (T4) como se observa en la Figura 3. Además, se midió

la temperatura del aire a la entrada y salida en el área de transferencia de calor delimitada por el tabique y la temperatura en el área interna del recinto donde se absorbe la radiación solar.

En el ducto de salida de los colectores, se mide la velocidad instantánea del aire a la salida, empleando un anemómetro de palas, fijando el flujo de aire en 0,004m3/s.

Se empleó un radiómetro para medir la radiación incidente que llega en el plano del colector durante el tiempo que duró el ensayo, se registró la temperatura cada 20 minutos.

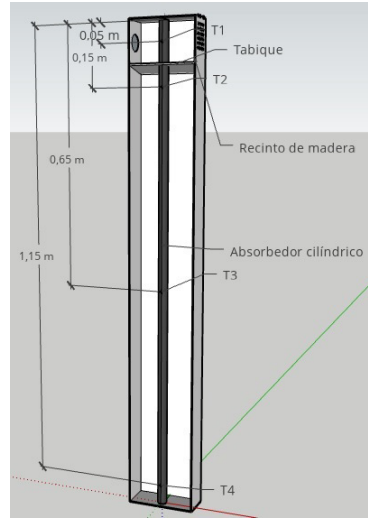


Figura 3. Disposición de termocuplas en el colector solar.

Entre las variables de importancia a considerar cuando se diseña un equipo para captar la radiación solar y transferir el calor útil, se encuentra la elección de los materiales que van a constituir el colector solar. Es de particular importancia la determinación de las variables térmicas del absorbedor, las cuales permitirían comparar diferentes materiales y geometrías, como lo enunciado por Togo et al. (2018). Las variables térmicas se determinan a partir de la analogía propuesta por Holman y Va-

lenzuela (1998), donde a partir de un símil eléctrico podemos estimar la resistencia térmica del sistema en transferencia de calor, empleando la ecuación 2. Se calcula la resistencia térmica de los tubos huecos (heat pipe) de acero y cobre, así como de la barra de acero, considerando la diferencia entre la temperatura del tubo en la zona colectora (T3) y la temperatura del tubo en la zona condensadora (T1), dividiendo esta diferencia por el flujo de calor que entregan cada uno de los tubos.

$$R_{te} = \frac{\Delta T_{c-c}}{\dot{q}}. \qquad (2)$$

Donde R_{te} es la resistencia térmica (°C/W), es el flujo de calor que entrega el Heat Pipe (W) y ΔT_{c-c}: es la diferencia entre la temperatura del tubo en la zona colectora y la temperatura del tubo en la zona condensadora (°C).

A partir de los parámetros medidos se calculó el coeficiente de conductividad térmica efectivo de la barra de acero maciza y de los tubos (heat pipe), según lo propuesto por Brusly Solomon (2016), donde consideran al heat pipe como una barra conductora de calor desde la zona colectora (la cual está a alta temperatura) a la zona condensadora (que está a baja temperatura) y aplicando la ecuación de calor de Fourier, así mediante la ecuación 3 se estima el coeficiente de conductividad térmica efectivo.

$$k_{ef} = \dot{q}\frac{L_{ef}}{A\Delta T_{c-c}}, \qquad (3)$$

donde

k_{ef} es el coeficiente de conductividad térmica efectivo (W/(m°C)),

$\dot{q}$ es el flujo de calor que entrega el Heat Pipe (W) ,

ΔT_{c-c} es la diferencia entre la temperatura media del tubo en la zona colectora y la temperatura media del tubo en la zona condensadora (°C)

A es el área transversal del heat pipe
L_{ef} es la longitud efectiva del heat pipe

Siendo la longitud efectiva de la barra y los tubos (heat pipe) la suma de la mitad de la longitud del colector y de la mitad de la longitud del condensador como lo expresa la ecuación 4.

$$L_{ef} = \frac{L_{colector} + L_{condensador}}{2}. \qquad (4)$$

3. Resultados

En la Figura 4, se observa la curva de radiación sobre el plano del colector para los días de ensayo de los prototipos. Muestra el horario y la radiación solar para la época del año y la franja horaria del ensayo. Se registró que al mediodía solar la radiación incidente en el plano del colector alcanza los 1180 W/m$^{2.}$

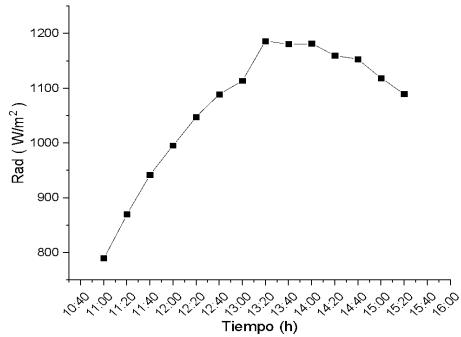


Figura 4. Radiación solar en el plano del colector solar.

La variación de la temperatura en la superficie del tubo de acero (absorbedor C), durante las horas de ensayo se muestra en la Figura 5, donde se aprecia la variación de las temperaturas en los puntos T1 (región de transferencia de calor del tubo hacia

el aire que circula transversal al mismo), T2 (región próxima a la zona de condensación), T3 (punto intermedio en la región de absorción de radiación del tubo) y T4 (región inferior del tubo, en la zona de evaporación); puede apreciarse un incremento de las temperaturas a medida que se desarrolla el ensayo, mientras el sistema alcanza el régimen de trabajo. Además, se determinó la variación de la temperatura del aire que ingresa y sale de la región de transferencia de calor, incrementándose ésta -en promedio- unos 10°C.

De igual manera se midió la variación de la temperatura en la superficie de los otros absorbedores. Se observa un comportamiento similar al que describe la Figura 5.

La resistencia térmica efectiva para cada uno de los absorbedores durante las horas de ensayo se puede visualizar en las Figuras 3 y 4; los valores de resistencia térmica se determinan a partir de la ecuación 2. Se determinó que el valor promedio de la resistencia es de 2,78°C/W para el absorbedor A (barra de acero), 1,93 °C/W para el absorbedor B (tubo de acero), 0,54 °C/W para el absorbedor C (tubo de cobre de diámetro 22,22 mm) y 1,44 °C/W para el absorbedor D (tubo de cobre de diámetro 15,87 mm).

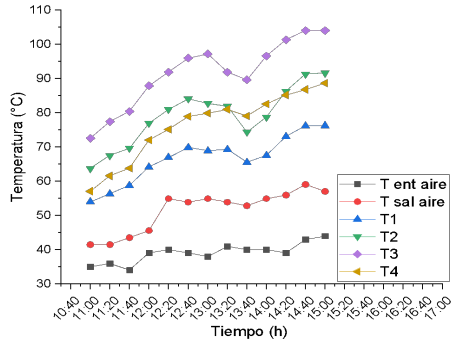


Figura 5. Registro de temperaturas en el colector solar

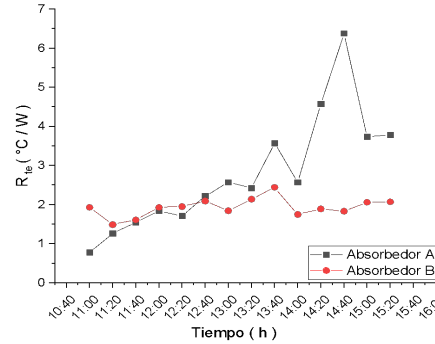


Figura 6. Resistencia térmica efectiva de la barra y tubo de acero.

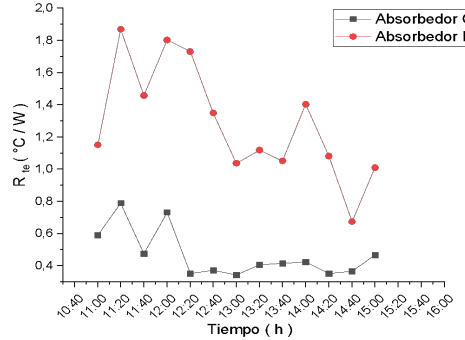


Figura 7. Resistencia térmica efectiva en los tubos de cobre.

En las Figuras 8 y 9, se visualiza la conductividad térmica efectiva para cada uno de los absorbedores durante las horas de ensayo. Los valores de conductividad térmica se obtienen a partir de la ecuación 3. Se determinó que el valor promedio de la conductividad es de 1440,56 W/m °C para el absorbedor A (barra de acero), 1589,1 W/m °C para el absorbedor B (tubo de acero), 3545,92 W/m °C para el absorbedor C (tubo de cobre de diámetro 22,22 mm) y 2537,77 W/m °C para el absorbedor D (tubo de cobre de diámetro 15,87 mm)

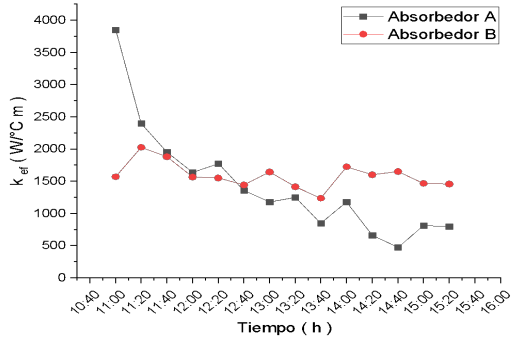


Figura 8. Conductividad térmica para la barra y el tubo de acero

4. Discusión

Los ensayos con los colectores se realizaron 2 horas antes y después del mediodía solar para absorber la mayor radiación solar.

En la Figura 6, se observa la resistencia térmica del colector tubular macizo y del tubular hueco (heat pipe), donde el colector tipo heat pipe alcanzó un comportamiento estable durante las horas en que se realizó el ensayo.

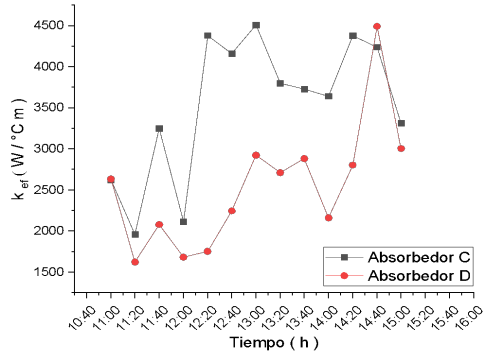


Figura 9. Conductividad térmica en los tubos de cobre.

En las Figuras 6 y 7 puede observarse que el tubo hueco de acero (heat pipe) mantiene un comportamiento estable en las horas del ensayo, mientras que en la barra maciza se aprecia un incremento de la resistencia térmica y una disminución de la conductividad térmica efectiva (absorbedor A). La conductividad térmica más alta que se alcanzó fue con el absorbedor C tal como se aprecia en la Figura 9; en consonancia con esto, la menor resistencia térmica efectiva apreciada fue para éste (absorbedor C) la Figura 7.

En relación a la radiación incidente y el comportamiento de los absorbedores, en la barra de acero (absorbedor A) a medida que aumenta la radiación solar, se aprecia un marcado ascenso de la resistencia térmica efectiva (Figura 6), tal como marcan las referencias teóricas. Es notable la estabilidad en torno a las variables antes descritas (R_{ef} y K_{ef}) para el absorbedor B (tubo heat pipe de acero). En consonancia, los absorbedores B y C describen una curva con pendiente térmica tendiente a cero para la franja horaria posterior a las 12 h (Figuras 6 y 7).

Una vez que se alcanza el mediodía solar, la radiación solar llega a sus máximos valores; al mismo tiempo la conductividad térmica efectiva se incrementa, observándose la mayor conductividad térmica en el absorbedor C.

5. Conclusiones

Las diferencias observadas en la resistencia térmica y de conductividad térmica efectiva entre la barra y el tubo hueco de acero (heat pipe) se pueden atribuir a que los mecanismos de transferencia de calor no son semejantes. El fluido de trabajo en el tubo hueco (heat pipe) contribuye a la estabilidad de la resistencia térmica y de la conductividad térmica efectiva calculada.

Los tubos de cobre presentan mayor conductividad térmica efectiva y, con ello, se refleja en un mejor desempeño del sis-

tema del colector solar térmico conformado.

En la comparativa de los tubos de cobre, el de menor diámetro presenta un mejor comportamiento para los colectores ensayados. Esto se puede atribuir a la interacción entre el fluido de trabajo y el tubo.

El recurso solar empleado en los ensayos para calentar fluidos como aire y agua, no aportó calentamiento adicional al ambiente, no generó gases contaminantes ni de efecto invernadero, que son ventajas de la energía solar, es decir, es respetuoso con el ambiente.

En base a los prototipos descritos y a los desarrollos en esta línea de investigación, se avizora un horizonte prometedor en el que el aprovechamiento de la energía solar térmica realizaría un aporte sustancial y valedero en el ámbito energético. Asimismo, esto no alcanza para el delineado de políticas que impulsen y sostengan desarrollos con energías renovables es preciso analizar el comportamiento de los mercados mundiales de los recursos energéticos de petróleo, gas y carbón, con particular énfasis sobre el primero, fundamentalmente por parte de los países periféricos.

Es indispensable el análisis permanente de la evolución internacional, sobre todo para los países periféricos, en aras de ajustar la estrategia doméstica energética y adaptar su accionar a mediano y largo plazo en materia de recursos y equipamiento, sin olvidar el uso racional y eficiente de la energía. La enorme dispersión de valores y aleatoriedad observable en los costos de producción de energía eléctrica en particular y de energía en general, en todo el mundo, impone la necesidad de re estudiar críticamente, el tema del costo marginal de largo plazo de la energía, explicitando sus resultados y fundamentalmente las hipótesis asumidas para su implementación.

Referencias

Carrión-Chamba, W., Murillo-Torres, W., & Montero-Izquierdo, A. (2022). *Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria*. Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, (27), 59-73.

Cattaneo C. A., Gomez Khairallah A. O.; Togo P. S. (2021). *Determinación de variables térmicas de heat pipe tubulares, utilizados en colectores solares para calentar aire*. La investigación científica en la Universidad Nacional de Santiago del Estero y sus aportes a la sociedad.

Cengel, Y. A. (2012). *Termodinámica* (7a.ed.). México: cGraw-Hill.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Radiation. Solar Engineering of Thermal Processes, 4th. Ed.*, Hoboken, New Jersey: Wiley.

Ghazouani, M., Bouya, M., & Benaissa, M. (2020). *Thermo-economic and exergy analysis and optimization of small PTC collectors for solar heat integration in industrial processes*. Renewable Energy, 152, 984-998.

Handayani, T., Harvey, A. P., Dalton, J., Reay, D. (2012). *Selection of the optimum working fluids in organic rankine cycles using TOPSIS*. Chemical Engineering Transactions, 29, 139-144.

Hari, R., Muraleedharan, C. (2016). *Analysis of effect of heat pipe parameters in minimising the entropy generation rate*. Journal of Thermodynamics, 2016.

Holman, J. P., & Valenzuela, R. (1998). *Transferencia de calor (No. 660.28427 H65 1986.)*. São Paulo: McGraw-Hill.

IEA (2017) *Renewable Energy for Industry*, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/renewable-energy-for-industry, License: CC BY 4.0. Acceso abril de 2023.

Jafari, D., Franco, A., Filippeschi, S., & Di Marco, P. (2016). T*wo-phase closed thermosyphons: A review of studies and solar applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 575–593.

Jiao, B., Qiu, L. M., Zhang, X. B., & Zhang, Y. (2008). *Investigation on the effect of filling ratio on the steady-state heat trans-*

fer performance of a vertical two-phase closed thermosyphon. Applied Thermal Engineering, 28(11–12), 1417–1426.

Kamyar, A., Ong, K. S., & Saidur, R. (2013). *Effects of nanofluids on heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 65, 610-618.

Piqueras, P. (2016) Univisión noticias. La energía solar térmica es la fuente más económica limpia para refrigerar y dar calefacción al mundo. http://www.univision.com/noticias/medio-ambiente/la-energia-solar-termica-es-la-fuente-maseconomica-y-limpia-para-refrigerar-y-dar-calefaccion-al-mundo Accedido abril de 2023

Sastoque, E. G. & Ortiz, F. M. (2018). *Revisión del estado del arte de la determinación experimental del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura*. http://hdl.handle.net/11371/1566 Accedido abril de 2023.

Rassoulinejad-Mousavi, S. M., Porkhial, S., Layeghi, M., Nikaeen, B., & Samanipour, H. (2012). *Experimental study on thermal behavior of a stainless steel-di water flat plate heat pipe*. World Applied Sciences Journal, 16(10), 1393-1397.

Rathod, M. K., & Banerjee, J. (2013). *Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review*. Renewable and sustainable energy reviews, 18, 246-258.

Rodríguez Mejía, J.R. (2016) *Tesis Maestría en Ingeniería*. http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/bitstream/20.500.11845/1698/1/Tesisn%20Jeovany%20Rafael%20Rodr%C3%ADguez%20Mej%C3%ADa.pdf Acceso 17/02/2023

Skenta. (2016) Energía solar térmica. Argentina podría ahorrar un 20% de gas natural. http://www.skenta.com.ar/novedades/energia-solar-termica-argentina-podria-ahorro-de-energia-agua-caliente-solar Accedido abril de 2023

Solomon, A. B., Sekar, M., & Yang, S. H. (2016). *Analytical expression for thermal conductivity of heat pipe*. Applied Thermal Engineering, 100, 462-467..

Togo, P., Gómez Khairallah, A., Cattaneo, C. (2020). *Colector*

solar tubular heat pipe para el calentamiento de aire. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. 6, 139-144.

Togo, P., A., Gómez Khairallah, C., Cattaneo. (2018). *Rendimiento térmico de colector solar plano basado en tecnología Heat Pipe con diferentes fluidos de trabajo*. XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA, 4. 373-379.

Togo, P. S., Villalba, G.A., Biasoni, E.M., Larcher, L., Gómez Khairallah, A., Cattaneo, C.A. (2021) *Rendimiento de colectores heat pipes de placa plana de acero y cobre, para el calentamiento de aire*. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA 7, 451-457

Togo, P.S., Villalba, G.A., Gómez Khairallah, A., Cattaneo, CA., Biasoni, E.M., Larcher, L., Storniolo E. (2022) *Análisis comparativo de colectores Heat Pipes tubular y de barra maciza de hierro, para el calentamiento de aire* (enviado a CODINOA 2022)

Vasiliev, V. V., Jones, R. M., & Man, L. I. (1993) *Mechanics of composite structures*.

BIOLOGÍA DE PLANTAS BAJO ESTRÉS SALINO: FITOHORMONAS Y ESTRÉS OXIDATIVO

DIEGO A. MELONI[1,2], MARTÍN MOGGIO[2], RAMÓN O. LEDESMA[3], JOSÉ A. BEZERRA DA SILVA[4]

Resumen.

El estrés salino limita la producción vegetal en zonas áridas y semiáridas, y en las últimas décadas su impacto se incrementó como consecuencia del cambio climático global. El conocimiento de los mecanismos de tolerancia al estrés salino resulta de gran interés, ya que constituye la base para el mejoramiento genético de las especies. En este capítulo se describe la respuesta hormonal y el estrés oxidativo generado por la salinidad

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas. Cátedra de Biología. Santiago del Estero, Argentina.
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Biología y Ecología. Cátedra de Fisiología Vegetal. Santiago del Estero, Argentina.
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Ciencias Básicas. Cátedra de Lectocomprensión de textos en inglés. Santiago del Estero, Argentina.
4 Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro, BA, Brasil.

en plantas superiores, haciendo hincapié en especies nativas de la región fitogeográfica del Chaco Occidental. El estrés salino incrementó las concentraciones de ácido salicílico y la actividad de enzimas antioxidantes en hojas de Propis alba. Esta respuesta estuvo acompañada por un aumento en la actividad de enzimas antioxidantes. También produjo un aumento en las concentraciones foliares de ácido abscísico, que correlacionaron negativamente con la conductancia estomática.

Palabras clave: salinidad, halófitas, Chaco Occidental

1. Definición de suelos salinos, y problemática de la salinidad a nivel global

Los suelos salinos son aquellos que poseen una conductividad eléctrica superior a 4 dS m-1 en el extracto de saturación; dicho valor equivale a una concentración de aproximadamente 36 mmol l-1 de NaCl (Bui, 2013). Poseen una gran diversidad, y pueden tener altas concentraciones de sodio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, etc. Si además presentan elevadas concentraciones de carbonatos, son altamente alcalinos, con valores de pH superiores a 8 (Figura 1).



Suelos salinos:

- CE: 4 dS m^{-1} = 36 mmol l^{-1} de NaCl
- Presentan gran diversidad, y pueden ser ricos en sodio, cloruros, sulfatos, nitratos, bicarbonatos, magnesio y potasio
- Altos niveles de carbonatos: pH > 8

Figura 1. Características de suelos salinos.

La salinidad puede ser de origen geológico, determinada por la naturaleza de la roca madre, o antrópico, debido a las prácticas de riego y al cambio climático global. Este último está dado por el aumento en el nivel del mar, y en los valores de evapotranspiración en períodos de sequía (van Zelm et al, 2020).

La salinización geológica ocupa una superficie de aproximadamente un billón de hectáreas, que corresponde al 7% de la superficie del planeta. Además, tercera parte de los suelos irrigados están afectados por salinización antrópica, ocupando una superficie de aproximadamente 70 millones de hectáreas. Las proyecciones indican que, debido a la salinización de los suelos, en los próximos 25 años se perderá el 30% de la superficie cultivable, y a mediados de este siglo el 50% (Ludwig et al, 2018).

La salinización de los suelos es uno de los temas más relevantes en la agenda ambiental del siglo XXI, marcada por el aumento de la población mundial, y por ende una mayor demanda de alimentos. Dicha problemática es principalmente relevante en zonas áridas y semiáridas ya que, si bien solo el 15% de los suelos aptos para la agricultura están irrigados, ellos suministran el 45% de la producción global de alimentos (Omuto et al., 2020). En algunas regiones del planeta, las pérdidas en los cultivos agrícolas debido al aumento de la salinidad de los suelos, regula los patrones migratorios de los productores agropecuarios (Chen y Mueller, 2018).

Existen dos estrategias para mitigar el efecto perjudicial de la salinidad sobre la producción vegetal: la aplicación de enmiendas químicas para recuperar la fertilidad de los suelos, y el uso de la biotecnología, para la obtención de variedades tolerantes a la salinidad. La primera es costosa y puede producir una salinización secundaria de los suelos. La segunda estrategia requiere del conocimiento de los mecanismos bioquímicos, fisiológicos y moleculares que confieren a las plantas tolerancia al estrés salino (Hao et al., 2021).

2. Respuestas de las plantas al estrés salino

El estrés salino inhibe el crecimiento de las plantas y altera su desarrollo. En este sentido, la salinidad actúa mediante dos componentes: el efecto osmótico y el efecto tóxico.

En primer lugar, disminuye el potencial hídrico del suelo, inhibiendo así la absorción de agua. Este componente es equivalente a un estrés hídrico y es denominado efecto osmótico. Como consecuencia de él, las plantas que crecen en suelos salinos necesitan mayor energía para la absorción de agua, que aquellas que lo hacen en suelos no salinos (Figura 2). El ajuste osmótico es un mecanismo de tolerancia a este componente, y consiste en la síntesis de solutos osmocompatibles, como glicina betaína, prolina, azúcares solubles, etc. Todos ellos son solutos osmóticamente activos, compatibles con el metabolismo celular. De esta manera disminuye el potencial hídrico de los tejidos, y se mantiene la absorción de agua y turgencia celular.

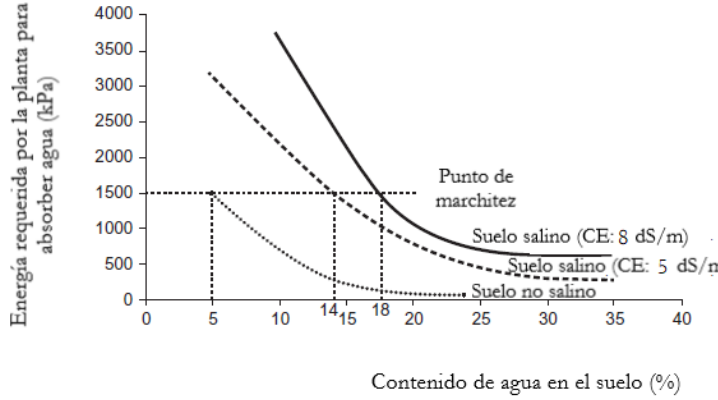


Figura 2. Energía requerida por las plantas para absorber agua, como función del contenido de agua, y su salinidad (Adaptado de Rengasamy, 2006).

El segundo componente corresponde al efecto tóxico, específico de los iones.

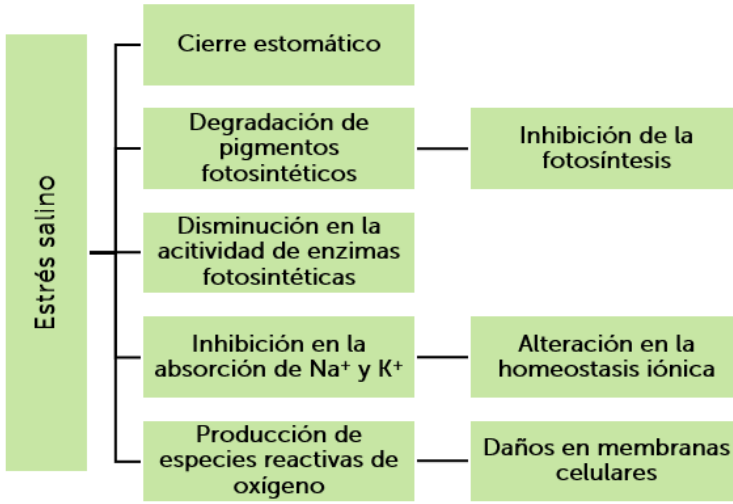


Figura 3. Respuestas fisiológicas de vegetales sometidos a 58888estrés salino.

A nivel fisiológico, se ha reportado que el estrés salino puede producir cierre estomático, degradación de pigmentos fotosintéticos, daños en la ultraestructura de los cloroplastos, disminución en la actividad de enzimas del ciclo de Calvin, inhibición en la absorción de calcio y potasio, y daño oxidativo en las membranas, debido a la síntesis de especies reactivas de oxígeno (Figura 3). Estas respuestas fisiológicas a su vez pueden inhibir la germinación de las semillas y el crecimiento de plantas, por ende, disminuir la producción de biomasa. También producen marchitamiento de hojas y acortamiento en el período vegetativo (van Zelm, Zhang y Testerink, 2020).

En la naturaleza existen plantas sensibles a la salinidad, denominadas glicófitas, y tolerantes a estas condiciones, llamadas halófitas.

En la región fitogeográfica del Chaco Occidental se han identificado numerosas especies halófitas, entre las que se destaca el vinal (*Prosopis ruscifolia*), capaz de tolerar concentraciones salinas equivalentes al agua de mar (Meloni, 2017a). Se han estudiado los mecanismos fisiológicos que confieren a esta especie tolerancia al estrés salino producido por el NaCl. Entre estos mecanismos se destacan el ajuste osmótico, el cierre estomático, que permite incrementar la eficiencia en el uso del agua, la exclusión de iones tóxicos de la parte aérea, que garantiza la homeostasis iónica en las hojas, y un eficiente mecanismo antioxidante, que previene la formación de especies reactivas de oxígeno (Meloni et al, 2018). También se ha demostrado que la adición de glicina betaína a las hojas de *P. ruscifolia*, disminuye el estrés oxidativo generado por el NaCl, medida a través de la acumulación de malondialdehido. Esta respuesta se debe al incremento en la actividad de enzima superóxido dismutasa, y a la disminución de la relación Na^+/K^+ (Meloni y Martínez, 2009).

En el algarrobo blanco (*Prosopis alba*) se han identificado respuestas fisiológicas y mecanismos de tolerancia similares a los reportados en *P. ruscifolia*, lo que sugiere que la salinidad tuvo un rol fundamental en la evolución de especies del género *Prosopis* en el Chaco Occidental (Meloni et al., 2017b). En esta especie, los estudios de emisión de fluorescencia de la clorofila a, demostraron que el NaCl produce inhibición no estomática de la fotosíntesis, al disminuir los índices de desempeño. Por lo tanto, el estrés salino inhibe la etapa fotoquímica de la fotosíntesis, disminuyendo la producción de ATP y NADPH. Este factor limita la fijación del dióxido de carbono en el ciclo de Calvin (Meloni, 2017a).

Contrastando *P. ruscifolia* y *P. alba*, el quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*), se comporta como una glicófita, con un umbral de tolerancia para el crecimiento de plántulas, de 100 mM de NaCl. La sensibilidad de esta espe-

cie, se debe en parte a su incapacidad para realizar ajuste osmótico, por lo que el estrés salino produce deshidratación de los tejidos, que se manifiesta mediante una brusca reducción en su contenido relativo de agua. En esta especie, la salinidad también produce una reducción en la concentración de clorofila a, disminuyendo así la capacidad de absorción de energía luminosa en la fotosíntesis (Meloni et al, 2008).

Los suelos salinos del Chaco Occidental presentan una composición química muy diversa; en algunos casos el cloruro de sodio es el componente más importante, en otros es el sulfato de sodio, aunque también pueden estar presentes simultáneamente ambas sales en diferentes proporciones (Meloni, 2017a). Una situación similar se ha reportado el norte de Canadá, sur de Nevada y sudeste de California, en los Estados Unidos, norte de México, Australia, y la parte central de Argentina (Irakoze et al., 2019). Por este motivo es importante conocer las respuestas de fisiológicas de especies nativas al estrés producido por el sulfato de sodio, ya que la mayoría de los trabajos realizados a nivel mundial han utilizado cloruro de sodio.

Las respuestas de las plantas frente a condiciones de estrés, están coordinadas por el balance de fitohormonas, entre ellas el ácido salicílico y el ácido abscísico. Pese a que se han realizado numerosos estudios, existen muchas discrepancias, ya que se han reportado resultados contradictorios.

3. Ácido salicílico

En un principio el ácido salicílico (AS) estuvo asociado específicamente a la respuesta de las plantas a patógenos. Luego de la infección se estimula la síntesis de ácido salicílico, que induce la respuesta de hipersensibilidad (RH) y resistencia sistémica adquirida (RSA), que previene la propagación del patógeno en el área infectada. Durante la RH, ocurre necrosis en el sitio de

ingreso del patógeno (Taiz et al., 2017).

Se han identificado dos rutas de biosíntesis de esta fitohormona (Figura 4). La primera involucra a la enzima isocorismato sintasa, la segunda a la fenilalanina amonio-liasa (PAL), aunque no todas las enzimas que intervienen en ambas rutas han sido identificadas en vegetales. La importancia relativa de cada ruta de biosíntesis varía según la especie en cuestión. Así, mientras en Arabidopsis se destaca la vía de la isocorismato sintasa, en arroz la más importante es la indicada por la PAL, y en soja ambas son igualmente relevantes (Lefevere et al, 2020).

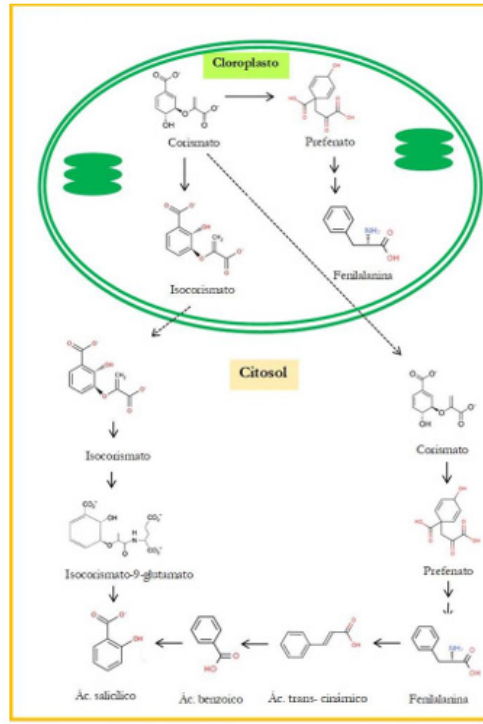


Figura 4. Rutas de síntesis de ácido salicílico en vegetales (Adaptado de Lefevere, Bauters y Gheysen, 2020).

Existen discrepancias sobre la función del ácido salicílico en la regulación de la tolerancia de las plantas al estrés salino. Esto se debe, entre otros motivos, a que la mayoría de los experimentos han evaluado su aplicación exógena. Por lo tanto, las concentraciones utilizadas suelen ser muy superiores a las endógenas.

En plántulas de *Vigna angularis*, esta fitohormona mitigó el efecto inhibitorio del estrés salino generado por el NaCl sobre la fotosíntesis y el crecimiento. Esta respuesta estuvo asociada al aumento de la actividad antioxidante de los tejidos, y la acumulación de solutos osmocompatibles que permitió mantener la turgencia celular (Ahanger et al., 2019). En *Vigna radiata*, la aplicación exógena de AS incrementó el crecimiento bajo estrés salino. Esta respuesta se debió a su rol benéfico sobre parámetros de intercambio gaseoso (respuesta estomática), y el funcionamiento del fotosistema II (Khan et al., 2014). Por el contrario, el AS no estuvo involucrado en la tolerancia de las halófitas *Lycium humile* y *Prosopis strombulifera* a altas concentraciones de NaCl, ni fue identificado como una señal de estrés (Palchetti et al., 2020; Devinar et al., 2013).

En *Torreya grandis*, la suplantación con AS mitigó la inhibición del crecimiento producida por el NaCl. Esta respuesta estuvo asociada a un aumento en las actividades de las enzimas superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa, con una concomitante disminución en la peroxidación de lípidos. También revirtió la inhibición de la fotosíntesis producida por el estrés salino, aumentando la conductancia estomática (Li et al., 2014).

Se ha sugerido que el efecto del AS sobre el estrés oxidativo, depende de su concentración. En trigo, la aplicación exógena de altas concentraciones de AS (2,5 mM) produjo acumulación de especies reactivas de oxígeno, debido a la inhibición de las enzimas superóxido dismutasa, ascorbato peroxidasa, catalasa, y glutatión reductasa. El efecto opuesto se logró con bajas concentraciones (0,25 mM) de esta fitohormona (Chen et al., 2016). Estos autores también demostraron que la aplicación

de 2,5 mM de AS incrementó el contenido de las proteínas D1 y Lhcb6 en la membrana tilacoidal del cloroplasto; esta última involucrada en el *quenching* no fotoquímico. Por lo tanto, el AS jugaría un rol importante en regular las proteínas de la membrana tilacoidal, bajo diferentes estreses ambientales.

En *Vitis vinífera* sometida a estrés salino con NaCl, la aplicación de AS en hojas disminuyó las concentraciones de Na^+ y Cl^-, e incrementó las concentraciones de K^+, Ca^{2}+ y Mg^{2+} (Armiri et al., 2014). En dicha especie, Álvarez Méndez et al. (2021) estudiaron las respuestas al estrés salino con NaCl en los cultivares "*Castellana negra*" y "*Negramoll*". El cultivar "*Castellana negra*" fue más tolerante a la salinidad que "*Negramoll*"; dicha tolerancia estuvo correlacionada con mayores concentraciones endógenas de ácido salicílico.

Investigaciones conjuntas entre la UNSE y la Universidad Federal do Vale São Francisco (Brasil), abordaron la respuesta hormonal de especies nativas del Chaco Occidental, sometidas a estrés salino. En algarrobo blanco (Prosopis alba), el estrés salino generado con Na2SO4 incrementó las concentraciones foliares de AS. En las plántulas crecidas en presencia de -1,2 MPa de Na_2SO_4, la concentración de AS fue diez veces superior a la del testigo (Figura 5).

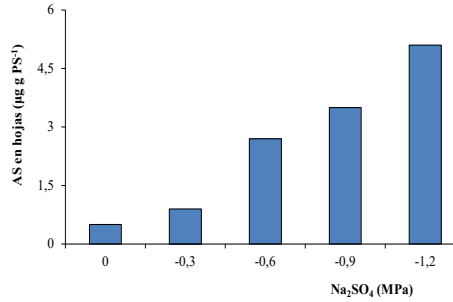


Figura 5. Concentraciones de ácido salicílico en hojas de plántulas de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) crecidas en concentraciones crecientes de sulfato de sodio.

El aumento en las concentraciones foliares de AS estuvo acompañado por un incremento en la actividad de enzimas antioxidantes, principalmente glutatión reductasa (Figura 6). En potenciales osmóticos de -1,2 MPa de Na2SO4 la actividad de esta enzima fue siete veces mayor que en el testigo.

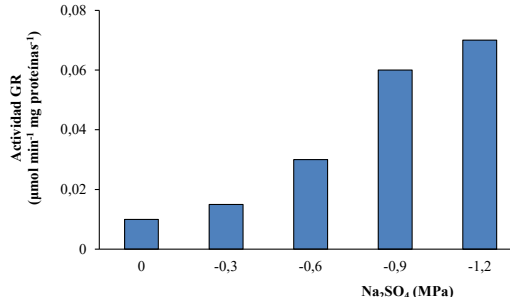


Figura 6. Actividad GR en hojas de plántulas de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) crecidas en concentraciones crecientes de sulfato de sodio.

El estrés con Na_2SO_4 también aumentó la actividad catalasa, pero en menor magnitud que la actividad glutatión reductasa (Figura 7). La actividad de dicha enzima se incrementó a partir de potenciales osmóticos de -0,6 MPa de Na_2SO_4, y en potenciales de -1,2 MPa fue 66% mayor que el testigo.

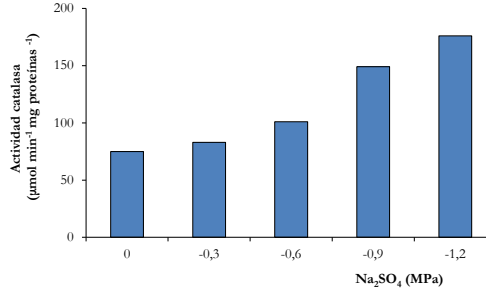


Figura 7. Actividad catalasa en hojas de plántulas de algarrobo blanco (Prosopis alba) crecidas en concentraciones crecientes de sulfato de sodio.

4. Ácido abscísico (ABA)

El ABA es sintetizado en casi todas las células que contienen cloroplastos o amiloplastos, y ha sido detectado en todos los órganos y tejidos. Es un terpenoide de quince carbonos, sintetizado por una ruta indirecta, vía carotenoides intermediarios de cuarenta carbonos (Figura 8).

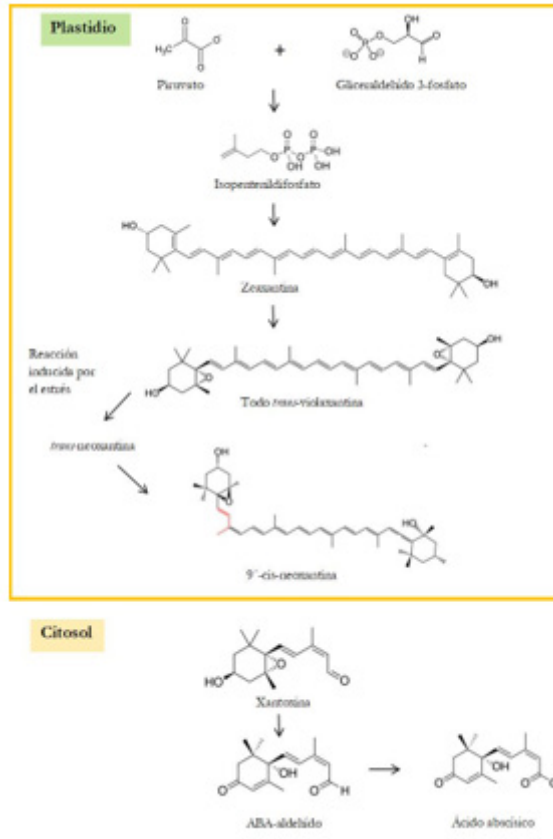


Figura 8. Ruta de síntesis del ácido abscísico en vegetales (adaptado de Taiz, Zeiger y Møller, 2017).

Las etapas iniciales ocurren en plastidios, y su tasa de síntesis está regulada a nivel de la enzima 9-cis-epoxicarotenoide dioxigenasa, que produce xantoxina. Posteriormente la xantoxina es transportada al citosol, donde luego de una serie de reacciones produce ABA (Taiz et al., 2017).

El ABA puede inactivarse por acción de la enzima ABA-8'-hidroxilasa. También puede hacerlo por conjugación, aunque este proceso es reversible.

Las concentraciones de ABA pueden fluctuar drásticamente en tejidos específicos, durante el desarrollo o en respuesta a cambios en las condiciones ambientales. Así, en condiciones de estrés hídrico, las concentraciones de ABA pueden incrementarse hasta 50 veces en 4 u 8 horas (Taiz et al., 2017).

Esta hormona forma parte de una compleja red de señalización, que regula a nivel transcripcional y postraduccional, varios procesos de crecimiento y desarrollo en plantas superiores. Luego de la germinación, en condiciones desfavorables, la acumulación de ABA retrasa la transición a la fase de crecimiento de plántula, induciendo la acumulación de la proteína ABI5. Esta proteína actúa como un punto de control durante el desarrollo temprano, disminuyendo la tasa de crecimiento en condiciones adversas (Tanaka et al, 2013).

El ABA confiere tolerancia al estrés abiótico, en particular hídrico y salino. Utilizando biosensores, se ha demostrado que cuando la humedad disminuye, o cuando se incrementa la concentración salina, aumenta la concentración de ABA en las células guarda de Arabidopsis. Sin embargo, no siempre existe una correlación positiva entre la concentración endógena de ABA y la tolerancia al estrés hídrico. Así, algunas especies nativas de las regiones áridas muestran una respuesta plástica a estas condiciones ambientales. Cenzano, Masciarelli y Luna (2014) cuantificaron las concentraciones de ABA en pasturas nativas de la Patagonia argentina. Demostraron que la especie mesofítica *Poa ligularis* tiene concentraciones de ABA muy su-

periores a la xerofítica *Papostypa speciosa*.

Palchetti et al. (2020) estudiaron las respuestas metabólicas de la halófita *Lycium humile* crecida en diferentes niveles de salinidad con NaCl. Estos autores reportaron aumentos moderados en las concentraciones de ABA en concentraciones 750 mM de NaCl, e incrementos bruscos en concentraciones salinas de 1000 mM de NaCl. Atribuyeron la primera respuesta, a un mecanismo de tolerancia a la salinidad, que podría consistir en la activación de rutas de señalización que modifican la expresión de genes. También relacionaron los incrementos abruptos en la concentración de esta hormona, a los daños producidos por el estrés.

En *Prosopis strombulifera*, el Na2SO4 produjo aumentos significativos en las concentraciones foliares de ABA (Devinar et al., 2013). Estos autores sugirieron que la acumulación de ABA en hojas tendría un rol protector contra la deshidratación.

En plántulas de *Prosopis alba*, en ausencia de estrés salino, las concentraciones de ABA en hojas, fueron aproximadamente 50% menores que en las raíces (Figuras 9, 10). La intensidad de la respuesta de esta hormona al estrés salino por Na_2SO_4, difirió en hojas y raíces. En las hojas, la concentración de ABA se incrementó bruscamente, y en el potencial osmótico de -1,2 MPa alcanzó valores superiores a 250% con respecto al testigo.

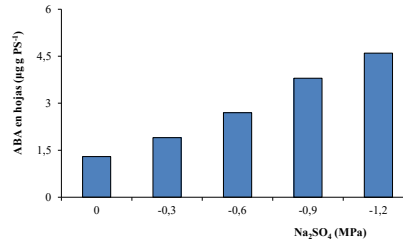


Figura 9. Concentraciones de ácido abscísico en hojas de plántulas de algarrobo blanco (Prosopis alba) crecidas en concentraciones crecientes de sulfato de sodio.

En las raíces, la concentración de ABA se incrementó gra-

dualmente, siendo en potenciales osmóticos de -1,2 MPa de Na_2SO_4, 67% mayores que en el testigo.

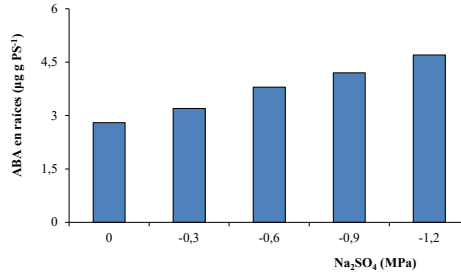


Figura 10. Concentraciones de ácido abscísico en raíces de plántulas de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) crecidas en concentraciones crecientes de sulfato de sodio.

Estas respuestas en las concentraciones de ABA, inducidas por el Na_2SO_4, correlacionaron negativamente con la conductancia estomática (Figura 11). Dicho comportamiento sugiere que el ABA permitiría disminuir la tasa transpiratoria, aumentando así la eficiencia en el uso del agua en condiciones de estrés salino.

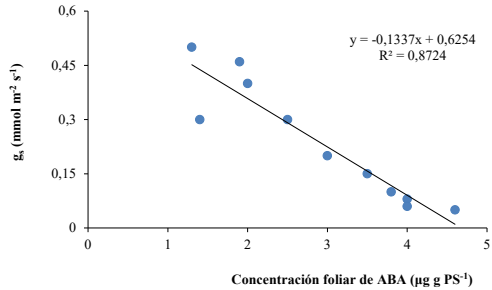


Figura 11. Correlación entre la concentración de ácido abscísico en hojas de *P. alba* sometidas a estrés salino con Na_2SO_4, y la conductancia estomática (gs).

En vinal (*Prosopis ruscifolia*) el estrés salino generado por Na_2SO_4 también produjo cierre estomático, y disminución de

la transpiratoria (Meloni et al, 2022), aunque todavía no se ha investigado el rol de las hormonas en este comportamiento.

5. Futuras investigaciones

En los próximos ensayos se evaluarán las respuestas de especies nativas del Chaco Occidental, sometidas a estrés salino con NaCl y Na_2SO_4, combinados en distintas proporciones. Este aspecto resulta de gran interés ya que, en muchos suelos de la región, ambas sales se encuentran presentes en distintas concentraciones.

También es importante evaluar el comportamiento del germoplasma, recolectado de individuos que crecen en suelos con distintas concentraciones salinas.

Debido a la importancia que posee el metabolismo en el comportamiento de las plantas sometidas a condiciones de estrés, la implementación de estudios de metabolómica resulta muy relevante, y constituye un gran desafío para futuras investigaciones. Para ello, se están realizando contactos con centros especializados en la materia.

Referencias

Ahanger, M.A., Aziz, U., Alsahli, A.A., Alyemeni, M.N. y Ahmad P. (2019). *Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate-glutathione cycle in salt stressed Vigna angularis*. Biomolecules 26, 42-51.

Álvarez-Mendez, S.J., Urbano-Gálvez, A., Vives-Peris, V., Pérez Gómez-Cadena, A., Clemente, R. y Mahouachi, J. (2021). *Effects of salt stress on plant growth, abscisic acid and salicylic acid in own-rooted cultivars of Vitis vinifera L.* Spanish Journal of Agricultural Research 19, e0803.

Armiri, J., Eshghi, S., Tafazoli, E., Kholdebarin, B. y Abbaspour, N. (2014). *Ameliorative effects of salicylic acid on mineral concentrations in roots and leaves of two grapevine ("Vitis vinifera" L.) cultivars under salt stress*. Journal of Grapevine Research 53, 181-188.

Bui, E.N. (2013). *Soil salinity: a neglected factor in plant ecology and biogeography*. Journal of Arid Environments 92, 14-25.

Cenzano, A.M., Masciarelli, O. y Luna, M.V. (2014). *Abscisic acid metabolite profiling as indicators of plastic responses to drought in grasses from arid patagonian monte (Argentina).* Plant Physiology and Biochemistry 83, 200-206.

Chen, Y.E., Cui, J.M., Li, G.X., Shuan, M., Zhang, Z.W. y Zhang, H.Y. (2016). E*ffect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings.* Biologia Plantarum 60, 139–147.

Chen, J. y Mueller, V. (2018). *Coastal climate change, soil salinity and human migration in Bangladesh*. Nature Climate Change 8, 981–85.

Devinar, G., Llanes, A., Masciarelli, O. y Luna, V. (2013). *Different relative humidity conditions combined with chloride and sulfate salinity treatments modify abscisic acid and salicylic acid levels in the halophyte Prosopis strombulifera.* Plant Growth Regulation 70, 247–256.

Hao, S., Wang, Y., Yan, Y., Liu, Y., Wang, J. y Chen, S.A. (2021). *Review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance*. Horticulturae 7, 132-145.

Irakoze, W., Vanpee, B., Rufyikiri, G., Dailly, H., Nijimbere, S. y Lutts, S. (2019) *Comparative effects of chloride and sulfate salinities on two contrasting rice cultivars (Oryza sativa L.) at the seedling stage.* Journal of Plant Nutrition 42, 1-15.

Khan, M.I., Asgher, M. y Khan, N.A. (2014). *Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (Vigna radiata L.).* Plant Physiology and Biochemistry 80, 67-74.

Lefevere, H., Bauters, L. y Gheysen, G. (2020) *Salycilic acidbiosynthesis in plants*. Fronstiers in Plant Science 11, 3883.

Li, T., Hu, Y., Du, X., Tang, H., Shen, C. y Wu, J. (2014). *Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in Torreya grandis cv. Merrillii seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems*. PLOS Climate 9, e109492.

Ludwig, M., Wilmes, P. y Schrader, S. (2018). *Measuring soil sustainability via soil resilience.* Science of the Total Environment 626, 1484–1493.

Meloni, D.A., Gulotta, M.R. y Martínez, C.A. (2008). *Salinity tolerance in Schinopsis quebracho colorado: seed germination, growth and metabolic responses*. Journal of Arid Environments 72, 1785-1792.

Meloni, D.A. y Matínez, C.A. (2009). *Glycinebetaine improves salt tolerante in vinal (Prosopis ruscifolia Griesbach) seedlings*. Brazilian Journal of Plant Physiology 21, 233-241.

Meloni, D.A. (2017a). Fisiología vegetal. *Respuestas de especies leñosas al estrés salino.* EDUNSE, Santiago del Estero, Argentina.

Meloni, D.A., Catán, E.A., Targa, M.G., Fraño, A. y Degano, C.A. (2017b). *Bases anatómicas y fisiológicas de la tolerancia al estrés salino de Prosopis alba G.* En: Albanesi, A.S., Nuñez, J.A., Helman, S., Nazareno, M., Rodríguez, S. (eds.) Aportes de la FAyA para el desarrollo agropecuario y agroindustrial del NOA., vol. 1, págs. 31-41. Editorial Orientación Gráfica.

Meloni, D.A., Moura Silva, D. y Bolzón, G.I. (2018). *Fisiología de especies forestales bajo estrés salino: conocimientos y desafíos*. En: Giménez, A.M., Bolzón, G.I. (eds.) Los bosques y el futuro. Consolidando un vínculo permanente en educa-

ción forestal, págs. 85-97. Editorial FCF-UNSE.

Meloni, D.A., Bezerra da Silva, J.A. y Lescano, J.A. (2022). *Variables de intercambio gaseoso en plantines de Prosopis ruscifolia sometidos a estrés salino con Na_2SO_4*. En: XXXIX Jornadas Científicas de la asociación de Biología de Tucumán., pág. 60, Editorial Asociación de Biología de Tucumán, San Miguel de Tucumán.

Omuto, C.T., Vargas, R.R., El Mobarak, A.M., Mohamed, N., Viatkin, K. y Yigini, Y. (2020). *Mapping of salt-affected soils: technical manual*. FAO, Roma.

Palchetti, M.V., Llanes, A., Reginato, M., Barboza, G., Luna, V. y Cantero, J.J. (2020). *Germination responses of Lycium humile, an extreme halophytic Solanaceae: understanding its distribution in saline mudflats of the southern Puna.* Acta Botanica Brasilica 34, 540–548.

Rengasamy, P. (2006). *World salinization with emphasis on Australia.* Journal of Experimental Botany 57, 1017–1023.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. y Murphy, A. (2017). F*isiología e desenvolvimento vegetal*. Editorial ARTMED, Porto Alegre, Brasil.

Tanaka, Y., Sugano, S.S., Shimada, T. y Hara Nishimura, I. (2013). *Enhancement of leaf photosynthetic capacitythrough increased stomatal density in Arabidopsis*. New Phytologist 198, 757-764.

van Zelm, E., Zhang, Y. y Testerink, C. (2020). *Salt tolerance mechanisms of plants.* Annual Review of Plant Biology 29, 403-433.

MENTHA SPICATA L.: DEL CAMPO A LA INDUSTRIA. AGROECOLOGÍA, TAXONOMÍA, FITOQUÍMICA Y FARMACOLOGÍA

Diego A. Meloni[1], Allessandro O. Rios[2], Julia A. Lescano[3], Fernando Garay[4], Rosa E. Beltrán[5]

Resumen.

Mentha spicata L, comúnmente llamada hierbabuena, se cultiva en regiones de climas tropicales, subtropicales y templa-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas. Cátedra de Biología. Santiago del Estero, Argentina
2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Ciência e Tecnología de Alimentos. Porto Alegre, Brasil
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas. Cátedra de Genética. Santiago del Estero, Argentina
4 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Producción Agropecuaria. Cátedra Cultivos Industriales. Santiago del Estero, Argentina
5 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas. Cátedra Protección Vegetal. Santiago del Estero, Argentina

dos, debido al valor comercial del producto fresco, y de sus aceites esenciales. Este capítulo realiza una revisión de la taxonomía, los requerimientos agroecológicos de la especie, las bases biológicas de la producción de los aceites esenciales, su composición química y aplicaciones farmacológicas. Se hace hincapié en los resultados experimentales obtenidos por los autores, a lo largo de quince años de investigación en esta temática. En la zona de riego del río Dulce, Santiago del Estero, la especie produce aceites esenciales de alta calidad, dada por el elevado contenido de carvona, que supera el 51%. Dichos aceites poseen importantes propiedades: actividad antifúngica, antioxidante, y antidiabética, conferidas por su composición química. Estas propiedades también están determinadas por los tratamientos de fertilización, y en particular por los fertilizantes orgánicos.

Palabras clave: aceites esenciales, especies medicinales, especies aromáticas, hierbabuena

1. Taxonomía y morfología del género Mentha

El género Mentha pertenece a la familia Laminaceae, y se originó en el sur de Europa y la región mediterránea (Tafrihi et al., 2021).

La taxonomía del género Mentha es compleja y frecuentemente cuestionada, debido a la alta frecuencia de hibridación interespecífica, tanto en poblaciones naturales como en cultivos. Con base en características morfológicas, citológicas, genéticas y bioquímicas, se han identificado 42 especies de este género, y cientos de subespecies, variedades y cultivares (Mamadalieva et al., 2017). Se han producido once híbridos naturales a partir de las especies *M. arvensis* L., *M. aquatica* L., *M. spicata* L., *M. longifolia* L. y *M. suaveolens* Ehrh. La mayoría de los híbridos son infértiles pero pueden propagarse mediante sus rizomas.

Hierbabuena (*Mentha spicata*, L.) es una planta perenne, que se propaga mediante rizomas, y dependiendo de las condiciones agroecológicas puede alcanzar una altura de 30 cm hasta un metro. Posee hojas sésiles, lanceoladas u ovado–lanceoladas, glabras o subglabras, con algunos pelos ramificados principalmente en el envés. Presenta inflorescencias simples o ramificadas. Las flores poseen cáliz campanulado de 1 a 3 mm, actinomorfo, con cinco dientes, glabro. La corola es lila, rosada o blanca, de 4 a 5 mm, con cuatro lóbulos.

2. Requerimientos agroecológicos

Las especies de este género son cultivadas en regiones tropicales, subtropicales y templadas. Temperaturas de 20 a 25°C favorecen el crecimiento vegetativo, pero altas temperaturas (superiores a los 30°C) incrementan la producción de aceites esenciales (Salehi et al., 2018).

Pueden cultivarse en suelos con características fisicoquímicas diversas, aunque los más apropiados son arenosos y limosos y ricos en materia orgánica. El pH del suelo es un factor determinante del rendimiento, con valores óptimos dentro del rango 6 a 7,5 (Salehi et al., 2018).

El cultivo es poco tolerante al estrés hídrico y requiere suelos bien drenados con una adecuada provisión de agua (Okwany et al., 2012). El estrés hídrico no solo disminuye la producción de biomasa, también reduce el rendimiento en aceites esenciales (Okwany, Peters y Ringer, 2009). Por este motivo, en Santiago del Estero se la cultiva en la zona de riego del río Dulce.

Nuestro grupo de investigación ha estudiado el comportamiento de *M. spicata* en la zona de riego del río Dulce, durante quince años. En todas las campañas se realizaron entre dos y tres cortes por año, con rendimientos que oscilaron entre 10,5

a 16, 6 t ha-1 de materia fresca (Meloni et al., 2019). El desarrollo vegetativo de las plantas fue vigoroso con una importante floración (Figura 1). Se observaron numerosos insectos polinizadores, lo que sugiere que el cultivo podría ser beneficioso para la actividad apícola de la región.

La producción de aceites esenciales es altamente dependiente de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En Santiago del Estero, en la zona de riego del río Dulce, se estudió el efecto de la fertilización nitrogenada, sobre el rendimiento y calidad de aceites esenciales de *M. spicata*. El rendimiento en aceites esenciales en el testigo fue de 0,8%, y en los suelos fertilizados con 0,15 t ha-1 de urea, se incrementó a 1,2%. El mayor rendimiento (1,7%) se obtuvo en la fertilización orgánica con 5 t ha-1 de vermicompost. La calidad de los aceites esenciales, dada por la concentración de carvona, siguió la misma tendencia (Meloni et al., 2021).





Figura 1. Cultivo de *Mentha spicata* en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la UNSE, en plena floración.

El metabolismo de aceites esenciales depende de variables ambientales como la temperatura y la intensidad luminosa. Por este motivo su rendimiento y composición química oscila a lo largo del año, y presenta ritmos circadianos. En Santiago del Estero, el rendimiento en aceites esenciales es máximo a las 9 a.m. observándose posteriormente una importante disminución. Pese a ello, el contenido de carvona y limoneno, que determinan su calidad, se incrementa al atardecer, con valores máximos a las 19 h (Figura 2).

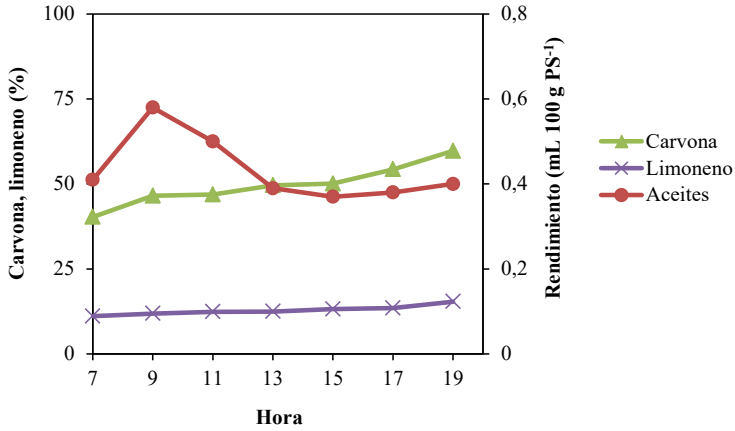


Figura 2. Rendimiento en aceites esenciales, y porcentaje de carvona y limoneno, en plantas de *Mentha spicata* cuantificados en diferentes horas del día.

Estos resultados son de gran interés de gran interés, para determinar el horario más adecuado para realizar la cosecha. Si se desea obtener mayor rendimiento en aceites esenciales, la cosecha debería realizarse por la mañana, pero si el objetivo es lograr un aceite de mejor calidad, debería efectuarse al atardecer.

3. Bases biológicas y bioquímicas de la producción de aceites esenciales

Las especies de Mentha son ricas en polifenoles, y además contienen ácido cafeico y derivados del ácido caftárico, ácido cinámico, ácido ferúlico y ácido oleanólico. También poseen flavonoides, incluyendo luteolina y sus derivados apigenina, acacetina, diosmina, alvigenina y timonina (Lawrence, 2006;

Pereira y Cardoso, 2013). En la Tabla 1 se detallan los principales compuestos de las especies de Mentha de importancia comercial, y en la Figura 3 las estructuras químicas.

	Principales componenetes	Especie
I	Geraniol Acetato de geranilo	*M. arvensis*
II	Linalol Acetato de linalilo	*M. aquatica, M. longifolia, M. spicata*
III	Carvona Dihidrocarvona	*M. longifolia, M. spicata, M. suaveolens, M x villosa*
IV	Piperitona Óxido de piperitona	*M. longifolia*
V	Piperitenona Óxido de piperitenona	*M. longifolia, M. spicata, M. suaveolens, M x villosa*
VI	Mentofurano	*M. aquatica*
VII	Pulegona Isopulegona	*M. arvensis*
VIII	Pulegona/Mentofurano Isomentona	*M. arvensis, M. spicata, M. suaveolens*
IX	Mentona/Isomentona Isómeros de mentol	*M. arvensis, M. longifolia, M x piperita*

Tabla 1. Quimiotipos descriptos en el género Mentha (adaptado de Lawrence, 2006)

En lo que respecta a la composición química de *M. spicata*, sus hojas, tallos y flores son ricos en polifenoles, en particular ácidos cafeico, rosmarínico y clorogénico.

Los flavonoides son uno de los principales compuestos fenólicos, importantes en la dieta. Se clasifican en seis grupos, incluyendo flavonoles, flavanonas, antocianinas, flavonoles, isoflavonas y flavonas. En extractos acuosos y etanólicos de la parte aérea de esta especie, se identificaron 22 flavonoides,

entre los que se destacan apigenina, diosmín, luteolina, cirsilineol, desmetilnobiletina y timusina (Erenler et al., 2018).

Los aceites esenciales de este género se encuentran entre los más demandados en el mercado mundial, comercializándose más de U$S 500 millones anuales. Se extraen principalmente mediante hidrodestilación o destilación por arrastre de vapor. También se ha utilizado microextracción en fase sólida (Brahmi et al., 2017).

Se caracterizan por ser incoloros, de color amarillo pálido o amarillo verdoso. En lo que respecta a su composición química, son ricos en alcoholes, cetonas, ésteres, éteres y óxidos. Según la especie, esos aceites se caracterizan por la presencia de mentol, mentona, isomentona, acetato de mentilo, linalool, acetato de linalilo, lipiona, pulegona, carvona, óxido de piperitenona y el epóxido de cis-piperitona.

En *M. spicata*, el rendimiento en aceites esenciales se encuentra en el rango de 0,04 a 2,1 %, constituidos aproximadamente por 67,2% de monoterpenos oxigenados, 20,8% de monoterpenos hidrocarbonados, 7,5% de sesquiterpenos hidrocarbonados, 1,2 % de sesquiterpenos oxigenados y 1,7% de otros compuestos. Entre los monoterpenos, los principales componentes son carvona (22-73%) y limoneno (8-31%), atribuyéndose a la carvona el típico aroma y el sabor de la especie (Bardaweel, 2018).

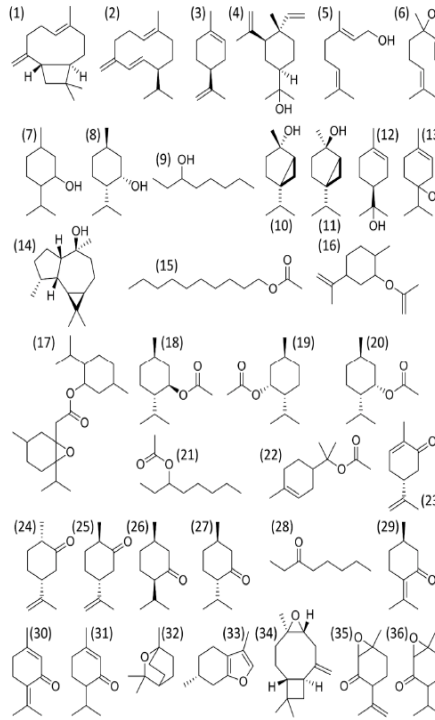


Figura 3. Principales compuestos presentes en aceites esenciales de especies del género Mentha: (1) β-cariofileno, (2) germacreno D, (3) limoneno, (4) elemol, (5) geraniol, (6) linalol, (7) mentol, (8) neo-mentol, (9) 3-octanol, (10) hidrato de cis-sabineno, (11) hidrato de trans-sabineno, (12) α-terpineol, (13) terpineno-4-ol, (14) viridoflorol, (15) acetato de decilo (16) acetato de dihidrocarboxilo, (17) aceta-to de 1,2- epoxineomentilo, (18) acetato de mentilo, (19) acetato de neoisomentilo, (20) acetato de neomentilo, (21) 3-oxil-acetato, (22) acetato de α-terpinilo, (23) carvona, (24) cis-hidrocarvona, (25) trans-hidrocarvona, (26) isomentona, (27) mentona, (28) 3-octanona, (29) pulegona, (30, 31) piperitenona, (32) 1,8-cineol, (33) mentofu-rano, (34) óxido de cariofileno, (35,36) óxido de piperitenona (Según Salehi et al., 2018).

Sin embargo, la composición química de los aceites esenciales de *M. spicata* varía según la variedad, y la región, habiéndose identificado varios quimiotipos. Según Teixeira et al. (2014), en Brasil, los principales componentes de los aceites esenciales son la piperitona (81,18%) y el óxido de piperitenona (94,8%).

En Irán se ha identificado dos quimiotipos, uno de ellos se caracteriza por poseer 39,1% de isomentona (Zeinali et al., 2005), y otro tener 48% de limoneno y 20,27% de piperiotina (Rasooli et al., 2008). Según Meloni et al. (2019), en la zona de riego del río Dulce, Santiago del Estero, los principales compuestos identificados en los aceites esenciales son: carvona (60,72-68,09%), limoneno (14,23-16,41%), α-pineno (0,12-3,14%), β-mirceno (0,35-2,33%), 1,8-cineol (1,69-2,73%), cis-dihidrocarvona (1,82-2,31%), trans-craveol (1,09-1,19%), β-bourboneno (2,44-3,17%) y β-cariofileno (1,42-1,82%). Estos aceites esenciales cumplen los requerimientos de calidad exigidos por la industria, que exige una concentración de carvona superior al 51%.

Los aceites esenciales se sintetizan en células secretoras de pelos glandulares. Los aceites esenciales son sustancias lipofílicas producidas por tejidos secretores especializados llamados glandulares. Estos tricomas se localizan principalmente en las superficies de hojas y tallos. En el género Mentha se han reportado dos tipos de tricomas glandulares: pequeños, capitados, con una sola célula secretora, y grandes, peltados con ocho células secretoras, sostenidas por un tallo y una célula basal (Figura 4).

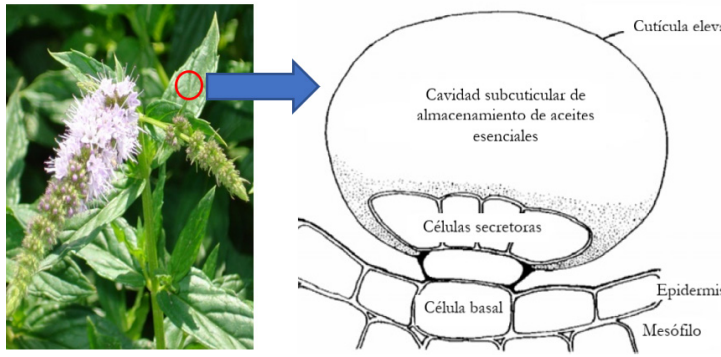


Figura 4. Esquema de un pelo glandular peltado de Mentha piperita, detallando la ubicación de las estructuras epidérmicas (Adaptado de Turner et al., 1999).

Maffei et al, (1989), utilizaron microscopía electrónica de barrido para estimar el número de glándulas y su densidad, en hojas de Mentha piperita de diferentes edades. Así demostraron que las hojas jóvenes contenían menos tricomas glandulares que las hojas adultas. Por lo tanto, la producción de glándulas se incrementa a medida que la hoja se desarrolla y aumenta el área foliar. También observaron una correlación positiva entre el tamaño y edad de la hoja, y la producción de monoterpenos.

Se ha demostrado que la producción de nuevas glándulas es continua durante el crecimiento de la hoja, y que coexisten glándulas en proceso de iniciación con glándulas maduras en las zonas de crecimiento (Yu et al., 2018; Qi et al., 2022). Además se observó que se requieren solo de 20 a 30 horas de actividad secretora, para llenar de aceites esenciales la cavidad subcuticular de almacenamiento del tricoma.

Nuestro grupo de investigación cuantificó el rendimiento en aceites esenciales, en diferentes estadíos del desarrollo de hojas de *Mentha spicata* (Figura 5). Los resultados demuestran que la producción de aceites esenciales se incrementa a medida que la hoja crece. El máximo rendimiento se verifica cuando

la vaina alcanza una longitud de 13 a 16 mm, permaneciendo constante en mayores longitudes.

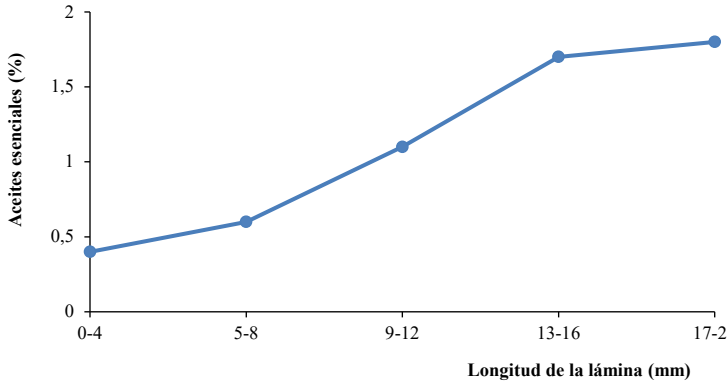


Figura 5. Rendimiento en aceites esenciales, en diferentes estadíos del desarrollo de hojas de *Mentha spicata*, cultivada en Santiago del Estero.

4. Actividades farmacológicas

Las hojas, flores y tallos de *M. spicata*, frescas y secas, son utilizadas en la preparación de infusiones y agentes aromáticos para tratar diversas afecciones. Las investigaciones etnobotánicas indican su uso para tratar diarreas, distensión intestinal, flatulencias, resfríos, sinusitis, tos, ictericia y diabetes (Mahendran, Verma y Rahman, 2021).

4.1. Actividad antimicrobiana

Abdul Qadir et al. (2017) estudiaron la capacidad antimicrobiana de extractos de *M. spicata* obtenidos con los siguientes solventes: agua, etanol 80% v/v, metanol 80% v/v y acetona 80% v/v, contra *Bacillus*. *subtilis*, *Pasteurella multocida*, E*scherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Todos los extractos inhibieron

el desarrollo de estas bacterias, debido a las altas concentraciones de ácidos fenólicos y flavonoides. También la fracción de acetato de etilo y cloroformo, tuvo actividad antimicrobiana contra *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella flexenari*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli* (Ullah et al., 2011).

4.2. Actividad antifúngica

Los metabolitos secundarios presentes en especies aromáticas, constituyen una alternativa promisoria en el control de patógenos.

Ullah et al. (2011) concluyeron que los extractos metanólicos de *M. spicata* son muy eficaces para el control de *Microsporum canis*, *Candida glaberata*, *Trichophyton longifusus*, *Candida albicans*, *Fusarium solani* y *Aspergillus flavus*.

Hassan, Rashid y Ur-Rehman (2021) reportaron que extractos acuosos de *Allium cepa*, *Allium sativum*, *Curcuma longa*, *Mentha spicata* y *Zingiber officinale*, inhibieron el desarrollo del hongo fitopatógeno Alternaria alternata.

Bayan y Küsek (2018) demostraron que los aceites esenciales de *Mentha spicata* inhibieron completamente el desarrollo de *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, *Alternaria solani* y *Verticillium dahliae*.

Nuestro grupo de investigación evaluó el efecto de la fertilización con urea en el rendimiento en aceites esenciales de *Mentha spicata*, y su actividad antifúngica sobre fitopatógenos de especies de interés agronómico. La fertilización con 150 kg ha^{-1} de urea incrementó en 47% el contenido de carvona en los aceites esenciales, con respecto al testigo. En el testigo se requirieron dosis de 10 y 15 µl caja de $Petri^{-1}$ de aceites esenciales para inhibir el 100% del desarrollo de *Alternaria solani* y *Fusarium oxysporum*, respectivamente; mientras que en el tratamiento fertilizado con 150 kg de urea ha^{-1}, solo se requirieron dosis de 6 y 9 µl aceites esenciales caja de $Petri^{-1}$, res-

pectivamente (Figura 6). Por lo tanto, los aceites esenciales de *M. spicata* son muy eficaces en el control de hongos fitopatógenos, y este efecto se intensifica como resultado de la fertilización nitrogenada. Dicho comportamiento correlacionó con una mayor concentración de carvona y limoneno en los aceites esenciales.

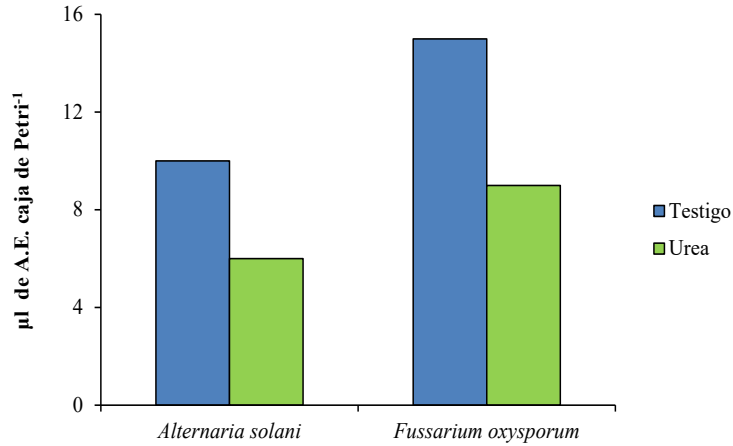


Figura 6. Volumen de aceites esenciales de *Mentha spicata* (µl) por caja de Petri, requeridos para lograr la inhibición total del desarrollo de *Alternaria solan*i y *Fussarium oxysporum*.

4.3. Capacidad antioxidante

Existe una creciente demanda global de antioxidantes naturales. Estos productos, inhiben la peroxidación de lípidos y no poseen los efectos adversos propios de las sustancias sintéticas. Entre los efectos nocivos de los antioxidantes sintéticos se han mencionado enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, cataratas, desórdenes cognitivos, y enfermedades neurológicas (Scherer et al., 2013).

Los extractos metanólicos de la parte aérea de plantas de

M. spicata cultivada en la zona de riego del río Dulce, en Santiago del Estero, mostraron una elevada capacidad antioxindante, medida a través de la capacidad de secuestro del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, DPPH (valores bajos de IC50). Dicha capacidad estuvo altamente correlacionada con la concentración de polifenoles totales en los tejidos (Figura 7). Además, se observó que la concentración de polifenoles totales se incrementó moderadamente en cultivos fertilizados con urea, y de manera muy significativa en aquellos fertilizados con vermicompost (Meloni et al., 2021). Dhifi et al. (2013), también reportaron alta capacidad antioxidantes en extractos metanólicos de *M. spicata* cultivada en Túnez, altamente correlacionada con la concentración de polifenoles totales.

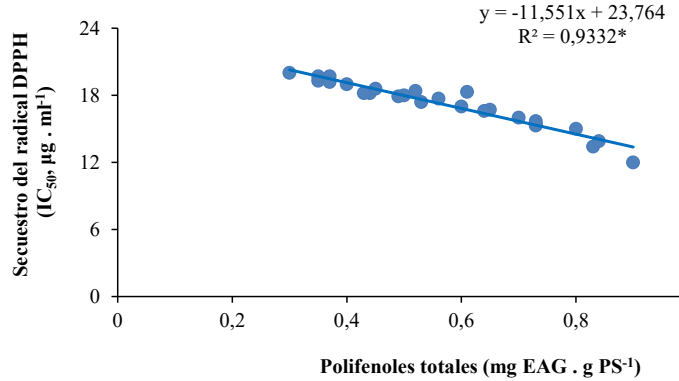


Figura 7. Correlación entre la concentración de polifenoles totales, y la capacidad de secuestro del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) en extractos metanólicos de la parte aérea de *Mentha spicata*, cultivada en Santiago del Estero.

4.4. Actividad antidiabética

La diabetes es uno de los principales factores que causan enfermedades cardiovasculares, por lo que se han desarrollado numerosas investigaciones, tendientes a evaluar el efecto de productos naturales en el control de dicha dolencia. Diversos extractos y aceites esenciales de especies del género Mentha, poseen un gran potencial en el control de la diabetes. Los aceites esenciales de *M. viridis* inhibieron las actividades de las enzimas α-amilasa y α-glucosidasa, con valores de IC50 de 101,72 µg ml-1 y 83,93 µg ml-1, respectivamente (Bouyahya et al., 2020).

Los extractos metanólicos de hojas de *M. spicata* cultivadas en la zona de riego del río Dulce, en Santiago del Estero, también inhibieron las actividades de las enzimas α-amilasa y α-glucosidasa, con valores de IC50 de 19,7 a 31,2 µg ml-1 y 17,9 a 22,6 µg ml^{-1}, respectivamente. La capacidad inhibitoria para ambos extractos estuvo influenciada por los tratamientos de fertilización, con menores valores de IC50 (mayor capacidad inhibitoria) en plantas fertilizadas con vermicompost (Meloni et al., 2021).

5. Próximas investigaciones

Las propiedades antioxidantes y antidiabéticas de los extractos de *M. spicata* procedentes de Santiago del Estero, muestran su potencial para la elaboración de suplementos dietarios. Dado que dichas actividades han sido determinadas in vitro, deberían realizarse ensayos en sistemas biológicos. Resultan de gran interés las experiencias que demuestran que estas propiedades se incrementan en cultivos fertilizados mediante vermicompost. En efecto, existe una creciente demanda de productos orgánicos, compatibles con la naturaleza, sustentables, y saludables. Por lo tanto, esta línea de investigación debería ser profundizada.

En los últimos años, varios grupos de investigación han demostrado que los extractos de *Mentha spicata*, y sus aceites esenciales, poseen actividad larvicida. Así se ha reportado que dichos productos son eficaces para controlar larvas de los mosquitos *Culex pipiens* y *Aedes aegipti* (Anju Viswan y Pushapalatha, 2020; Laojun y Haiphongpachara, 2020). Dado que Aedes aegipti transmite el dengue, y otras enfermedades endémicas de América Latina, deberían iniciarse investigaciones locales sobre esta temática. También es importante evaluar la capacidad que estos productos poseen para repeler insectos, en particular mosquitos.

Referencias

Abdul Qadir, M., Shahzadi, S.K., Bashir, A., Munir, A. y Shahzad, S. (2017). *Evaluation of phenolic compounds and antioxidant and antimicrobial activities of some common herbs*. International Journal of Analytical Chemistry 17, e3475738.

Anju Viswan, K. y Pushapalatha, E. (2020). *Larvicidal effect of selected plant extracts on Aedes aegypti L. and Culex quinquefasciatus Say*. International Educational Applied Science Research Journal 5, 1-2.

Bardaweel, S.K., Bakchiche, B., AL-Salamat, H.A., Rezzoug, M., Gherib, A. y Flamini, G. (2018). *Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of essential oil of Mentha spicata L. (Lamiaceae) from Algerian Saharan atlas*. BMC Complementary Alternative Medicine 18, 201-215.

Bayan, Y. y Küsek, M. (2018). *Chemical composition and antifungal and antibacterial activity of Mentha spicata L. volatile oil*. Ciencia e Investigación Agraria 45, 64-69.

Brahmi, F., Khodir, M., Mohamed, C. y Pierre, D. (2017). *Aromatic and Medicinal Plants-Back to Nature*. InTech, Londres, Reino Unido.

Bouyahya, A., Lagrouh, F., El Omari, N., Bourais, I., El Jemli, M., Marmouzi, I., Salhi, N., Faouzi, M.E.A., Belmehdi, O. y Dakka, N. (2020). *Essential oils of Mentha viridis rich phenolic compounds show important antioxidant, antidiabetic, dermatoprotective, antidermatophyte and antibacterial properties*. Biocatalysis Agricultural Biotechnology 23, 101-117.

Dhifi, W., Jelali, N., Mnif, W., Litaiem, M. y Hamdi, N. (2013). *Chemical composition of the essential oil of Mentha spicata from Tunisia and its biological activities*. Journal of Food Biochemistry 37, 362–368.

Erenler, R., Telci, I., Elmastaş, M., Akşit, H., Gül, F., Tüfekçi, A.R., Demirtaş, I. y Kayir, Ö. (2018). *Quantification of flavonoids isolated from Mentha spicata in selected clones of Turkish mint landraces*. Turkish Journal of Chemistry 42, 1695–1705.

Hassan, N., Rashid, A. y Rehman, U. (2021). *Efficacy of botani-*

cals against Alternaria causing fruit rot in tomato (Lycopersicum esculentum) by using plant extracts. Plant Cell Biotechnology 22, 691-698.

Lawrence, B.M. (2006). Mint: *The Genus Mentha* (1 ed.). CRC Press.Londres, Reino Unido.

Laojun, S. y Chaiphongpachara, T. (2020). C*omparative study of larvicidal activity of commercial essential oils from aromatic rosemary, vanilla, and spearmint against the mosquito Aedes aegypti*. Biodiversitas 21, 2383-2389.

Maffei, M., Chialva, F. y Sacco, T. (1989). *Glandular trichomes and essential oils in developing peppermint leaves. I. Variation of peltate trichome number and terpene distribution within leaves*. New Phytologist 111, 707–716.

Mahendran, G., Verma, S.K. y Rahman, L.U. (2021). *The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (Mentha spicata L.): a review.* Journal of Ethnopharmacology 278, 114-126.

Mamadalieva, N.Z., Akramov, D.K., Ovidi, E., Tiezzi, A., Nahar, L., Azimova, S.S. y Sarker, S.D. (2017). *Aromatic medicinal plants of the Lamiaceae family from Uzbekistan: Ethnopharmacology, essential oils composition, and biological activities*. Medicines 4, 8-15.

Meloni, D.A., Lescano, J.A., Arraiza, M.P. y Beltrán, R.E. (2019). *Yield, chemical composition and functional properties of essential oils from Mentha spicata (Lamiceae) in Santiago del Estero, Argentina*. UNED Research Journal 11, 327-333.

Meloni, D.A., Bezerra da Silva, J.A., Bordón, A., Lescano, J.A. y Beltrán, R.E. (2021). *Chemical composition and biological properties in Mentha spicata under conventional and organic fertilization.* UNED Research Journal 13, e3692.

Okwany, R.O., Peters, R. y Ringer, K. (2009). E*ffect of sustained deficit irrigation on hay and oil yield of native spearmint (Mentha spicata)*. En: 5th International Conference on Irrigation and Drainage for Food, Energy and the Environment, págs. 239–252. Salt Lake City, UT, USA.

Okwany, R.O.; Peters, T.R., Ringer, K.L., Walsh, D.B. y Rubio, M.

(2012). *Impact of sustained deficit irrigation on spearmint (Mentha spicata L.) biomass production, oil yield, and oil quality.* Irrigation Science 30, 213–219.

Pereira, O.R. y Cardoso, S.M. (2013). *Overview on Mentha and Thymus Polyphenols*. Current Analytical Chemistry 9, 382–396.

Qi, X, Chen, Z., Yu, X., Li, L., Bai, Y., Fang, H. y Liang, C. (2022) *Characterisation of the Mentha canadensis R2R3-MYB transcription factor gene McMIXTA and its involvement in peltate glandular trichome development*. BMC Plant Biology 28, 219-231.

Rasooli, I., Gachkar, L., Yadegarinia, D., Bagher, M.R. y Astaneh, S.D.A. (2008). *Antibacterial and antioxidative characterization of essential oils from Mentha piperita and Mentha spicata grown in Iran*. Acta Alimentaria 37, 41–52.

Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharopov, F., Antolak, H., Kręgiel, D., Sen, S., Sharifi-Rad, M., Acharya, K., Sharifi-Rad, R., Martorell, M., Sureda, A., Martins, N. y Sharifi-Rad, J. (2018). *Plants of genus Mentha: from farm to food factory*. Plants (Basel). 4, 70-106.

Scherer, R., Lemos, M.F., Lemos, M.F., Martinelli, G.C., Martins, J.D.L. y da Silva, A.G. (2013). *Antioxidant and antibacterial activities and composition of brazilian spearmint (Mentha spicata L.)*. Industrial Crops and Products 50, 408–413.

Tafrihi, M., Imran M., Tufail, T., Gondal, T.A., Caruso, G., Sharma, S., Sharma, R., Atanassova, M., Atanassov, L., Valere Tsouh Fokou. P. y Pezzani, R. (2021). *The wonderful activities of the genus Mentha: not only antioxidant properties.* Molecules 20, 1-22.

Teixeira, M.L., Cardoso, M.G., Figueiredo, A.C.S., Moraes, J.C., Assis, F.A., Andrade, J., Nelson, D.L., Gomes, M.S., Souza, J.A. y Albuquerque, L.R.M. (2014). *Essential oils from Lippia origanoides Kunth. and Mentha spicata L.: Chemical; composition, insecticidal and antioxidant activities*. American Journal of Plant Science 5, 3551–3557.

Turner, G., Gershenzon, J., Nielson, E.E., Froehlich, J.E. y Croteau. R. (1999). *Limonene synthase, the enzyme res-*

ponsible for monoterpene biosynthesis in peppermint, is localized to leucoplasts of oil gland secretory cells. Plant Physiology, 120, 879–886.

Ullah, N., Khurram, M., Amin, M.U., Afridi, H.H., Khan, F.A., Khayam, S.M.U., Ullah, S., Najeeb, U., Hussain, J. y Khan, M.A. (2011). *Comparison of phytochemical constituents and antimicrobial activities of Mentha spicata from four northern districts of Khyber Pakhtunkhwa.* Journal of Applied Pharmaceutical Science 1, 72–76.

Yu, X., Liang, C.Y., Fang, H., Qi, X., Li, W. y Shang, Q. (2018). *Variation of trichome morphology and essential oil composition of seven Mentha species*. Journal of Biochemical Systematics and Ecology 79, 30-36.

Zeinali, H., Arzani, A., Razmjoo, K. y Rezaee, M.B. (2005). *Evaluation of oil composition of iranian mint (Mentha spp.).* Jornal of Essential Oil Research 17, 156-159.

TÉCNICAS AGROECOLÓGICAS QUE MEJORAN LA SANIDAD DE SEMILLAS HORTÍCOLAS. UNA CONTRIBUCIÓN A LOS PRODUCTORES FAMILIARES DE SANTIAGO DEL ESTERO

María V. Parra[1], Dominga V. Ledesma[1], Andrea S. Godoy[1], Marta I. Farías[2]

Resumen

Las semillas pueden potencialmente convertirse en un vehículo para transportar patógenos que producen deterioro de la producción. En los últimos años, el control de las enfermedades fúngicas ha dependido, en gran medida, de los tratamientos con agroquímicos. Sin embargo, el uso de estos compuestos representa un riesgo para la salud humana e incrementa la contaminación ambiental. En este capítulo se presentan algunas alternativas para el manejo de los patógenos transportados por semillas mediante el uso de sustancias naturales, inocuas y de bajo costo; factibles de ser aplicadas por productores fa-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento académico de Protección, Cátedra de Patología Forestal. Santiago del Estero, Argentina.
2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, Argentina

miliares y adecuadas a la producción agroecológica. La efectividad de estas sustancias fue investigada en laboratorio y a campo, para una vez demostrada poder iniciar un proceso de extensión de las técnicas de desinfección hacia unidades productivas familiares.

Palabras clave: patógenos de semilla, sustancias naturales, producción sustentable

1. Introducción

Tanto en la producción forestal como en la agrícola, la calidad de la semilla que se va a sembrar es fundamental para conseguir un buen establecimiento de plantas y es el primer paso para lograr un cultivo óptimo (Borrajo, 2006). Las semillas de calidad son genéticamente puras; se caracterizan por un elevado porcentaje de germinación y un contenido de humedad apropiado; están libres de enfermedades; tienen un alto contenido de semillas puras y no tienen semillas de malas hierbas (FAO y Africa Seed, 2019).

Hay un gran número de factores que afectan la calidad de las semillas. Estos factores pueden ser agrupados en cuatro clases: genéticos, fisiológicos, físicos y sanitarios. Los factores sanitarios se caracterizan por el efecto perjudicial provocado por la ocurrencia de microorganismos e insectos asociados a las semillas, desde el campo de producción hasta el almacenamiento (Lucca Filho, 2009).

Las semillas son los vehículos principales para propagar la vida. Sin embargo, pueden servir también de vehículo para transportar patógenos que pueden producir deterioro de la producción, ofreciendo las condiciones nutricionales adecuadas para sí misma y para otros seres vivos que se asocian a ella en busca de alimentos y oportunidades de sobrevivencia

(Arriagada Ríos, 2000). La presencia de patógenos puede ocasionar pérdida de viabilidad de la semilla, o infectar las futuras plantas. Las plántulas y las plantas jóvenes son especialmente susceptibles a varias enfermedades debido a sus tejidos delicados y porque con frecuencia, tienen dificultad en establecerse (Mittal et al., 2002). Por este motivo, la sanidad de las semillas debe ser el primer punto de enfoque en el desarrollo de programas de manejo integrado de las enfermedades, ya que es una de las medidas más efectivas y prácticas para minimizar la diseminación de una enfermedad (Almodóvar, 2005).

Los patógenos pueden establecer dos tipos de relación con las semillas, denominadas infección e infestación. En la primera, el patógeno se localiza internamente, entra en contacto íntimo con los tejidos de la semilla y obtiene los nutrientes a sus expensas. En la segunda, el patógeno se encuentra en la superficie de la semilla y se asocia a ella pasivamente, sin que existan relaciones nutricionales (Sánchez Hernández y Trapero Casas, 2003).

Los daños causados por los microorganismos transmitidos por semillas son bastante variables, dependiendo del patógeno que está involucrado y de su inóculo inicial, de la especie cultivada, de las condiciones climáticas vigentes en el transcurso del desarrollo del cultivo, etc. (Lucca Filho, 2009). Al igual que en el caso de las plantas adultas, la mayoría de las enfermedades que afectan a las semillas son micosis, es decir, enfermedades causadas por hongos. A su vez, los hongos constituyen el principal grupo de organismos fitopatógenos que pueden transmitirse a través de las semillas (Sánchez Hernández y Trapero Casas, 2003).

Entre los hongos y oomycetos fitopatógenos más significativos, tanto en pre como en postcosecha en distintos cultivos, se encuentran algunos géneros como *Botrytis*, *Puccinia*, *Rhizoctonia*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Mycosphaerella*, *Hemileia*, *Tilletia*, *Ceratocystis*, *Cochliobolus*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Erysiphe*,

Sphaerotheca, *Phytium*, *Plasmopara*, *Peronospora*, *Phytophthora*, entre otros (Mesa et al., 2019).

La inspección y el análisis de las semillas permiten la detección oportuna de los microorganismos asociados a ellas; los tratamientos permiten protegerlas de dichos microorganismos y, en algunos casos, erradicarlos (Arriagada Ríos, 2000). Desde hace años, el control de las enfermedades fúngicas ha dependido, en gran medida, de los tratamientos con agroquímicos. El uso de estos compuestos representa un riesgo para la salud e incrementa la contaminación ambiental. Sumado a esto, hay muchos hongos causantes de enfermedades en los cultivos que se han vuelto resistentes a los fungicidas. Para reducir este problema, es necesario buscar y adoptar estrategias que sean accesibles, sencillas de aplicar y no tóxicas para seres humanos y animales (Villa-Martínez et al., 2015; Mesa et al., 2019).

Así, en base a la importancia que implica garantizar la sanidad de la semilla y la necesidad de investigar otros compuestos antifúngicos que no causen daños ambientales ni a la salud, se decidió evaluar la efectividad en el control de patógenos transportados por semillas mediante el uso de compuestos permitidos en la producción orgánica para la desinfección de semillas forestales y hortícolas. A partir de ello, el objetivo en este capítulo es presentar los resultados evaluados como una alternativa de manejo que aborde la sanidad de semillas mediante el uso de sustancias inocuas, así como dar a conocer el inicio de un proceso de extensión de las técnicas de desinfección a productores familiares.

2. Antecedentes

2.1 Compuestos naturales con actividad antifúngica

Entre las sustancias de uso común, los bicarbonatos tienen propiedades antimicrobianas de amplio espectro, y además se ha comprobado que son eficaces para controlar muchos hongos fitopatógenos. La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos reconoce que los bicarbonatos son compuestos inocuos y seguros tanto para la salud humana como para el ambiente (Bombelli y Wright, 2006).

Hay varios autores que hacen referencia al efecto de los bicarbonatos sobre fitopatógenos. Por ejemplo, según Bomelli y Wright (2006), la exposición in vitro al bicarbonato de potasio en concentraciones iguales o superiores al 1% controló en forma efectiva el crecimiento miceliar de *Botriytis cinerea*. También De Costa y Gunawardhana (2012) demostraron que el bicarbonato de sodio in vitro, reduce el crecimiento miceliar, la producción y germinación de esporas y la producción de apresorios de Colletotrichum musae. Por su parte, que Ordoñez-Valencia et al. (2018) afirman que el bicarbonato de potasio es eficaz para controlar tanto el crecimiento como el desarrollo de *Sclerotinia sclerotiorum* en condiciones in vitro; esto ayudaría a reducir la formación de esclerocios, siendo una opción viable para reducir el uso de plaguicidas sintéticos.

Los residuos y extractos vegetales con propiedades antimicrobianas, también pueden tener un papel importante en un sistema ecológico integrado de producción agrícola para el control de enfermedades, ya que las plantas son una fuente potencial de productos químicos naturales, algunos con acción fungicida (López-Benítez et al., 2005; Monardez, 2014). Por ejemplo, Montes Belmont (2000) trataron semillas de maíz y sorgo con preparados a base de clavo de olor, canela, orégano, yerba buena, albahaca y tomillo, con dosis que oscila-

ron entre el 3 y 10%, aplicados solos y combinados entre ellos, obteniendo excelentes resultados para el control de Fusarium moniliforme, *Claviceps africana* y *Aspergillus flavus*. Deferera et al. (2003), citados por Juárez et al. (2010), determinaron la eficacia de los aceites esenciales del orégano, tomillo, lavanda, romero, poleo y salvia sobre el crecimiento de *Botrytis cinerea*, *Fusarium sp.*, *Fusarium solani* y *Clavibacter*. López-Benítez et al. (2005) demostraron el efecto inhibitorio de los extractos de *Allium sativum* L., (ajo), *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. y L.M. Perry (clavo), *Cinnamomum zeylanicum* Blume (canela), sobre el crecimiento radial del micelio de *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* y *Verticillium dahliae*, en pruebas in vitro, siendo el control tan efectivo como el logrado con el Tiabendazol (fungicida sintético). Monardez (2014) demostró la efectividad de los extractos vegetales de distintas especies de la flora autóctona como el chañar, la jarilla, y el aguaribay, hacia *Monilinia fructicola*, responsable de las principales pérdidas en cultivo y postcosecha de frutales de carozo.

También algunas sustancias inocuas para los seres humanos, como el ácido acético, han sido utilizados como fungicidas y bactericidas (Gutiérrez Montalvan, 2018). Así, Borgen y Nielsen (2001) ensayaron el efecto de tratamientos de semilla de trigo y cebada con el ácido acético (vinagre), para controlar enfermedades de semilla causadas por *Tilletia tritici* y *Pyrenophora gramínea*. Los resultados demuestran que el tratamiento con ácido acético ha reducido el tizón común (*Tilletia tritici*) en el trigo de invierno en un 91,5-96,2% y en un 83% en el trigo de primavera sin efectos negativos sobre la germinación de las semillas; mientras que en la raya de la cebada (*Pyrenophora gramínea*), en la cebada de primavera, se redujo en un 93,4%. Para el control de ambas enfermedades se pudo encontrar que la dosis óptima es de aproximadamente 20 ml/kg, en una concentración de vinagre entre el 5% y el 20%.

2.2 El control biológico asociado a la sanidad de semillas

Actualmente, existe una tendencia mundial a disminuir el uso de agroquímicos, debido a sus potenciales efectos secundarios sobre la salud humana y el medio ambiente. Esta tendencia viene también acompañada del aumento de uso de productos biológicos, como parte de una estrategia dentro del manejo integrado de enfermedades (Crovo y Clemente, 2015). El género *Trichoderma* es uno de los agentes de control biológico más estudiado, por su habilidad de antagonizar con hongos fitopatógenos en condiciones naturales (Crovo y Clemente, 2015). Los principales mecanismos de biocontrol atribuidos a este género son el micoparasitismo, la competencia por espacio y nutrientes y la producción de metabolitos secundarios, tales como sideróforos, antibióticos y enzimas. Además del efecto biocontrolador de patógenos, se ha reportado que la inoculación de *T. harzianum* aporta otros beneficios a las plantas. A través de la descomposición de materia orgánica, libera nutrientes en formas inmediatamente disponibles. Por medio de la actividad solubilizadora de fosfatos, promueve el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, produciendo metabolitos que estimulan los procesos de desarrollo vegetal. Finalmente, la capacidad de multiplicarse en el suelo y colonizar las raíces de las plantas libera factores de crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas) que estimulan la germinación y el desarrollo de las plantas (Camargo-Cepeda y Ávila, 2014; Santana et al., 2016).

El tratamiento de la semilla con *Trichoderma* se emplea para el control de hongos fitopatógenos, con el objetivo de disminuir la infestación natural acompañante de la misma; así como también de darle protección en el nicho, al ser sembrada la semilla. En sistemas de producción protegida, el uso de *Trichoderma* en la obtención de plantas, es una práctica internacional, garantizando plantas de alta calidad y con protección (Martínez et al., 2013). Según Ezziyyani et al. (2004),

la *Trichoderma* posee buenas cualidades para el control de enfermedades en plantas causadas por patógenos fúngicos como *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium* y *Fusarium* entre otros. También López Mondéjar (2011) hace referencia a las bondades de este hongo antagonista, afirmando que varios autores han demostrado el efecto de *Trichoderma harzianum* sobre *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotium*, *Pseudoperonospora cubensis*, *Sphaeroteca fusca*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* y *Pythium sp*.

3. Incidencia de hongos en semillas hortícolas

En el laboratorio de Patología Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales, se realizaron ensayos para la determinación de hongos presentes en semillas hortícolas. Se trabajó con muestras de semillas de tomate, zanahoria, acelga, maíz, zapallo y melón, distribuidas por el Programa Nacional Pro Huerta, las cuales no son tratadas con ningún producto químico para su conservación.

Para estudiar la sanidad de estas semillas, se aplicó la técnica del papel secante, según el procedimiento descrito por SENASICA (2018). Las muestras se incubaron por 5 días a 25°C. Los resultados se expresaron en valores de Incidencia (I), método que permite cuantificar la frecuencia de semillas con desarrollos de microorganismos:

$$I = NSDF/NST * 100 \quad (1)$$

Donde:

I = Incidencia (%)
NSDF = Número de semillas con desarrollo fúngico
NST = Número total de semillas evaluadas

Simultáneamente se realizaron ensayos de desinfección para evaluar la actividad antifúngica de:

a) Solución de ajo deshidratado en polvo 10% p/v
b) Solución de clavo de olor deshidratado en polvo 10% p/v
c) Solución de vinagre al 20% v/v
d) Formulación líquida de *Trichoderma* (producto comercial)

En las semillas sin tratar de zanahoria se identificó a *Alternaria spp*, *Rhizoctonia spp*. *Rhizopus spp*, *Aspergillus spp*, y *Penicillium spp*; mientras que en las demás especies hortícolas estuvieron presentes *Aspergillus spp*, *Rhizopus spp* y *Penicillium spp* (Figura 1).



Figura 1. a) Alternaria en Zanahoria; b) Aspergillus en melón; c) Rhizopus en acelga; d) en maíz; e) Aspergillus en zapallo y f) tomate.

Los resultados de la Incidencia de hongos tanto en los tratamientos testigos como para cada una de las soluciones evaluadas se presentan en la Tabla 1.

Especie	Testigo	Solución de Ajo	Solución de Clavo	Solución Vinagre	*Trichoderma*
Acelga	23	8	10	12	15
Maíz	100	41	43	40	48
Melón	71	12	39	33	54
Tomate	8	0	0	0	0
Zanahoria	12	2	2	4	6
Zapallo	100	9	15	53	65

Tabla 1. Incidencia expresada en porcentaje de hongos presentes en semillas hortícolas sin tratar y tratadas con soluciones de ajo, clavo de olor, vinagre y T*richoderma sp*.

Todas las soluciones evaluadas presentaron, en mayor o menor medida, un efecto inhibitorio en el desarrollo de los hongos transportados por las semillas ensayadas. De todas ellas, la solución acuosa de ajo, fue la que presentó mejor comportamiento, en comparación con las demás soluciones. Esto ratifica los estudios de Hernández Lauzardo et al. (2007), quienes afirman que los extractos acuosos de ajo redujeron significativamente el crecimiento miceliar de *Colletotrichum gloeosporioides*, y también inhibió la germinación de las esporas de *Botyitis cinérea*. Los resultados obtenidos también coinciden con los reportados por Villa-Martínez et al. (2014), quienes demostraron que el extracto acuoso de ajo, presentó un 95% de actividad fungicida sobre *Fusarium sp*, superando al control biológico ejercido por *Trichoderma*.

Sholberg et al. (2006) determinaron que la fumigación de semillas de trigo con vapor de ácido acético, es tan efectiva en el control de *Tilletia tritici* y *T. laevis* (agentes causales del carbón) como el Vivatax, curasemillas de efecto fungicida ampliamente usado para el control de la enfermedad. Por otro lado, Salazar et al. (2009) lograron reducir la incidencia de *Pe-*

nicillium digitatum en más de un 50% mediante la inmersión de naranjas en una solución de ácido acético al 6% durante 90 segundos a temperatura ambiente.

Estos ensayos demostraron que las soluciones estudiadas, inocuas para el ser humano y obtenidas por metodologías sencillas, podrían representar una alternativa de manejo fitosanitario para mejorar la sanidad de las semillas. Entre las ventajas de usar estos preparados, podríamos mencionar que:

- no producen residuos peligrosos que afecten a los productores, consumidores y medio ambiente
- los ingredientes y elementos necesarios para su preparación son económicos y accesibles
- las técnicas de preparación son sencillas
- no generan resistencia

Estos ensayos sientan las bases de próximas investigaciones en las cuales podrían ser separados los diferentes grupos de compuestos constituyentes de estos extractos, con el objetivo de determinar cuáles de ellos son los principales responsables de la actividad antifúngica.

Actualmente muchos estudios se centran en la obtención de formulaciones a partir de productos naturales con algún tipo de actividad biológica sobre hongos fitopatógenos, siendo este un paso inicial al desarrollo de las alternativas tecnológicas prometedoras en el uso de bioproductos disponibles a partir de plantas (Mesa et al., 2019).

3. Estructura de la unidad productiva familiar de las zonas hortícolas

El área de riego de Santiago del Estero es la zona con mayor superficie de cultivos hortícolas en la provincia. En ella, los agricultores familiares de los Dptos. Capital, Silípica y Banda se encuentran vinculados al área de influencia de la Unidad

de Extensión y Experimentación Adaptativa (EEA INTA) Santiago del Estero. Estos actores conforman unidades productivas cuyos sistemas de producción se caracterizan por huertas con superficies que van desde los 25 m^2 (en zonas urbanas y periurbanas) hasta las 5 has en promedio (en zonas rurales). Allí se siembran gran variedad de hortalizas (mayormente verduras de hoja y de frutos). También crían animales de granja en pequeña escala (aves, cerdos, conejos) y cabras a través de la cría extensiva en la zona rural. Cuentan además con pequeños viveros donde se multiplican especies ornamentales, aromáticas y forestales.

La forma tradicional de cultivar las huertas es por canteros o tablones, asociando y rotando los cultivos para mantener y mejorar la fertilidad y la salud del sistema (Figura 2).



Figura 2. Huertas de las unidades productivas familiares.

Los agricultores familiares siembran las semillas que les proveen algunos programas nacionales y provinciales (Ej. Progra-

ma ProHuerta, Programa Provincial de Huertas Comunitarias, etc.). También emplean semillas que obtienen del intercambio en ferias de semillas y de la cosecha de semilla propia. El riego en la zona urbana es por aspersión, cuya fuente proviene de la red de agua potable en áreas urbanas, mientras que en la zona rural el riego es por gravedad, obteniendo el agua del sistema de riego del río Dulce.

En el caso de observar un ataque de enfermedades y plagas en los cultivos, los productores suelen preparar y aplicar soluciones inocuas. No obstante, no es frecuente que realicen un tratamiento de desinfección de las semillas de las especies hortícolas o forestales, debido al desconocimiento sobre los posibles efectos negativos en la germinación y en el establecimiento de las plántulas en los primeros estadios.

La producción se destina principalmente al autoconsumo, sin embargo, una gran parte de unidades productivas la destinan para las ventas en ferias y redes de consumidores locales y/o regionales, fortaleciendo los canales cortos de comercialización. (Documento de Plan Operativo Anual UEYEA (EEA INTA Santiago del Estero- 2022).

4. Extensión de los tratamientos sanitarios a las unidades productivas familiares

Desde hace más de una década el Programa ProHuerta (Ministerio de Desarrollo Social de la Nación INTA) se propuso impulsar la formación integral de la producción agroecológica de alimentos de cercanía, saludables, libre de residuos tóxicos, respetando los tiempos y cuidados de la naturaleza. En ese marco, es que el equipo técnico de INTA y los productores familiares y huerteros junto con docentes investigadoras de la cátedra de Patología Forestal (Facultad de Ciencias Forestales UNSE) vienen implementando diversas estrategias de manejo

socio técnico para la producción sustentable de alimentos en el territorio urbano, periurbano y rural de la Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa de la EEA Santiago del Estero INTA.

La desinfección de semillas es una práctica cultural que no se lleva a cabo con frecuencia en los sistemas productivos hortícolas de la zona, debido quizá al desconocimiento de los daños que puede producir un deficiente estado sanitario de la semilla. En este sentido, los resultados de incidencia obtenidos de los ensayos realizados, demuestran el alto porcentaje en que pueden presentarse los hongos en las semillas, los cuales pueden llegar a causar pérdidas de poder germinativo, deterioro de frutos y semillas en almacenamiento, reducción de rendimiento y toxicidad por micotoxinas.

Una vez demostrada la efectividad de los métodos de desinfección de semillas a partir de compuestos alternativos, es importante poder extender al productor las técnicas estudiadas para que éste evalúe su incorporación a su sistema productivo. Así, con el objetivo también de concientizar sobre la importancia de la sanidad de semillas para obtener una planta de calidad y de socializar los resultados obtenidos, en la EEA INTA Santiago del Estero, en abril del 2022, se realizó una capacitación teórico-práctica para productores y viveristas. En esta oportunidad también se demostraron las técnicas de preparación de las soluciones y desinfección de las semillas (Figura 3).



Figura 3. a), b) y c) preparación de las sustancias desinfectantes y d) procedimiento de desinfección de semillas.

Los resultados de esta experiencia fueron muy positivos ya que los productores se mostraron muy receptivos y manifestaron la necesidad de profundizar el conocimiento sobre el manejo sanitario de semillas y cultivos, así como también avanzar en la experimentación práctica en sus propios sistemas productivos.

La apropiabilidad de una técnica o tecnología por parte del productor, puede depender de varios factores, entre los cuales se pueden destacar las ventajas que la técnica le pueda brindar, la factibilidad económica, la aplicación sencilla, la acepción cultural y la rápida visualización de los beneficios. En este sentido, la Universidad y el INTA son instituciones en cuyos roles recae no sólo la investigación y desarrollo de técnicas y tec-

nologías, sino también la extensión de éstas hacia la sociedad, en función de las demandas territoriales. Por esto último, es que se hace necesaria la articulación institucional, para lograr una cobertura territorial que pueda contemplar problemáticas locales y generar soluciones adaptadas a estos contextos. En el marco de este proceso, se hace necesaria la participación de productores, técnicos extensionistas e investigadores; así como la generación de espacios y herramientas que faciliten la apropiación de las técnicas a través de capacitaciones, talleres, ensayos demostrativos a campo, cartillas didácticas, entre otros dispositivos de comunicación. Proceso que se corresponde con una investigación-acción participativa, en la que la sociedad resulta en protagonista y no en un mero receptor; es decir donde la unidad productiva familiar forma parte activa de la construcción de conocimiento y tecnología.

5. Consideraciones finales

En las semillas hortícolas utilizadas comúnmente en las huertas, se han identificado cinco especies de hongos (*Alternaria spp*. *Rhizoctonia spp.*, *Rhizopus spp*, *Aspergillus spp*, y *Penicillium spp*), los que se encuentran asociados a importantes daños en el almacenamiento de la semilla, en su germinación y generando micotoxinas. Parte de los resultados demuestran que tres de estas especies se encuentran en maíz y zapallo, con una incidencia del 100% para estos ensayos, significando ello que la totalidad de las semillas se encontraban asociadas a microorganismos que causan daños a la misma. En base a estos resultados, se considera importante sumar técnicas de desinfección efectivas, las cuales fueron logradas ampliamente al demostrar la reducción de la incidencia de hongos al 40% aproximadamente para el caso de maíz y entre 9% y 65% para el caso del zapallo, ambas con las cuatro sustancias ensayadas.

Por otro lado, se destaca que la alternativa más viable para la producción sana de alimentos y la reducción de la contaminación ambiental son los sistemas de producción agroecológica, fomentando y desarrollando una agricultura ecológica y más sostenible que los sistemas actuales que predominan. Es así que, a través de este proceso de investigación participativa, consideramos que aportamos al fortalecimiento del desarrollo de un sistema alimentario alternativo, capaz de brindar beneficios no solamente sociales sino también ambientales. Cabe destacar que estos pequeños aportes lograron alcanzar no solo una validación científica, sino también iniciar una validación social apoyados en la articulación institucional. Así, se ha logrado sumar al manejo integrado de enfermedades, resultados efectivos de técnicas de desinfección de semillas mediante el uso de sustancias alternativas que resultan inocuas para el ambiente y la salud humana.

El potencial y la difusión de las innovaciones agroecológicas, depende de la capacidad de diversos actores y organizaciones que participan en la revolución agroecológica para hacer las alianzas necesarias, que permitan a los pequeños productores tener un mayor acceso a los conocimientos agroecológicos. Es por ello que la articulación entre ambas instituciones permitió iniciar una etapa de extensión de las técnicas desarrolladas a unidades productivas familiares del territorio provincial, manifestando estas últimas una buena acepción y un interés por la sanidad vegetal en la producción agroecológica. De vital importancia será entonces la participación directa de los agricultores en la formulación de la agenda de investigación y su participación en los procesos de innovación tecnológica y su difusión a través del modelo Campesino a Campesino, donde los investigadores y los extensionistas pueden desempeñar un importante papel como facilitadores del proceso (Altieri y Toledo, 2011).

Referencias

Almodóvar, W. (2005). *Manejo integrado de enfermedades en viveros de árboles en Puerto Rico*. Recinto de Mayagüez, PR, Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.

Altieri, M. A. y Toledo, V. M. (2011). *The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants*. Journal of peasant studies, 38(3), 587-612.

Arriagada Ríos, V. (2000). *Semillas, inspección, análisis, tratamiento y legislación*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA, Santiago (Chile).

Bombelli, E. C. y Wright, E. R. (2006). Efecto del bicarbonato de potasio sobre la calidad del tomate y acción sobre Botrytis cinerea en poscosecha. Ciencia e Investigación Agraria, 33(197-203).

Borgen, A. y Nielsen, B. (2001). *Effect of seed treatment with acetic acid in control of seed borne diseases.* In Proceedings of the BCPC Symposium No. 76:"Seed Treatment: Challenges & Opportunities" (Vol. 76). Farnham.

Borrajo, C. I. (2006). *Importancia en la calidad de semilla*. Curso Internacional en Ganadería Subtropical. Reconquista. Argentina.

Camargo-Cepeda, D. F. y Ávila, E. R. (2014). *Efectos del Trichoderma sp. sobre el crecimiento y desarrollo de la arveja (Pisum sativum L.)*. Ciencia y Agricultura, 11(1), 91-100.

Crovo, V. y Clemente, G. E. (2015). *Eficacia de fungicidas de Síntesis y biológico en base a Trichoderma harzianum para controlar patógenos de Semillas de soja*. Fave. Sección ciencias agrarias, 14(2).

De Costa, D. M. y Gunawardhana, H. M. D. M. (2012). *Effects of sodium bicarbonate on pathogenicity of Colletotrichum musae and potential for controlling postharvest diseases of banana*. Postharvest biology and technology, 68, 54-63.

Ezziyyani, M., Pérez, C., Ahmed, S., Requena, M. y Candela M. (2004). *Trichoderma harzianum como biofungicida para el*

biocontrol de Phytophthora capsici en plantas de pimiento (Capsicum annuum L.). Anales de Biología 2004; 26:35-45.

FAO y Africa Seed (2019). *Materiales para capacitación en semillas* - Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas. Roma.

Gutiérrez Montalván, D. L. (2018). *Efecto de los ácidos acético y cítrico para control de antracnosis (Colletotrichum sp.) en poscosecha de papaya (Carica papaya L.)* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

Hernández Lauzardo, A. N., Bautista Baños, S. y Velázquez del Valle, M. G. (2007). *Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas.* Revista Fitotecnia Mexicana, 30(2), 119-123.

Juárez, B. G. P., Sosa, M. M. E. y López, M. A. (2010). *Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control*. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos 4: 2. 14-23.

López-Benítez, A., López-Betancourt, S. R., Vázquez-Badillo, M. E., Rodríguez-Herrera, S. A., Mendoza-Elos, M. y Padrón-Corral, E. (2005). *Inhibición del crecimiento micelial de Fusarium oxysporum Schlechtend. f. sp. lycopersici (Sacc.) Snyder y Hansen, Rhizoctonia solani Kühn y Verticilllium dahliae Kleb. mediante extractos vegetales acuosos*. Revista Mexicana de Fitopatología, 23(2), 183-190.

López Mondéjar, R. (2011). *Detección y cuantificación de Trichoderma harzianum, y evaluación de su actividad biocontrol frente a la fusariosis vascular del melón mediante la aplicación de herramientas moleculares*. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.

Lucca Filho, O. (2009). *Patología de semillas.* Módulo 5. 3º Curso de Especialización en Ciencia y Tecnología de Semillas por Tutoría a Distancia. UFPEL y ANAPROSE.

Martínez, B., Infante, D. y Reyes, Y. (2013). *Trichoderma spp. y su función en el control de plagas en los cultivos*. Revista de Protección Vegetal, 28(1), 1-11.

Mesa, V. A. M., Marín, P., Ocampo, O., Calle, J., y Monsalve, Z.

(2019). *Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos*. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 45(1), 23-30.

Mittal, R. K., S. B. Mathur, K. Old y Z. Q. Yuan. (2002). *Patología*. Capítulo 6. En Manual de Semillas de Árboles Tropicales. Vozzo J. A. (Ed). United States Departament of Agriculture Forest Service. 183-198.

Montes Belmont, R., Cruz Cruz, V., Martínez Martínez, G, Sandoval García, G., García Licona, R., Zilch Domínguez, S., Bravo Luna, L., Bermúdez Torres, K., Flores Moctezuma. H.E. y Carvajal Moreno, M. (2000). *Propiedades antifúngicas en plantas superiores. Análisis Retrospectivo de Investigaciones*. Revista Mexicana de Fitopatología, 18(2), 125-131.

Monardez, C. S. (2014). *Uso de extractos vegetales acuosos como estrategia alternativa para el control poscosecha de Monilinia fructicola, agente responsable de la podredumbre morena de los frutales de carozo*. Tesis para obtener en título de Licenciatura en Bromatología. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias.

Ordóñez-Valencia, C., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Hernández-Cuevas, L. V. y Larsen, J. (2018). *Early morphological development of sclerotia of Sclerotinia sclerotiorum in the presence of potassium bicarbonate*. Revista mexicana de fitopatología, 36(3), 363-378.

Salazar, M., Manso, T., Graça, A. y Nunes, C. (2009). *Potencial del uso de aditivos alimentarios y substancias de bajo riesgo para el control en poscosecha de los patógenos Penicillium digitatum y P. expansum*. Actas de Horticultura, 54, 1208-1211.

Sánchez Hernández, M. E. y Trapero Casas, A. (2003). *Estado Fitosanitario, Etiología y Control de Enfermedades de Semillas en Material Vegetal de Reproducción, Manejo, Conservación y Tratamiento. Consejería de Medioambiente*. Junta de Andalucía (Eds). 149-176.

Santana, Y., del Busto, A., González, Y., Aguiar, I., Carrodeguas, S., Páez, P., y Díaz, G. (2016). *Efecto de Trichoderma harzianum Rifai y FitoMas-E como bioestimulantes de la ger-*

minación y crecimiento de plántulas de tomate. Centro Agrícola, 43(3), 5-12.

SENASICA (2018). *Protocolo de diagnóstico. Detección e identificación de hongos a partir de semillas*. Dirección General de Sanidad Vegetal. México.

Sholberg, P. L., Gaudet, D. A., Puchalski, B. y Randall, P. (2006). *Control of common bunt (Tilleta tritici and T. laevis) of wheat (Triticum aestivum cv.'Laura') by fumigation with acetic acid vapour*. Canadian journal of plant science, 86(3), 839-843.

Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., y Martínez-Escudero, E. (2015). *Situación actual en el control de Fusarium spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales*. Acta agronómica, 64(2), 194-205. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122015000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

ESTRATEGIAS DE MANEJO DE RÍOS DE LLANURA MEANDRIFORMES. GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL

Héctor Daniel Farias[1], Jorge Prieto Villarroya[1]

Resumen.

En los tramos de ríos de llanura, que exhiben un trazado curvilíneo, es común la tendencia al desarrollo de procesos de erosión de márgenes y migración lateral del curso. Se analiza una serie de 8 casos de ríos de llanura en diversos ambientes geográficos de la Argentina representativos del comportamiento de muchos ríos de llanura en las regiones involucradas. Estos fueron adicionados a una base de datos preexistente (Williams) de migración de ríos. En el trabajo, se compilaron datos de un total de 56 tramos de ríos meandriformes y se establecieron las relaciones entre ellos (ancho del cauce B, longitud de onda de meandros LM, radio de curvatura Rc, ancho de faja de meandros MB). Entre los resultados obtenidos se han identifi-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Instituto de Recursos Hídricos. Santiago del Estero, Argentina

cado las ecuaciones de mejor ajuste que pudieron obtenerse para las relaciones funcionales básicas entre los parámetros anteriores evaluando el comportamiento de todos los datos en forma conjunta.

Palabras clave: ríos meandriformes, morfología fluvial, modelación numérica, obras hidráulicas

1. Introducción

Muchos ríos de llanura, que habitualmente discurren con pendientes suaves sobre depósitos de material aluvial fino en planicies aluviales, exhiben tendencias a desarrollar un patrón de alineamiento planimétrico de tipo meandriforme (Leopold et al., 1964). Esta configuración generalmente muestra tendencias evolutivas muy marcadas, expresadas a través de procesos de migración (lateral y longitudinal) del curso fluvial, a lo largo y ancho de la planicie de inundación, lo cual hace muy dificultosa la tarea de adopción de sitios de emplazamiento adecuados para la implantación de obras de ingeniería (tomas, caminos, puentes, terraplenes, etc.) (Rocha Felices, 2009; Farias, 2017).

En estos casos, una acción muy efectiva consiste en aplicar tecnologías GIS (Geographic Information Systems) (Deb et al., 2012), en conjunción con el análisis multi-temporal de imágenes satelitales (de diversa tipología, fuente y resolución) para estimar las migraciones experimentadas en los últimos años (se pueden compilar escenas cubriendo entre tres y cuatro décadas) en los tramos del río que está experimentando los procesos morfológicos a caracterizar (Figura 1).

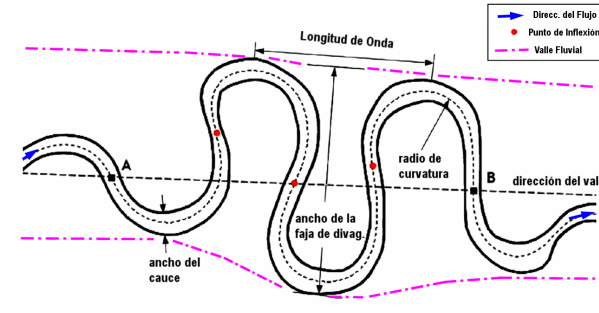


Figura 1. Geometría de ríos meandriformes. Parámetros morfométricos básicos.

Herramientas tales como el análisis multi-temporal de imágenes permiten visualizar la evolución del curso fluvial (desde el punto de vista planimétrico) a lo largo del tiempo, por ejemplo, Δt [=(t2-t1))] años (Figura 2). Para ello, se compilan varias escenas, seleccionándose las más representativas en cuanto a los criterios de resolución, cobertura nubosa, fechas y condición hidrológica asociadas. En cuanto a este último aspecto, es conveniente que las condiciones hidrológicas en el río correspondan aproximadamente a caudales dominantes, asociados a niveles de la superficie libre próximos al umbral de desborde o "bankfull" (Knighton, 1984; Chang, 1988; Garde y Ranga-Raju, 1985).

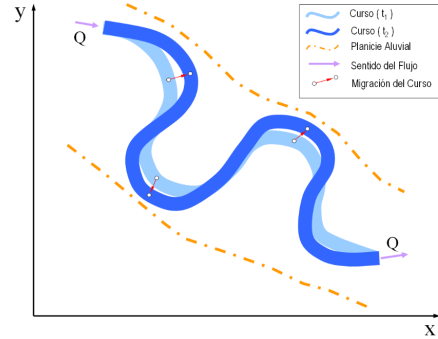


Figura 2. Migración de un curso entre dos instantes de tiempo t1 y t2.

Una vez compiladas las escenas, y luego de su georeferenciación y procesamiento primario, se procede a digitalizar las trazas de los cauces activos detectados en cada de una de ellas, y luego se lleva a cabo la superposición para evaluar los desplazamientos relativos, y las tasas de migración observadas entre los años analizados. El análisis posterior consiste en identificar las áreas de superposición de las trazas de flujo activo, asignándoles valores crecientes de frecuencia en la medida que aumenten los eventos de superposición. En efecto, un área que haya sido ocupada por tres polígonos superpuestos en otros tantos años, indica que en esos años las zonas de flujo activo del cauce se ubicaron en ese sector (Figura 3). De esta manera, resulta evidente que este criterio se puede usar como un indicador de la presencia del cauce activo un determinado número de ocasiones a lo largo del intervalo de tiempo analizado y, por lo tanto, un indicador de estabilidad fluvial en ese sector (Brice, 1982; Julien, 1995; van den Berg, 1995).

En general, en la mayoría los tramos de ríos de llanura, puede visualizarse que en la mayoría de los segmentos meandriformes, las formas de los bucles no siguen geometrías sencillas, sino más bien resultan ser combinaciones de diferentes clases de patrones simples, tales como los propuestos por Brice (1975) en su clasificador.

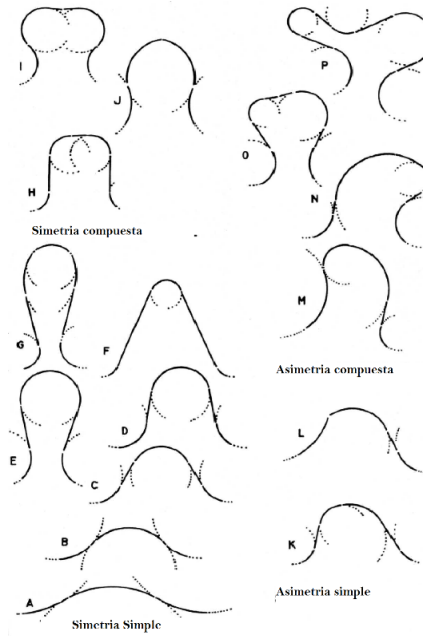


Figura 3. Clasificador de Brice para segmentos de meandros

Sobre la base de esta composición de formas geométricas complejas, se puede tipificar la geometría de las curvas, e identificar los movimientos (laterales y longitudinales) del curso fluvial, para detectar sectores de alta inestabilidad, así como también otros de moderado equilibrio dinámico (Schumm, 1977; Yalin y Ferreira Da Silva, 2001; Constantine et al., 2009; Julien, 2002).

Uno de los aspectos más destacables es la aplicación de un procedimiento metodológico que permite mapear y jerarquizar segmentos del curso con distintos grados de estabilidad morfológica. Es decir, aquellos sitios en los que los procesos de erosión de márgenes han sido importantes, lo cual define un índice de aptitud para poder caracterizar posibles de diversos grados de estabilidad morfológica (Figura 4).

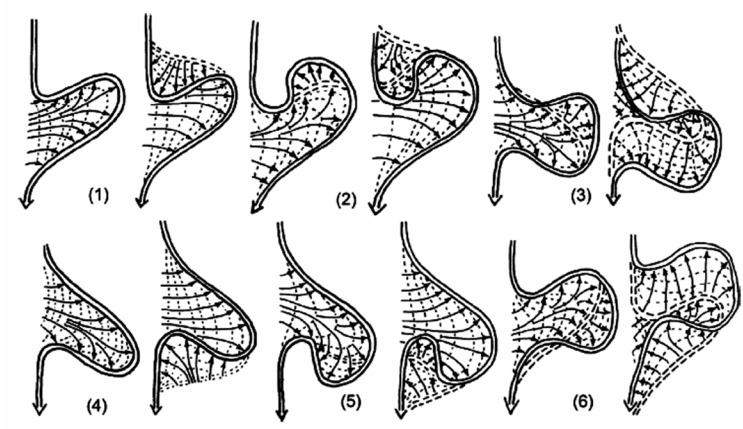


Figura 4. Migración de meandros: Influencia de la curvatura local sobre las tasas de migración (según esquema conceptual de Hickin 1974). (1-2-3): curvas con asimetría hacia aguas arriba; (4-5-6): curvas con asimetría hacia aguas abajo; (2-3 y 5-6): bucles compuestos o meandros multi-lobulares. [---]: posiciones sucesivas de la línea de margen; [→]: dirección y sentido de la migración del cauce.

2. Geometría de ríos meandriformes. Ejemplos en Argentina.

La finalidad del estudio que se presenta es la de analizar las características morfológicas de dos tramos de cauces aluviales con meandros, y establecer relaciones entre los parámetros geométricos relevantes. Asimismo, se planea comparar los patrones de comportamiento observados, en la aplicación a dos ríos de llanura en Argentina (Figura 5), con las tendencias globales observadas en estudios previos. En particular, se analizan dos cauces en zonas de interés por la interacción de los mismos con obras viales importantes.

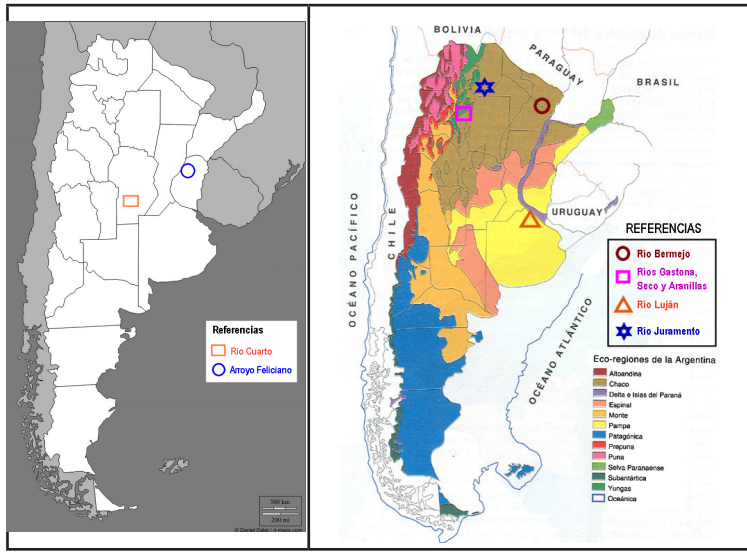


Figura 5. Ubicación de los ríos estudiados.

Uno de los ríos más importantes de la provincia de Córdoba es el Río Cuarto (también denominado Chocancharava). En el estudio se consideró el tramo de río que discurre aproximadamente paralelo a la traza de la Ruta Nacional N° 8, comprendido entre los puentes de acceso a las localidades de Las Acequias (Ruta Provincial N°10) y Reducción (Figura 6), con un sentido dominante W-E cuasi paralelo a la RN 8, y una pendiente longitudinal del orden del 1.78 o/oo. Se trata de un segmento meandriforme con gran actividad morfodinámica. En el primer segmento del tramo, aguas abajo del puente sobre RP10, se ha producido recientemente un evento de corte de un meandro (Figura 7). En particular interesa analizar el comportamiento de este tramo, por su incidencia en cuanto a la afectación de obras de infraestructura, tales como los puentes sobre las rutas mencionadas, y también por su impacto en la gran cantidad de actividades productivas que se desarrollan en su planicie aluvial.

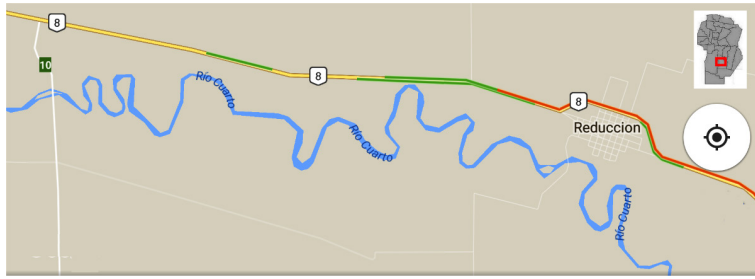


Figura 6. Ubicación del tramo en estudio del Río Cuarto.



Figura 7. Tramo Río Cuarto entre Las Acequias y Reducción (Imagen 20161022). Se indican las secciones extremas.

El Arroyo Feliciano se sitúa en la región N-W de la Provincia de Entre Ríos y pertenece al sistema fluvial del Río Paraná. Para el análisis se consideró un tramo meandriforme del mismo, de unos 7 km de longitud, en proximidades del puente sobre Ruta Nacional N° 12.

La pendiente media del arroyo en el sector es del 0.24 o/oo. Entre los procesos morfológicos recientes detectados, se ha podido constatar la ocurrencia de cortas de meandros y otros aspectos de interés, por la cercanía con caminos y áreas de actividad productiva significativa (Figuras 8 y 9).

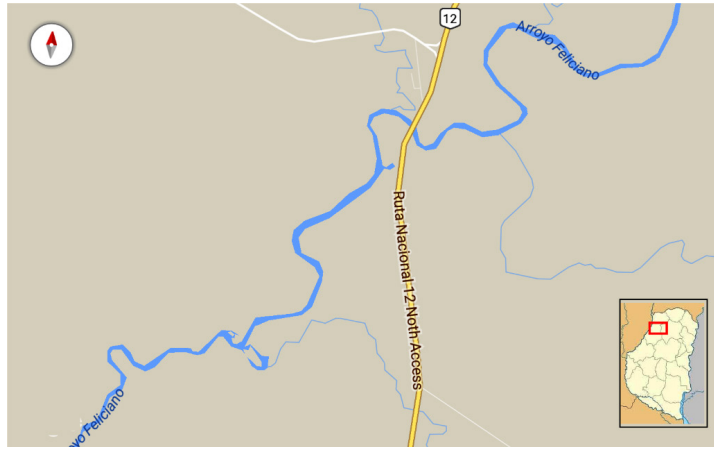


Figura 8. Ubicación del tramo en estudio del A° Feliciano.

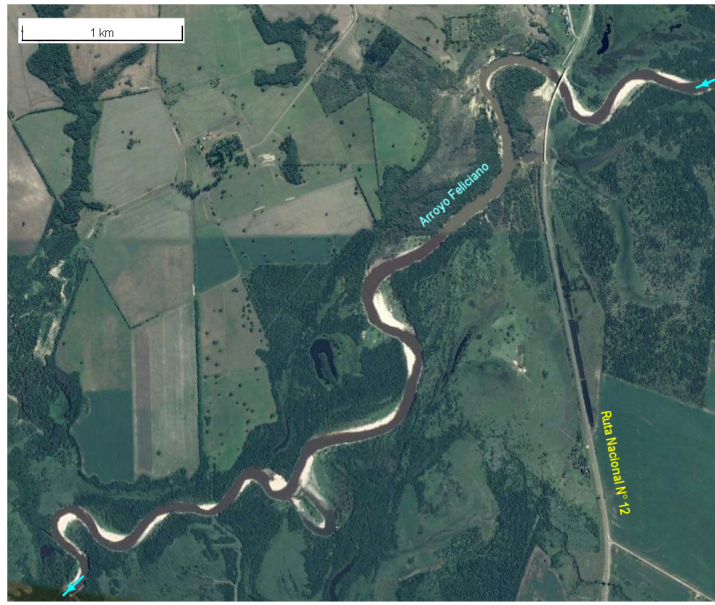


Figura 9. Detalle del tramo del Arroyo Feliciano en Ruta Nacional 12 (Imagen 20140603).

Entre los estudios globales sobre geometría de meandros, se destaca el trabajo de Williams (1986). En el mismo, se compilaron datos de 48 tramos de ríos meandriformes de distintos lugares del mundo y se establecieron las relaciones entre ellos (ancho del cauce B, longitud de onda de meandros LM, radio de curvatura Rc, ancho de faja de meandros MB). En particular, las relaciones funcionales que parecerían mostrar un mejor ajuste son: LM = f(B); Rc = f(B) y MB = f(B). Si se tiene en cuenta la ecuación fundamental de geometría hidráulica B = kB Qb (donde Q es el caudal dominante, kB un coeficiente y "b" es un exponente casi constante, e igual a ½), es factible expresar todo el conjunto de relaciones geométricas en función del caudal dominante o formativo del cauce.

Luego de analizar los tramos de los ríos con herramientas GIS, se determinaron las relaciones funcionales y se procedió a evaluar los patrones de comportamiento observados en el marco de una comparación con los datos de Williams.

El procesamiento digital se realizó utilizando el software libre GoogleEarth, trabajándose con las imágenes correspondientes al año 2013 (en el caso del Río Cuarto) y 2014 (Arroyo Feliciano). Una vez obtenidas las imágenes y digitalizadas las márgenes, se procedió a hacer uso de herramientas GIS, mediante las cuales se georeferenciaron las imágenes. Para delinear el eje del cauce, se hizo uso de la herramienta Channel Planform Statistics Tools 2.0, que es un complemento para ArcGis 10. Mediante el uso de todas estas herramientas se pudieron calcular todos los parámetros morfométricos de interés para el análisis (B, Rc, LM, MB), siguiendo los criterios propuestos por Farias (2005a; 2005b).

Otro aspecto explorado se refiere al estudio de la estabilidad del tramo usando técnicas de análisis multitemporal de imágenes. Las condiciones de inestabilidad temporal del cauce se producen como respuesta del mismo al intentar restablecer condiciones de equilibrio debido a los cambios que ocurren en

la cuenca (tanto en la hidrología como en la producción de sedimentos). En el terreno, esto se refleja en un desplazamiento, modificación o cortas de los meandros, que en algunos casos generan rectificación del cauce y aparición de lagos oxbow, que en muchos casos con el tiempo son antropizados y comienzan a ser utilizados para diferentes fines como: agrícolas, habitacionales, recreacionales, etc.

La corta del meandro depende de varios parámetros como son la radio de curvatura del río, la rugosidad, la vegetación, la capacidad de erosión de la planicie de inundación, la geometría del tramo del río, la magnitud y duración de las crecientes.

Mediante un análisis multi-temporal utilizando el software libre Google Earth Pro, se capturaron imágenes en distintos años del Río Cuarto, aguas abajo del puente sobre la RN N°10. Esta herramienta permite tener imágenes de años atrás en distintas partes del mundo. La imagen satelital más antigua que se pudo obtener de la zona en estudio es del año 2005 (que si bien es reciente en la escala de tiempos morfológicos, sirve para analizar el comportamiento en la última década). En ella, se observa que todavía no se produjo el corte del meandro, quedando aproximadamente 36 metros entre ambas márgenes. No se visualiza barra empuntada en la margen convexa (ver Figura 7). Sin embargo, en la margen cóncava, aguas arriba del meandro, se ven pequeños depósitos de sedimentos.

En la imagen del año 2013 (Figura 7) ya se observa una corta de meandro por estrangulamiento, produciendo un lago oxbow, donde el thalweg del río tiende a desplazarse hacia el centro del cauce, reduciéndose la longitud del mismo.

Analizando ambas imágenes, y graficando las márgenes del curso activo en la zona del meandro en estudio para el año 2005 y el año 2013, se puede visualizar con las imágenes superpuestas el corte de meandro por estrangulamiento, y el posterior desplazamiento del thalweg hacia el sur, reduciendo notablemente la sinuosidad local en ese sector, y

produciendo un incremento local en la pendiente que reactiva los procesos morfológicos.

A través de una inspección de la última imagen, se puede observar que hay grandes extensiones de zonas agrícolas (y/o ganaderas) alrededor del río, se aprecian algunos sectores aislados con fincas, y a ambos flancos de las márgenes se visualizan áreas anegadas con escasa vegetación. En un principio, la existencia de estos sectores está afectada por las recurrentes crecientes del río (áreas sombreadas a 45º en color magenta). Dentro de estos sectores se encuentran antiguas trazas de rellenos aluviales y lagos oxbow (color celeste) que dan una idea de la migración de los meandros (Figura 7). A su vez, se pueden observar en las márgenes depósitos de material granular (color naranja), y el área de color rojo es una cantera de material granular, muy usada en la zona para extracción de áridos para construcción. Este último punto tiene gran incidencia sobre la dinámica de sedimentos de este río, fundamentalmente en el tramo de aguas arriba, inmediatamente al oeste del analizado en este estudio, y ha sido tratado con detalle por varios autores (Corral et al, 2007; Degiovanni et al, 2013).

El mapeo de estos rasgos fluvio-morfológicos, que se realizó en el tramo en estudio, contribuye significativamente al entendimiento de los mecanismos de evolución y corte de meandros, así como también a identificar las relaciones geométricas y morfométricas asociadas a las condiciones de cuasi-equilibrio dinámico de este tramo del río.

Para el Arroyo Feliciano se hizo un análisis similar. Los resultados se presentan en las Figuras 8 y 9 para el corte de meandros.3. Evaluación de Resultados

Se consideraron los datos de los ríos analizados (RC y AF). Adicionándole a una base de datos de migración de varios tramos de ríos de llanura en diversos ambientes geográficos de la Argentina, que fueron compilados en un estudio previo (Farias et al., 2011a). Los ríos seleccionados para los estudios iniciales

son: Aranillas, Seco y Gastona, ubicados sobre la llanura tucumana al E del Aconquija; un tramo del Río Juramento, aguas abajo de la Presa El Tunal (provincia de Salta); un tramo del Río Bermejo (límite entre las provincias de Formosa y Chaco), comprendido entre las localidades de El Colorado y Lucio V. Mansilla; y, finalmente, un segmento del Río Luján, aguas arriba de la Ruta Nacional N° 9, en la Provincia de Buenos Aires. En la Figura 5, se indican estas ubicaciones sobre un mapa de regiones geográficas-ecológicas de Argentina. Se estima que estos sistemas fluviales son representativos del comportamiento de muchos ríos de llanura en las regiones involucradas.

En los gráficos siguientes se presentan las ecuaciones de mejor ajuste que pudieron obtenerse para las relaciones funcionales básicas LM = f(B); Rc = f(B) y MB = f(B), usando los datos de Williams. Las mismas son las siguientes (en unidades SI):

$$L_M = 8.77\ B^{1.06} \quad (1)$$

$$R_c = 2.10\ B^{1.03} \quad (2)$$

$$M_B = 5.33\ B^{1.08} \quad (3)$$

Como puede observarse, los exponentes en todos los casos resultaron levemente superiores a la unidad, por lo que las ecuaciones son cuasi lineales. Este aspecto ya había sido observado, usando un conjunto de datos distinto, en estudios previos (Farias et al., 2011b). Las ecuaciones simplificadas son las siguientes:

$$L_M = 10\ B \quad (4)$$

$$R_c = 3\ B \quad (5)$$

$$M_B = 6\ B \quad (6)$$

A partir de estos patrones de comportamiento de los datos, se evaluó el comportamiento de todos los datos en forma conjunta, es decir, todos los ríos compilados por Williams, a los

que se agregaron los 8 ríos argentinos compilados en este trabajo y en investigaciones anteriores (Farias et al., 2011a; Farias et al., 2011b;): Luján, Juramento, Aranillas, Seco, Gastona, Bermejo, Cuarto y arroyo Feliciano.

En las Figuras 10, 11 y 12, que se presentan a continuación, se presenta el comportamiento de la totalidad de los datos de LM, RC y MB en función del ancho a nivel de bankfull B. En las gráficas se han superpuesto las ecuaciones lineales a que se hacía referencia previamente. En el caso de la relación LM = f(B) el factor 12 produce mejores estimaciones que el factor 10 (Figura 10).

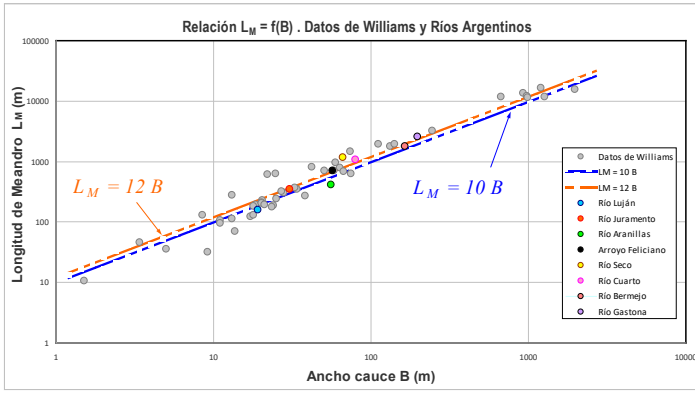


Figura 10. Relación ancho-longitud de meandro para la totalidad de los datos.

En el caso de la relación para el radio de curvatura, la ecuación RC = 3 B produce resultados aceptables, aunque los datos de Arroyo Feliciano y los ríos Seco y Cuarto se apartan por exceso de la tendencia general (Figura 11).

En la relación para el ancho de la faja de divagación, se superpone a los datos la ecuación lineal MB = 6 B, observándose que le conjunto de datos (incluyendo la mayoría de los de Williams y la casi totalidad de los ríos argentinos) tiende a ubicarse por

encima de la tendencia marcada por esta ecuación (Figura 12).

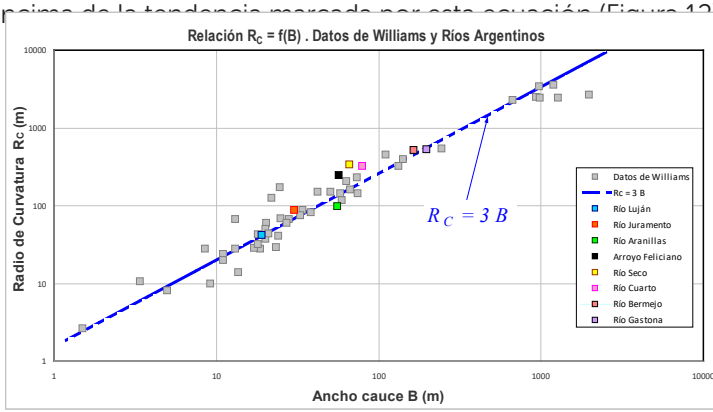


Figura 11. Relación ancho-radio de curvatura para la totalidad de los datos.

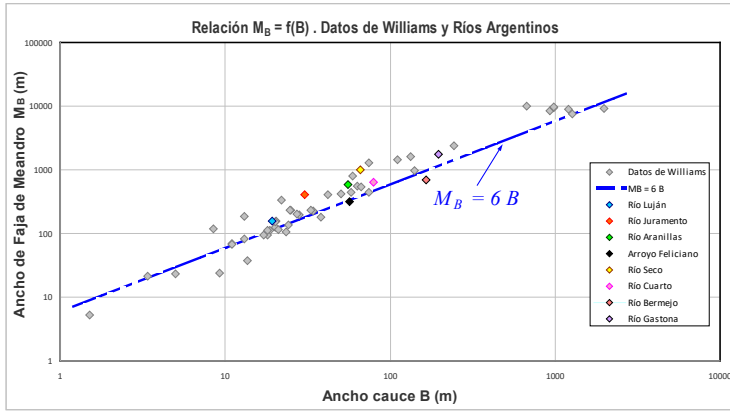


Figura 12. Relación ancho-faja de divagación para la totalidad de los datos.

En la fase final de la investigación se exploró el comportamiento de las relaciones geométricas para los ocho ríos argentinos, procediéndose a practicar un ajuste a ecuaciones potenciales del tipo de las presentadas por Williams (1986), es decir:

$$L_M = a_L B^{b_L} \quad (7)$$

$$R_c = a_R B^{b_R} \quad (8)$$

$$MB = a_M B^{b_M} \quad (9)$$

Donde los coeficientes a_L , a_R y a_M , y los exponente b_L , b_R y b_M se estimaron a partir de técnicas de mejor ajuste (best fit). Los resultados se presentan en las Figuras 13, 14 y 15.

En la tabla siguiente se resumen los resultados. No obstante, la escasa cantidad de conjuntos de datos de ríos argentinos (8) frente a los de Williams (48), se observa que la tendencia general es consistente respecto a la forma de las ecuaciones.

Fuente de Datos	a_L	b_L	a_R	b_R	a_M	b_M
Williams	8.77	1.06	2.10	10.3	5.33	1.08
Presente estudio	6.49	1.14	2.03	1.10	20.68	0.79

Tabla 1. Coeficientes y exponentes de las relaciones de mejor ajuste para la geometría de meandros.

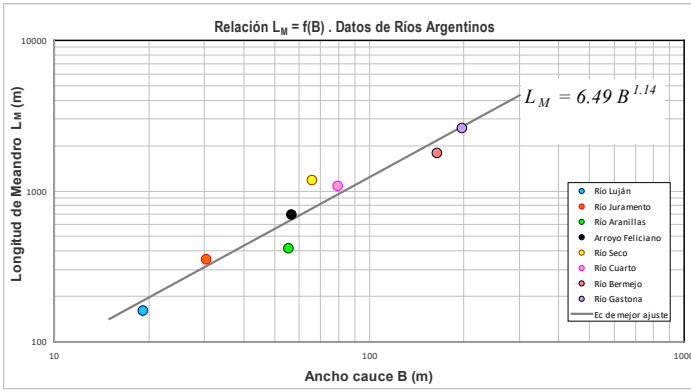


Figura 13. Relación ancho-longitud de meandro para los ríos argentinos.

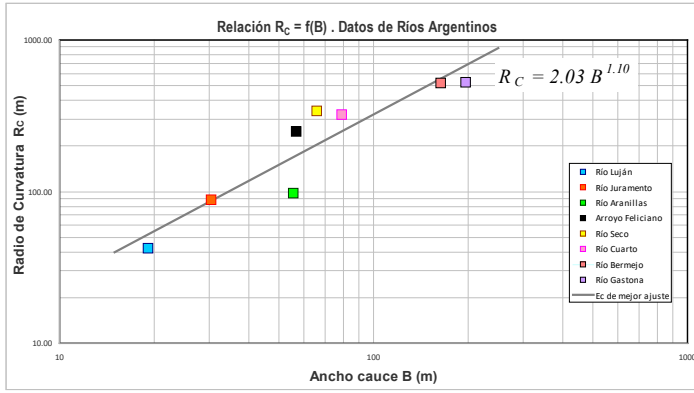


Figura 14. Relación ancho-radio de curvatura para los ríos argentinos.

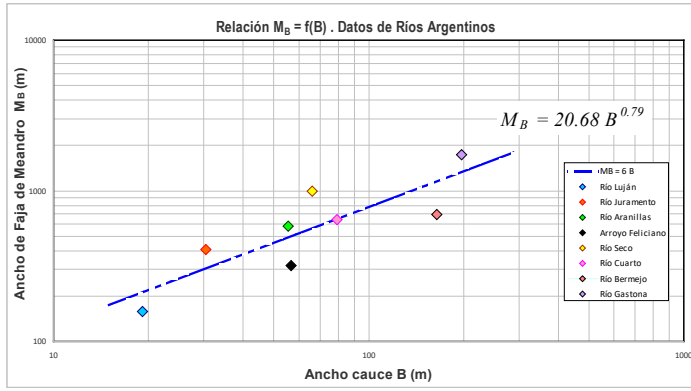


Figura 15. Relación ancho-faja de divagación para los ríos argentinos.

A partir de estos resultados alentadores, la expectativa para futuras investigaciones es compilar más datos geométricos de ríos argentinos, y en la medida que la base de datos se vaya engrosando, explorar la dependencia de los coeficientes a_i y

exponentes b_i de otras variables, tales como propiedades del sedimento, geotecnia de las márgenes, indicadores de intensidad de flujos dominantes, vegetación de riberas, etc.

En el estudio se analizaron las características morfológicas de múltiples tramos de cauces aluviales con meandros, en varias regiones geográficas argentinas. Para cada uno de ellos, se determinaron los parámetros morfométricos más relevantes (ancho del cauce, longitud de onda de meandros, radio de curvatura, ancho de faja de meandros) y se establecieron las relaciones entre los mismos. Los patrones de comportamiento observados se compararon con las tendencias globales observadas en estudios previos basados en grandes volúmenes de datos de ríos.

Se encontró que estos cursos muestran rasgos de comportamiento que indican que, en relación con los datos globales, exhiben una muy buena concordancia con las relaciones ajustadas a los datos de Williams. Ello evidencia una geometría de meandros consistente, y asociada a una cierta condición de estabilidad o equilibrio dinámico. En cada caso particular, se han discutido las tendencias de evolución en aquellas situaciones de apartamiento de la tendencia general. Ello es importante para el estudio fluvio-morfológico de este tipo de cauces, por la interacción de los mismos con obras viales importantes en cada una de las zonas estudiadas.

Referencias

Brice, J. C. (1975). *Airphoto interpretation of the form and behavior of alluvial rivers.* Final Report to the U.S. Army Research Office, Washington, D.C.

Brice, J. C. (1982). *Stream channel stability assessment.* Report no. FHWA/RD-82/021, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Chang, H. H. (1988). *Fluvial Processes in River Engineering*. J. Wiley and Sons, New York, USA.

Corral, M., Baldissone M., Hidalgo M., Díaz A., Farias H.D., Rodriguez A. y López F. (2007). *Influencia de la extracción de áridos en Río Cuarto: Modelación y Mediciones.* 3º Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos (RIOS 2007), Argentina. [http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2007/index_archivos/B/4.pdf].

Constantine, C.R., Dunne, T. y Hanson, G.J. (2009). *Examining the physical meaning of the bank erosion coefficient used in meander migration modeling.* Geomorphology, Vol. 106, pp. 242–252. doi:10.1016/j.geomorph.2008.11.002

Deb, M., Das, D. y Uddin, M. (2012). *Evaluation of Meandering Characteristics Using RS & GIS of Manu River*. Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 163-171.

Degiovanni, S., Villegas, M. y Ulla, J. (2013). *Análisis de la Carga de Fondo y Dinámica del Transporte en el Río Cuarto, Provincia de Córdoba, como base para una Minería de Aridos Sustentable.* Revista de la Asociación Geológica Argentina, Argentina, 70, feb. 2013. Disponible en: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/raga/article/view/761/2991>.

Farias, H.D. (2005a). *Forma en Planta de Ríos de Llanura. Conciliación de Criterios Empíricos y Analíticos para la Identificación de Umbrales* Morfológicos. 2° Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquén, Argentina. [http://irh-fce.unse.edu.ar/TC/TC_Farias_Forma_en_Planta.pdf]

Farias, H.D. (2005b). *Geometría Hidráulica de Ríos de Llanura. Enfoques Analíticos considerando la Influencia de las*

Márgenes. Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquen, Argentina. [http://irh-fce.unse.edu.ar/TC/TC_Farias_Forma_en_Planta.pdf]

Farias, H.D., Dominguez Ruben, L.G. y Reuter, A.F. (2011a). *Migraciones del Curso y Forma en Planta observadas en Ríos Meandriformes de varias regiones argentinas.* V Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Santiago del Estero, Argentina.

Farias, H.D., Reuter, A.F. & Dominguez Ruben, L.G. (2011b). *Determinación de Tramos Estables en Ríos de Llanura para definir el Emplazamiento de Obras sobre el Cauce.* Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2011, Resistencia, Chaco, Argentina.

Farias, H.D. (2017). *Análisis Hidráulico del Río del Valle en la zona de la Traza del FFCCGB*. Informe Técnico NORVIAL S.A. Inédito.

Garde, R. J. y Ranga-Raju, K. (1985). *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. Halsted Press, J. Wiley & Sons, NY, USA.

Julien, P.Y. (1995). *Erosion and Sedimentation*. Cambridge University Press, NY, USA.

Julien, P. Y. (2002). *River Mechanics*. Cambridge University Press, United Kingdom.

Knighton, D. (1984). *Fluvial Forms and Processes*. Arnold Publ. & J. Wiley and Sons, London, UK.

Leopold, L. B., Wolman, M. G. & Miller, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publications, Inc. New York, USA.

Rocha Felices, A. (2009). *La Morfología Fluvial y su Incidencia en la Estabilidad de las Obras Viales*. VII Congreso Internacional de Obras de Infraestructura Vial. Academia Peruana de Ingeniería, Lima, Perú (http://www.apiperu.com/Articulos/Fluvial.pdf)

Schumm, S. A. (1977). *The Fluvial System*. Blackburn Press, UK & USA.

Van den Berg, J.H. (1995). *Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers*. Geomorphology, Vol. 12, No. 259-279.

Williams G.P. (1986). R*iver Meanders and Channel Size, Journal of Hydrology*, Vol. 88, 1986, pp. 147-164.

Yalin, M.S. y Ferreira Da Silva, A.M. (2001). *Fluvial Processes*. IAHR Monograph, A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands.

PLANTAS Y MEDICINA DOMÉSTICA EN CONTEXTOS RURALES DEL DEPARTAMENTO FIGUEROA, SANTIAGO DEL ESTERO

Manuel Oscar Palacio[1], Enrique Roger[1], Rita de los Ángeles Díaz[1]

Resumen.

Para indagar sobre el estado del conocimiento local y el uso de plantas con fines medicinales en ámbitos domésticos, se aplicaron herramientas etnobotánicas en localidades y parajes del Departamento Figueroa, Santiago del Estero. Se procuró información sobre las plantas empleadas con fines medicinales, destinos de uso, partes u órganos vegetales empleados y modos de empleo, y el origen de los conocimientos sobre las plantas medicinales. Son 35 las especies empleadas con fines medicinales, preponderantemente nativas (77%), pertenecientes a 34 géneros y 22 familias, siendo Fabaceae la mejor representada. Los destinos de usos más habituales son cicatrizantes,

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic". Cátedra de Botánica Forestal. Santiago del Estero, Argentina

digestivos, y para la tos; las plantas se emplean de diversas maneras, siendo la infusión la más frecuente. Los saberes sobre las plantas y sus usos tienen diversos orígenes, siendo el principal la transmisión generacional, a lo que se suma la experiencia propia y otras fuentes externas. La vigencia de los procedimientos etnomedicinales evidencia la importancia de las plantas del entorno y la solidez de los saberes y prácticas populares.

Palabras clave: plantas medicinales, Figueroa, etnomedicina, flora nativa

1. Introducción

A través de generaciones, las comunidades dieron origen, en base de sus propias experiencias, a un saber comunitario sobre su ambiente, envuelto en una fuerte impronta cultural con rasgos que le son particulares y lo distinguen. Este conjunto de saberes y prácticas, denominado "conocimiento ecológico", refleja las interacciones entre las poblaciones y las distintas dimensiones de su entorno natural, al que recurre para satisfacer necesidades individuales y colectivas (Figura 1). Constituido por un universo de prácticas, formas organizativas, relaciones comunitarias y rituales de grupos humanos particulares y sus procesos históricos, este saber se mantiene, acrecienta y transmite generacionalmente, tornándose dinámico y cambiante a través de la historia (FAO, 2009). Entre sus principales características están las de ser cualitativo, intuitivo, holístico, moral y espiritual y generarse a partir de observaciones de carácter empírico (Berkes, 1993).

Los términos "conocimiento tradicional", "conocimiento local", "conocimiento indígena" y "conocimiento ecológico tradicional" son considerados como sinónimos por muchos autores (Johannes et al., 2000), para hacer referencia a un cúmulo de

saberes, prácticas y creencias, desarrolladas gradualmente por el proceso adaptativo y transmitidas entre generaciones como parte del desarrollo cultural del ser humano (Berkes, 1993). Por lo general, estos conceptos describen las relaciones del hombre y su ambiente. Este conjunto de saberes sobre el entorno vegetal, sin embargo, está en un permanente proceso de cambio, puesto que incorpora experiencias, interpretaciones y necesidades de las nuevas generaciones (Davis y Wagner, 2003) que se suman a lo recibido de generaciones precedentes.



Figura 1. Elementos y relaciones involucrados en el concepto de "conocimiento ecológico" (Fuente: adaptado de Roger, 2020, 2022).

En la cultura santiagueña, los saberes y tradiciones que vinculan a las poblaciones y su entorno integran los rasgos particulares de la "santiagueñidad", integrándose sustancialmente a su folclor, sea en la música o la poesía, sus leyendas y sus mitos. Es posible encontrar numerosos aportes de investigadores de estos "pagos" (o autores santiagueños) que fueron dejando evidencia sobre la manera en que los santiagueños se vinculan con el ambiente natural (y particularmente las plantas), al cual recurren buscando remedios para la salud, alimentos para ellos y sus ganados, materia prima para la construcción de sus hogares, utensilios domésticos, artefactos de producción, re-

fugios para sus animales, para la provisión de energía, e incluso el desarrollo de rituales vinculados a sus creencias y prácticas religiosas (Álvarez, 1919; Paz, 1941; Bravo, 1985; Roic y Villaverde, 2007; Togo et al., 1990). Además, en un contexto de ruralidad, es más fuerte el vínculo con el ambiente, porque es justamente el "monte" el espacio natural que se convierte en fuente invalorable de materia prima para satisfacer las necesidades básicas (Palacio et al. 2007; Palacio, 2015). Se puede sostener, sin dejar lugar a la duda, que existe un vasto conocimiento etnobotánico entre las poblaciones rurales santiagueñas, cuyos integrantes han construido una estrecha relación con las plantas de su entorno, recurriendo a ellas en forma cotidiana para curar afecciones de la salud, para alimentar el ganado, elaborar productos artesanales, para las construcciones rurales, para la producción apícola, etc. (Roic et al., 1999; Roic et al., 2002; Palacio et al., 2007; Carrizo y Palacio, 2013; Palacio 2015; Palacio y Roger, 2016).

La región chaqueña, situada en norte y centro del territorio argentino, constituye un sitio que alberga una diversidad bio-cultural única en el mundo, y allí las etnias originarias y campesinas se caracterizan por su amplio y significativo conocimiento agroecológico y cultural (Hueck y Seibert, 1972; Morello y Adámoli, 1974; Maldonado y Höhne, 2006; Leake, 2010; Roger, 2020).

El Departamento Figueroa, espacio territorial en el cual se desarrolló esta investigación, está localizado en la región mediterránea provincial y atravesado diagonalmente por el río Salado, ocupando una superficie de 6695 km^2 (Basualdo, 1981). Limita al norte con el departamento Alberdi, al noroeste con el departamento Jiménez, al este con el departamento Moreno, al sur con los departamentos Felipe Ibarra, Sarmiento y Robles y al oeste con el departamento Banda. Según datos provisionales, posee 20.063 habitantes y una densidad poblacional de 2,9 hab./ km^2 (INDEC, 2023). Presenta un relieve predominan-

temente llano, se caracteriza por un clima semiárido moderado subcálido, cuyas temperaturas medias anuales no son nunca inferiores a 21º y casi siempre con variación diurna y estacional pronunciada (Basualdo, 1981). Dentro del denominado "Chaco leñoso", es posible advertir sobre ambas márgenes del río Salado, la presencia de "vinalares", que como un frente continuo avanzan a expensas de las otras especies vegetales. En áreas más elevadas del terreno, se encuentran especies de mayor porte, como el "quebracho colorado" (Schiposis lorentzii) y el "quebracho blanco" (Aspidosperma quebracho-blanco.), integrados en montes bajos constituidos por numerosos arbustos leñosos y árboles como el "algarrobo negro" (Neltuma nigra), el "algarrobo blanco" (Neltuma alba) y el "mistol" (Sarcomphalus mistol).

Una particularidad de este departamento es la presencia de una gran extensión de esteros y bañados, aproximadamente 60.000 ha, con pequeñas lagunas y terrenos inundados estacionalmente y salitrales a lo largo del río Salado (Figuras 2 y 3). Las referencias históricas del mismo indican que en tiempos anteriores al siglo XIX y de acuerdo a los restos arqueológicos encontrados, vivieron culturas correspondientes a los períodos Temprano y Medio, es decir, Mercedes y Sunchituyoj, también estuvo asentada una reducción jesuítica, San José de Petacas. Toda esta región se conocía como "Chaco Gualamba" y comprendía varias provincias indígenas.

Los bosques son esenciales para el bienestar humano, puesto que son proveedores de bienes diversos, entre ellos los productos forestales no maderables y otros importantes servicios ecosistémicos. En las últimas décadas, es creciente la preocupación por los efectos de las acciones del hombre sobre los ecosistemas y, junto a ella, el compromiso con la mitigación de estos daños. Y los bosques naturales no escapan a esta situación.

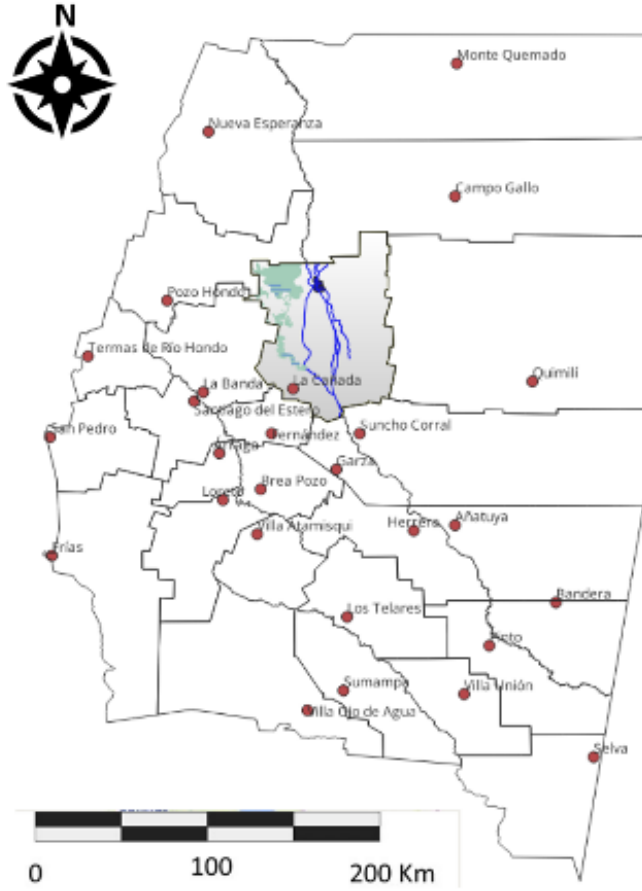


Figura 2. Mapa de ubicación del Dpto. Figueroa, en la provincia de Santiago del Estero.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013), en los países en vías de desarrollo la atención primaria de salud de la población se basa principalmente en la medicina tradicional. Dentro de este contexto, los conocimientos tradicionales sobre las plantas medicinales representan un cúmulo detallado

y sistematizado sobre el uso de la diversidad biológica propio de determinados grupos culturales, que en la actualidad están sufriendo un fuerte y continuo proceso de aculturación por diversos motivos (Berkes et al., 2000; Martínez, 2015). Es por esto que la investigación etnobotánica posibilita la comprensión de esos conocimientos culturales a través de una perspectiva científica que analiza especialmente las estrategias y mecanismos del uso de las plantas. Se convierte en una herramienta indispensable para la sustentabilidad del ambiente y las culturas. En consecuencia, el análisis cultural de los saberes etnomedicinales resulta clave para su conservación, protección y prospección de los recursos ambientales locales (Lawrence et al., 2005). Debido a la expansión agrícola-ganadera, los incendios forestales, la deforestación y el desarrollo urbano, los ambientes naturales están amenazados y en consecuencia el conocimiento etnobotánico popular (Lawrence et al., 2005). Por esto es que los estudios orientados a entender el vínculo entre el conocimiento tradicional y la conservación de las plantas se constituyen como estrategias efectivas en el tiempo con la finalidad de salvaguardar conocimientos sobre el ambiente, promoviendo, a su vez, el uso sostenible de los recursos.

El objetivo de este estudio fue documentar el conocimiento tradicional asociado a plantas medicinales y analizar su importancia en la vida diaria de los pobladores de las comunidades rurales en localidades del departamento Figueroa, Santiago del Estero, Argentina.



Figura 3. Panorámicas de distintos ambientes naturales del departamento Figueroa: A- Lagunas; B- Áreas inundables; C- Monte; D- Zona salitrosas.

2. Metodología de trabajo

Para la obtención de la información se aplicaron herramientas etnobotánicas tradicionales como las encuestas semiestructuradas, talleres y caminatas etnobotánicas, en distintas localidades y parajes del Departamento Figueroa, Santiago del Estero. Mediante ellas se indagó sobre las plantas que son conocidas por sus propiedades medicinales y empleadas para tratar afecciones de la salud humana, los principales destinos de uso, las formas y modos de empleo más frecuentes y las partes u órganos vegetales empleados en los procedimientos.

En los talleres, que se desarrollaron en las localidades La

Invernada y Cardón Esquina (Figura 4), se socializó el conocimiento sobre las plantas utilizadas para curar afecciones humanas y el origen de los mismos. Participaron de ellos 45 personas, hombres y mujeres y con edades entre 18 y 70 años, provenientes de parajes cercanos. Entre las actividades previstas en los talleres se realizaron caminatas etnobotánicas con los participantes, para reconocer las plantas nativas en su entorno, para relacionar los nombres populares con la identidad botánica e individualizar caracteres morfológicos de valor taxonómico que permiten su reconocimiento a campo (Figura 5).



Figura 4. Localidades en las que se desarrollaron talleres: A-La Invernada; B-Cardón Esquina.

Entre los informantes se incluyeron pobladores rurales de localidades y parajes rurales del interior del departamento, algunos de ellos pequeños productores dedicados a la cría de ganado caprino, bovino y aves de corral, así como también artesanos y productores hortícolas y algodoneros en pequeña escala. Muchos de los actores, principalmente las mujeres,

integran grupos participativos como cooperativas de trabajo y grupos comunitarios.

Se colectó material vegetal siguiendo los procedimientos recomendados para tal fin y, una vez identificado, el material herborizado fue depositado en el Herbario SDE de la catedra Botánica Forestal en el Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic" de la FCF-UNSE. Las especies se registraron fotográficamente en su entorno.

Para el tratamiento taxonómico de las especies se siguió el Sistema APG (Angiosperm Phylogeny Group, 2023) y en la asignación de los nombres científicos se tuvieron en cuenta las bases de datos botánicos de World Flora On Line (2023) y Flora Argentina (2023).



Figura 5. Aspectos del desarrollo de los talleres, participantes y caminatas etnobotánicas

3. Resultados y Discusiones

Son 35 especies de plantas vasculares las reportadas como etnomedicinales por los colaboradores, las que se ordenan en 34 géneros y 21 familias botánicas. *Fabaceae* es la familia con mayor número de especies medicinales (7), seguido por *Asteraceae* (4), *Solanaceae* (3), *Amaranthaceae*, *Lamiaceae* y *Verbenaceae* (2 especies respectivamente), que, en su conjunto, constituyeron el 57,1 % del total de las especies medicinales reportadas. En la Tabla 1 se listan las especies ordenadas por familia botánica, con referencia a sus nombres locales, forma de vida y origen.

En términos de riqueza específica, estos resultados son concordantes con los antecedentes locales consultados (Carrizo et al., 2005; Palacio, 2007). En La Invernada se mencionaron 31 especies, mientras que en Cardón Esquina 12, siendo sólo 8 de ellas comunes a ambos sitios (Figura 6).

ESPECIE			HABITO	ORIGEN
Familia	Nombre Local	Nombre científico		
Amaranthaceae	ashpa quiska	*Alternanthera pungens*	HI	NA
	paico	*Dysphania ambrosioides*	AB	NA
Anacardiaceae	molle colorado	*Schinus bumelioides*	AR	NA
Apocynaceae	ancoche	*Vallesia glabra*		NA

Asteraceae	caléndula	*Calendula officinalis*	HI	IN
	palo azul	*Cyclolepis genistoides*	AB	NA
	diente de león	*Taraxacum oficinale*	HI	IN
	abrojo	*Xanthium spinosum*	HI	IN
Brassicaceae	quimpi	*Coronopus didymus*	HI	NA
Cannabaceae	tala	*Celtis tala*	AR	NA
Capparaceae	atamisqui	*Atamisquea emarginata*	AB	NA
Fabaceae	pezuña de buey	*Bahuinia forficata*	AR	IN
	chañar	*Geoffroea decorticans*	AR	NA
	árbol blanco	*Neltuma alba*		NA
	vinal	*Neltuma ruscifolia*	AR	NA
	brea	*Parkinsonia praecox*	AR	NA
	maluj tacko	*Senna moronguii*	AB	NA
	tusca	*Vachellia aroma*	AB	NA
Lamiaceae	boldo de Brasil	*Plectranthus neochilus*		
	sertal		HI	IN
	romero	*Rosmarinus officinalis*	AB	IN
Malvaceae	malva	*Sphaeralcea bonariensis*	HI	NA
Myrtaceae	eucalipto	*Eucalyptus camaldulensis*	AB	IN

Plantaginaceae	llantén	*Plantago sp.*	HI	NA
Rhamnaceae	mistol	*Sarcomphalus mistol*	AR	NA
Santalaceae	sombra de toro	*Jodina rhombifolia*	AR	NA
Scrophulariaceae	salvia blanca	*Buddleja tucumanensis*	AB	NA
Solanaceae	palan palan	*Nicotiana glauca*	AB	NA
	asta de ciervo	*Sclerophylax sp.*	HI	NA
	caspi yuyo	*Solanum pilcomayense*	HI	NA
Urticaceaee	ortiga	*Urtica sp.*	HI	IN
Verbenaceae	poleo salteño	*Aloysia polystachia*	AB	NA
	poleo criollo	*Lippia turbinata*	AB	NA
Viscaceae	liga	*Phoradendron liga*	HI	NA
Xanthorrhoeaceae Xanthorrhoeaceae	aloe vera Xanthorrhoeaceae	*Aloe sp.*	HI	IN
Zygophyllaceae	jarilla	*Larrea divaricata*	AB	NA

Tabla 1. Diversidad de especies empleadas como medicinales.
HABITO: HI-hierba; AB-arbusto; AR-árbol.
ORIGEN: NA-nativa; IN-introducida

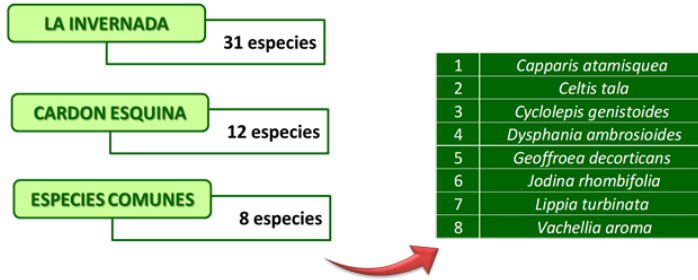


Figura 6. Número de especies medicinales por sitio y especies comunes en ambos sitios que son reconocidas por los pobladores del departamento Figueroa

En relación a las formas de vida de las plantas relevadas, cabe destacar que el 39% del total de especies medicinales está compuesto por hierbas (Figura 7 B), grupo biológico más sensible a los principales factores de riego ambiental como quemas e incendios naturales e intencionales, conversión de áreas con fines agrícolas, ganadería, entre otros. El 61% restante son leñosas (Figura 7 B), en su mayoría nativas de la flora santiagueña presentes en los ambientes naturales, que pone en evidencia el valor de este grupo en la salud popular local.

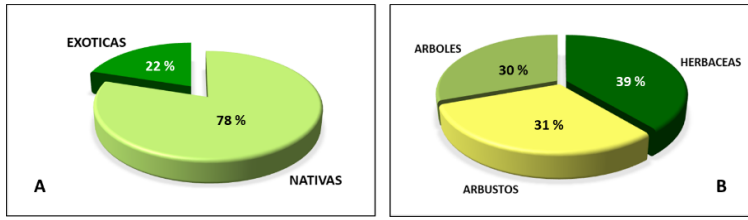


Figura 7. A- Distribución de especies según su origen biogeográfico; B-Distribución de especies según su forma de vida.

En lo que respecta al origen biogeográfico, el 22% de las plantas medicinales está constituido por especies introducidas (Figura 7 A), la mayoría de ellas cultivadas por las comunidades estu-

diadas, lo cual demuestra, en parte, el proceso de aculturación y el rol preponderante de las plantas, independientemente de su origen, y de interés por sus efectos en la manutención de la salud de los pobladores. El resto de las especies relevadas forman parte de la flora nativa de la provincia.

Las plantas medicinales se obtienen a partir de la recolección directa en áreas circundantes a las viviendas, sitios de cultivo (huertas y jardines peridomésticos), lugares de trabajo, caminos vecinales, entre otras, como así también mediante intercambio y en ocasiones se adquieren en comercios de las grandes ciudades. Por lo general, las especies de origen nativo se obtienen de los ambientes naturales (bosque, pastizal, salitral, áreas ribereñas, borde de caminos), mientras que las introducidas se encuentran en los patios y jardines o en terrenos modificados.

Uno de los principales aspectos del conocimiento local sobre las plantas medicinales lo representan los destinos de usos, es decir, cuáles son las alteraciones de la salud para las que pueden emplearse. Se registraron un total de 39 destinos de usos medicinales, siendo los más mencionados las afecciones del aparato digestivo, respiratorio y genito-urinario. Teniendo en cuenta el número de especies empleadas en su tratamiento, los más referidos son el cicatrizante (7), para combatir la tos (7), para los riñones y diurético (4), para el empacho y trastornos digestivos (3) y los enfriamientos (3). En la Tabla 2 se presentan los principales destinos de uso de las especies con mención de las partes u órganos vegetales empleadas y las formas de uso más frecuentemente empleadas en cada caso.

Los órganos vegetales más frecuentemente empleados en el tratamiento de las afecciones son las hojas, seguidos de hojas y ramas y corteza y frutos (Figura 8), y en algunos casos se emplean varios órganos de una misma especie, como por ejemplo el caso de la "brea" (Parkinsonia praecox) de la que se utilizan hojas, ramas, corteza y resina (Tabla 2, Figura 11 F).

ESPECIES	DESTINO DE USO	PARTE EMPLEADA	FORMA DE USO
Alternanthera pungens	Empacho	Planta entera	Infusión
Aloe sp.	Dolor de muelas, manchas en la piel, cicatrizante, quemaduras,	Hojas, mucílago	Emplastos, uso externo
Aloysia polystachia	Digestivo	Hojas y flores	Infusión
Bahunia forficata	Diabetes	Hojas	Infusión
Buddleja tucumanensis	Empacho	Hojas	Infusión
Calendula officinalis	Cicatrizante	Flores	Jabones
Atamisquea emarginata	Enfriamientos, reuma, artrosis, protector hepático	Ramas y Hojas	Baños y lavajes Infusión
Celtis tala	Empacho, intestinos (bebés y niños)	Hojas	Infusión
Cyclolepis genistoides	Diurético, infecciones urinarias	Ramas y Hojas	Infusión, baños
Dysphania ambrosioides	Repelente de insectos empacho, digestivo	Hojas y ramas	Se colocan hojas y ramas Infusión, emplasto

Eucalyptus camaldulensis	Expectorante	Hojas	Inhalaciones
Geoffroea decorticans	Expectorante, tos	Corteza, frutos	Infusión, dulces (arrope)
Jodina rhombifolia	Hígado, estómago, tos, gastritis, alcoholismo, ácido úrico, colesterol	Hojas	Infusión
Larrea divaricata	Hemorroides, cicatrizante	Hojas	Cocimiento, infusión, lavajes
Lepidium didymum	Tos	Hojas	Infusión
Lippia turbinata	Digestivo, enfriamientos	Hojas, flores y ramas	Infusión, Licores
Neltuma alba	Lagañas	Hojas	Extracto de hojas
Neltuma ruscifolia	Calmante Resaca Conjuntivitis,	Hojas	Infusión Inhalaciones Lavajes
Nicotiana glauca	Refrescante, analgésico	Hojas	Emplastos, uso externo
Parkinsonia praecox	Cicatrizante, Energizante Repelente	Hojas, ramas, corteza, resina	Lavajes y emplastos Infusión emplastos

Plantago sp.	Expectorante Infecciones urinarias, riñones	Hojas	Infusión Jabones
Plectranthus neochilus	hígado	Hojas	Infusión
Phoradendron liga	Refrescante, hidratante, insolación	Hojas	Infusión
Rosmarinus officinalis	hígado, memoria	Hojas	Infusión
Sarcomphalus mistol	Expectorante Caspa	Hojas y madera	Infusión Lavajes
Sclerophylax sp.	Vesícula	Hojas	Infusión
Schinus bumelioides	Anemia enfriamientos	Hojas	Infusión, gárgaras Baños.
Senna moronguii	Cicatrizante, conjuntivitis	Hojas	Lavajes
Solanum pilcomayense	Insolación	Hojas	Cataplasmas
Sphaeralcea bonariensis	Desinfectante, expectorante	Hojas y raíces	Baños, jabones
Taraxacum oficinale	diurético depurativo de la sangre	Planta entera	Infusiones Infusiones
Urtica sp.	Cicatrizante, hipertensión, caída del pelo, próstata	Hojas	Infusión

Vachellia aroma	Cicatrizante Cicatrizante, úlceras, gastritis	Hojas, corteza	Jabones y lavajes Infusión, cocimiento
Vallesia glabra	cicatrizante	Hojas	Lavajes
Xanthium spinosum	Empacho y diarreas riñones, diurético	Hojas y espinas	Infusión Infusión

Tabla 2. Destinos de uso de las plantas medicinales empleadas por la población rural del departamento Figueroa, con mención de las partes vegetales a las que se recurre y las formas de empleo.

Según lo relataron los colaboradores, las plantas se usan de diferentes maneras según el tipo de tratamiento o afección, sean en forma directa como en los emplastos o bien formando parte de la elaboración de jabones y cremas o como alimentos medicinales como el "arrope" (Tabla 2), nombre con el que se designa localmente a una especie de jalea elaborada con frutos de la planta. Es frecuente que algunas especies se empleen para tratar distintas afecciones, por lo que generalmente una misma planta puede emplearse de maneras diversas (Tabla 2), como es el caso de la "tusca" (Vachelia aroma) (Figura 11 A) cuyas hojas pueden usarse como té que se toma "por agua" para las úlceras o gastritis, o bien elaborando con ellas jabones o cremas o cocimientos para cicatrizar heridas. Algo similar ocurre con el "atamisqui" (Atamisquea emarginata) (Figura 11 D), cuyas hojas y ramas se usan en la preparación de infusiones para tratar problemas de hígado o se prepara un cocimiento con el que se realizan baño o lavajes para combatir enfriamientos, reuma, artrosis, por mencionar algunos casos particulares. En otros se preparan infusiones que se mezclan con la leche,

como sucede con las hojas de "tala", tratamiento indicado por los informantes para tratar el empacho en los niños. Se registraron 12 formas de uso diferentes de las plantas medicinales en el área de estudio, siendo las más mencionadas la infusión (51 %), baños (15,7 %), lavajes (7,8 %), y jabones (5,9%) (Figura 9).

Entre las especies nativas etnomedicinales más importantes para las comunidades estudiadas, función del número de uso y de las menciones obtenidas, se destacan la "sombra de toro" (Jodina rhombifolia) (Figura 11 B), utilizada en el tratamiento de hígado, afecciones estomacales, tos, alcoholismo, ácido úrico y colesterol; el "vinal" (Neltuma ruscifolia) (Figura 11 C), para calmar dolores en general, conjuntivitis, y el "atamisqui" (Atamisquea emarginata), vinculada a enfriamientos, reuma, artrosis, entre otras. De las especies introducidas, merecen especial atención: el "romero" (Rosmarinus officinalis), para la memoria y el hígado; el "aloe vera" (Aloe sp.) (Figura 10 A), para el dolor de muelas, manchas en la piel, cicatrizante general, quemaduras, ambas especies cultivadas en jardines, huertas o "cercos", y el "abrojo" (Xanthium spinosum), planta asilvestrada recomendada para la indigestión (empacho), afecciones en los riñones, diarrea y como diurético.

Al indagar sobre el origen del conocimiento de las plantas, los informantes señalaron tres fuentes bien diferenciadas, de las cuales la transmisión recibida de sus padres y abuelos es la más referida (80 %) de quienes heredaron los saberes y las prácticas, como sucede con las especies nativas. En segundo lugar, la información sobre las plantas medicinales se obtiene de fuentes externas a la familia, como que surge en capacitaciones, reuniones con extensionistas, encuentros con pares de distintas organizaciones (15%), pudiéndose citar como ejemplo el caso de las infusiones de "boldo de brasil" o "sertal" (Plectranthus neochilus) (Figura 10 B) empleadas en tratamientos para el hígado o como digestivo. Finalmente, algunos refieren sus propias prácticas y observaciones como fuente (5%), como

el caso del "caspi yuyo" (*Solanum pilcomayense*) que se emplea en forma de cataplasmas para tratar la insolación.

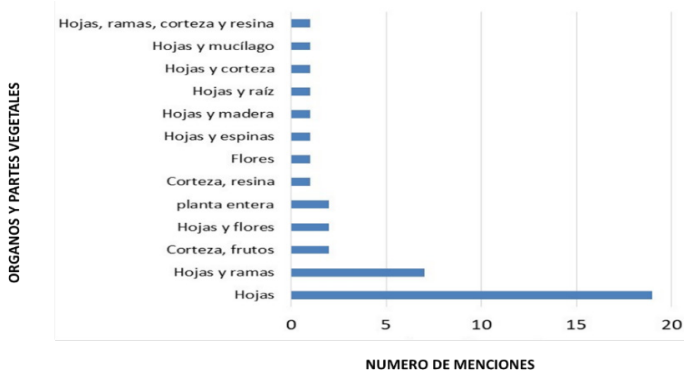


Figura 8. Distintos órganos y partes vegetales empleados en tratamientos medicinales por pobladores rurales del departamento Figueroa, Santiago del Estero.

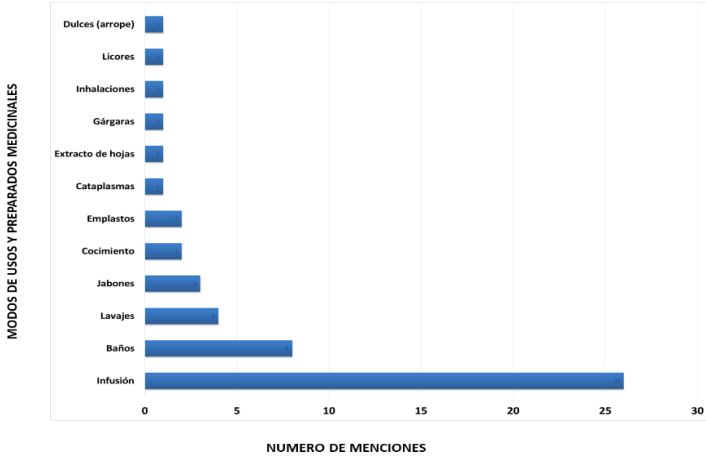


Figura 9. Formas de usos y preparados medicinales empleados por pobladores rurales del departamento Figueroa, Santiago del Estero.



Figura 10. Especies introducidas empleados como medicinales por pobladores del Departamento Figueroa, Santiago del Estero. A- *Aloe sp.*; B- *Plectrancthus neochilus*; C- *Bahunia forficata*

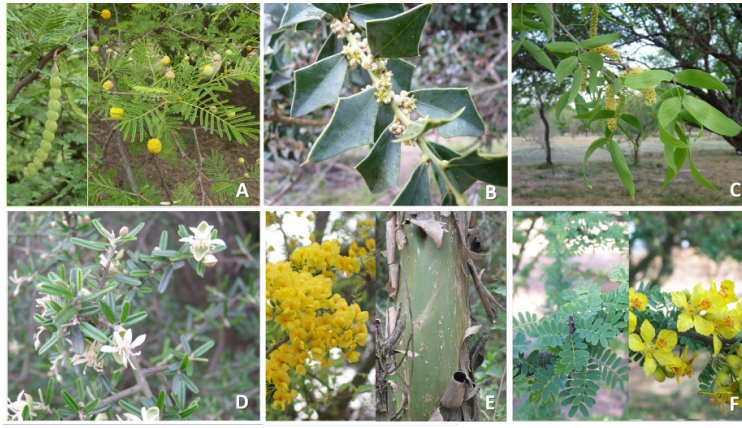


Figura 11. Especies nativas empleadas como medicinales por pobladores del Departamento Figueroa, Santiago del Estero: A- *Vachellia aroma*, B- *Jodina rhombifolia*; C- *Neltuma ruscifolia*; D- *Atamisquea emarginata*; E-*Geoffroea decorticans*; F-*Parkinsonia praecox*.

4. Conclusiones

En las comunidades rurales y parajes del departamento Figueroa, Santiago del Estero, el empleo de plantas medicinales forma parte esencial de la vida cotidiana, como lo demuestran los resultados obtenidos, tanto por el número de especies medi-

cinales reportadas como por el amplio rango de afecciones de la salud para los cuales se utilizan.

La vigencia de los procedimientos etnomedicinales en el área de estudio pone en evidencia la importancia de las plantas del entorno. El "monte" sigue siendo un elemento esencial en el escenario cultural y social de las comunidades rurales con las que existen relaciones funcionales indiscutibles, por lo que información como la surgida de esta indagación sirve para orientar estrategias y acciones de protección y conservación del bosque nativo.

Los saberes y prácticas populares vinculados al uso de las plantas medicinales que forman parte del conocimiento etnobotánico actual de las comunidades, en su mayoría son herencia que se trasmitió de generación en generación, las cuales fueron enriquecidas con otros saberes originarios de otras localidades y regiones y por la observación y práctica de los campesinos, por lo que se demuestra una vez más, que este saber etnomedicinal continúa evolucionando y acrecentando en forma dinámica.

Referencias

Álvarez, A. (1919). *Flora y fauna de la Provincia de Santiago del Estero*. Poder Ejecutivo de la Provincia de Santiago del Estero, Santiago del Estero.

Angiosperm Phylogeny Group (2023). *Angiosperm Phylogeny Website, version 14*. https://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/ Acceso en la Fecha 10/02/2023.

Basualdo, M. A. (1981). *Rasgos fundamentales de los departamentos de Santiago del Estero*. Municipalidad de Santiago del Estero. Santiago del Estero.

Berkes, F. (1993). *Traditional ecological knowledge in perspective*. En J. T. Inglis, Traditional ecological knowledge: concepts and cases, págs. 1-9. Canadian Museum of Nature, Ottawa.

Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. (2000). *Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management*. Ecological Adaptations, 10, 1251–1262.

Bravo, D. (1985). *Diccionario Quichua Santiagueño- Castellano*. Kelko, Santiago del Estero.

Carrizo, E. y Palacio, M.O. (2013). *Empleo de plantas nativas por poblaciones rurales de Santiago del Estero*. En A. S. Albanesi, R. Paz, M. T. Sobrero, S. Helman y S. Rodríguez (Eds). Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial. De la FAyA al NOA. Págs. 269-284. Ediciones Magna, Tucumán.

Carrizo, E., Palacio, M. y Roic, L. D. (2005). *Uso medicinal de algunas especies nativas en Santiago del Estero (República Argentina*). Dominguezia, 21 (1), 25-32.

Davis, A. y Wagner, J.R. (2003) *Who Knows? On the Importance of Identifying "Experts" When Researching Local Ecological Knowledge*. Human Ecology, 31(3), 463–489.

FAO (2009). *FAO and traditional knowledge: the linkages with sustainability, food security and climate change Impacts.* FAO, Roma.

Flora Argentina (2023). *Flora Argentina, Instituto de Botánica Darwinion*. http://www.floraargentina.edu.ar/ Acceso en la Fecha 10/02/2023

Hueck, H. y Seibert, P. (1972). *Mapa de la vegetación de América del sur*. Sociedad Alemana de Cooperación técnica – GTZ. Sttutgart.

INDEC (2023). *Datos provisionales- Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022*. Instituto Nacional de Estadística y Censos de la Nación Argentina. https://www.indec.gob.ar/ Acceso en la Fecha 10/02/2023.

Johannes R. E., Freeman M. M. R. y Hamilton R. J. (2000). *Ignore fishers knowledge and miss the boat*. Fish and Fisheries 1, 257-271.

Lawrence, A., Phillips, O. L., Ismodes, A. R., López, M., Rose, S., Wood, D. y Farfán, A. J. (2005). *Local values for harvested forest plants in Madre de Dios, Peru: Towards a more contextualised interpretation of quantitative ethnobotanical data*. Biodiversity and Conservation, 14(1), 45–79.

Leake, A. (2010). *Los pueblos indígenas cazadores-recolectores del Chaco Salteño: población, economía y tierras*. Fundación ASOCIANA. Instituto Nacional de Asuntos Indígenas. Universidad Nacional de Salta. Salta.

Maldonado, P. y Höhne, E. (2006). *Atlas del Gran Chaco americano*. http://redaf.org.ar/wp-content/uploads/2008/02/ATLAS_GRAN_CHACO_ES.pdf Acceso en la Fecha 27/04/2023

Martínez, G. J. (2015). *Las plantas en la medicina tradicional de las sierras de Córdoba: un recorrido por la cultura campesina de Paravachasca y Calamuchita*. Detodoslosmares, Capilla del Monte.

Morello, J. H. y Adámoli, J. (1974). *La vegetación de la República Argentina. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino*. Segunda parte: vegetación y ambiente de la provincia de Chaco. Serie Fitográfica INTA, 13, 1-129.

OMS (2013). *Estrategias de la OMS sobre la medicina tradicional 2014–2023*. Organización Mundial De La Salud. Disponible en: http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s21201es/s21201es.pdf Acceso en la Fecha 10/12/2022.

Palacio, M.O. (2007). *Plantas silvestres empleadas con fines medicinales por pobladores rurales de Abrita Grande, Santiago del*

Estero. Disponible en: http://fitomedicina.org/old/archivos/plantas_medicinales_de_la_abrita_grande_sgo_del_estero1.pdf Acceso en la Fecha 10/12/2022.

Palacio, M.O. (2015). *Recursos genéticos, conocimiento popular y desarrollo tecnológico: una mirada a la situación en Santiago del Estero*. Prodiversitas 2(2), 69-74.

Palacio, M. O., Carrizo, E. y Roic, L. (2007). *Relevamiento de Plantas tintóreas utilizadas en localidades del Dpto. Atamisqui (Santiago del Estero, R. Argentina)*. Kurtziana 33(1), 15-28.

Palacio, M. O. y Roger, E. (2016). *Árboles autóctonos de Santiago del Estero: guía para su reconocimiento en el Jardín Botánico Ing. Lucas D. Roic*. EDUNSE, Santiago del Estero.

Paz, V. (1941). *Flora Santiagueña*. Ed. El Liberal, Santiago del Estero.

Roger, E. (2020) *Conocimiento ecológico asociado a las prácticas silvopastoriles en la Región Chaqueña Semiárida (Santiago del Estero, Argentina)*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 55, 661-679.

Roger, E. (2022). *Conocimientos y prácticas silvopastoriles en el noreste de la provincia de Santiago del Estero, Argentina: una aproximación etnobotánica* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero.

Roic, L. D., Carrizo, E. V. y Palacio, M.O. (2002). *Las plantas de uso medicinal en la flora de los alrededores de Santiago del Estero*. Dominguezia, 18, 26-35.

Roic, L. D., Carrizo, E. V., Palacio, M. O., Sosa, M. B., Villaverde, A. A. y Togo, J. (1999). *Catálogo de plantas de Santiago del Estero silvestres y cultivadas utilizadas en medicina popular*. Revista de Ciencia y Tecnología UNSE 4, 125-133.

Roic, L. D. y Villaverde, A. A. (2007). *Flora Popular Santiagueña: aporte preliminar.* Editorial El Liberal, Santiago del Estero.

Togo, J., Basualdo, M. A. y Urtubey, N. (1990). *Aprovechamiento socioeconómico de la flora autóctona de Santiago del Estero. Indoamericana*. Serie científica, 3(3), 1-161.

World Flora Online (2023). The World Flora Online. http://www.worldfloraonline.org/ Acceso en la Fecha 10/02/2023.

EVALUACIÓN INTEGRAL DE UN BOSQUE DEL CHACO SEMIÁRIDO MEDIANTE INDICADORES

Publio A. Araujo[1]†, , Marta P. Rueda[1], Marta C. Iturre[1], Adriana T. Gómez[2], Víctor A. Rosales[3], Guadalupe Laitan[1,4], Cintya Prado[1], Carla V. Rueda[1]

Resumen.

El bosque chaqueño, a través de sus productos y funciones, presta servicios ecosistémicos complejos y dinámicos, tangibles e intangibles. Para comprender este complejo sistema que representa, es necesario articular metodologías que integren variables indicadoras, que permitan una evaluación integral. El objetivo del trabajo es aplicar un análisis multicriterio para eva-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Santiago del Estero. Argentina
2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Santiago del Estero. Argentina.
3 Dirección Nacional de Bosques de Nación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
4 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) , Administración de Parques Nacionales.

luar el estado del bosque mediante indicadores productivos que se derivan del inventario forestal. La identificación de los indicadores y verificadores responde a los criterios de producción, dinámica, valor tecnológico y biodiversidad, los cuales se integran para evaluar la prestación de los servicios ecosistémicos (provisión, soporte y regulación). La metodología se basa en el uso de criterios e indicadores que se derivan del inventario forestal, cuyos valores se estandarizan a una escala común, de manera que los indicadores expresan una proporción de la distancia entre el valor mínimo y el valor máximo. Para analizar de manera comprensible el estado del bosque, se utilizó un gráfico radial que permite visualizar simultáneamente los indicadores y al mismo tiempo analizar algún aspecto de interés reflejado por un grupo de indicadores en particular.

Palabras clave: ordenación forestal sustentable, diagnóstico, mapa multicriterio

1. Introducción

La ordenación forestal sostenible (OFS) se entiende como "la administración y uso de los bosques y tierras forestales de forma e intensidad tales que mantengan su biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y su potencial para atender, ahora y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes a escala local, nacional y global, y que no causan daño a otros ecosistemas" (Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de Los Bosques Nativos, 2008; Martínez Navarro, 2022). La OFS exige el equilibrio de diversos valores ecológicos, sociales y económicos en el espacio y el tiempo, generalmente representados en forma de múltiples criterios e indicadores (Varma et al., 2000). A escala global, esfuerzos en la OFS se han centrado en definir criterios

e indicadores (C&I) para medir la sostenibilidad. Este proceso fue acompañado de un llamado a una mayor participación de las personas en el proceso de planificación forestal a escala de distritos administrativos. La OFS depende del apoyo y aportes de una amplia gama de partes interesadas. Aplicar estos conceptos y herramientas a escala de planificación predial es un gran desafío. Si a los planificadores a escala de lote se le pide que implemente manejo sustentable sobre un bosque, que haga operativo los conceptos de la OFS en su planificación, cómo se lo informará al propietario o la propietaria, y a la administración local de los bosques probablemente costará que entregue una buena respuesta (Cruz Johnson, 2020).

El método Análisis de Decisiones Multicriterio, MCDM (del inglés: Multi-Criteria Decision Making), también conocido como Ayuda para toma de Decisiones Multicriterio, MCDA, es un conjunto de técnicas usadas en problemas complejos de priorización (Beltrán et al., 2014). Los problemas complejos en la gestión de los recursos naturales, que involucran múltiples objetivos, múltiples tomadores de decisiones e incertidumbre, han desafiado a los profesionales, planificadores e investigadores de MCDM a encontrar enfoques metodológicos más creativos e innovadores (Mendoza y Martins, 2006). Este enfoque metodológico es robusto, y proporciona herramientas para cerrar la brecha entre el paradigma de planificación cualitativa suave y el cuantitativo más estructurado y analítico. Los enfoques de MCDM se han clasificado de varias maneras. Una de las primeras categorizaciones hace una distinción entre la toma de decisiones con objetivos múltiples (MODM) y la toma de decisiones con atributos múltiples (MADM). La principal distinción entre los dos grupos de métodos se basa en el número de alternativas bajo evaluación (Munda, 2012).

El MCDM ha sido utilizado como un enfoque para resolver problemas de manejo de recursos forestales en las últimas décadas (Ananda y Herath, 2009). Cuantificar el valor de los ser-

vicios ecosistémicos de manera no monetaria es un elemento clave en MCDM. Los modelos MCDM mejoran la base de información de la planificación estratégica, la comunicación y la comprensión en la gestión de los recursos naturales. El MCDM se puede utilizar en la toma de decisiones interactiva y es un sistema de apoyo a la toma de decisiones para los responsables de la formulación de planes de manejo (Mendoza y Martins, 2006; Varma et al., 2000). En la literatura, comúnmente se hace referencia a éstos como un conjunto de métodos de priorización; sin embargo, se trata de un conjunto muy diverso que incluye también técnicas para clasificar, seleccionar o representar diferentes objetos de evaluación. Se distinguen dos grandes grupos de esfuerzos aplicados en la gestión de los recursos naturales: aquéllos orientados a la generación de índices agregados, que buscan sintetizar la información del conjunto de indicadores en un sólo valor numérico, y otros donde se prefiere un enfoque no agregativo en la integración de indicadores, por ejemplo a través de gráficas radiales o "AMOEBA" o mapa multicriterio (Galván-Miyoshi, 2008).

El "AMOEBA" es un modelo conceptual que permite desarrollar objetivos ecológicos cuantitativos y verificables. "AMOEBA" es el acrónimo holandés de "un método general de descripción y evaluación de ecosistemas" (Ten Brink et al., 1991). Los diagramas o mapas multicriterio se consideran representaciones graficas fáciles de entender, permiten a los propietarios, gerentes e inversores tomar decisiones estratégicas hacia los objetivos de sostenibilidad (Raoufi et al., 2019). La construcción de un mapa multicriterio o "AMOEBA" es ante todo un problema de diseño y creatividad. Consiste en visualizar de manera conjunta los indicadores manteniendo la claridad y transparencia en el análisis. La finalidad es ofrecer una visión de conjunto sobre cómo se desempeña el sistema en los aspectos que expresan los indicadores para facilitar la interpretación del mapa. El objetivo principal es la comunicación me-

diante una representación gráfica sencilla y fácil de interpretar por los destinatarios. La integración de resultados mediante mapas multicriterio no requiere la ponderación de los indicadores, no obstante, requiere decidir qué indicadores se deben incorporar en la gráfica. Las herramientas como el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (Astier et al., 2012) nos ayudan a priorizar los aspectos más importantes para evaluar un sistema de manejo y centrar el análisis en un conjunto relativamente pequeño de indicadores. Esto es importante, ya que el uso de demasiados indicadores puede representar un problema a la hora de interpretar los resultados (Galván-Miyoshi, 2008).

El bosque chaqueño, a través de sus productos y funciones, presta servicios ecosistémicos complejos y dinámicos, tangibles e intangibles (Peri, 2021). Planificar un sistema de manejo forestal debería incluir la valoración de funciones como la provisión de bienes para la construcción, combustibles, medicinas y alimentos; de la prestación de servicios de captación de agua, captura de carbono, retención de suelos, hábitat de especies de flora y fauna; o bien, como espacio para el esparcimiento y/o para el desarrollo espiritual (Galván-Miyoshi, 2008). Además, la especificación de cómo van a variar estos atributos con las actividades propuestas en el mismo (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

El uso de indicadores, y su combinación para aproximarse a variables teóricamente complejas (con distintas dimensiones), tiene cierta tradición en el campo de la metodología de muchas ciencias, entre ellas las ciencias sociales (Rojas y Grinszpun, 2020). La identificación, selección y construcción de índices requiere decisiones arbitrarias en la elección de las variables, los parámetros y los métodos de agregación necesarios para medir el desempeño de un sistema. Los problemas a resolver son: i) qué datos incluir y qué fuentes utilizar, ii) cómo

son transformados los datos a la escala de interés, iii) la manipulación de los datos para el cálculo del índice y iv) el método de agregación y los pesos asignados a los indicadores (Departamento Administrativo Nacional de Estadistica, 2018).

Este trabajo pretende brindar herramientas de diagnóstico integral del bosque a escala predial, con los siguientes objetivos: i) evaluar el estado del bosque mediante indicadores que se derivan del inventario forestal, ii) seleccionar y valorar los indicadores dasométricos y vinculados a la provisión de servicios ecosistémicos iii) integrar los indicadores en un análisis multicriterio para evaluar la productividad forestal y las estrategias para mejorar la condición del bosque que se evalúa con relación a otro de referencia.

2 Metodología

2.1 Selección de criterios e indicadores

Se seleccionaron 9 indicadores, los cuales se clasificaron en 4 grupos (criterios), de acuerdo con la información disponible, tanto de datos de campo como de información secundaria. En el agrupamiento se consideraron tres Servicios Ecosistémicos (SE) y las características que destacan los aspectos productivos (Figura 1). El listado de criterios, indicadores y la fórmula de estimación se presentan en la tabla 1

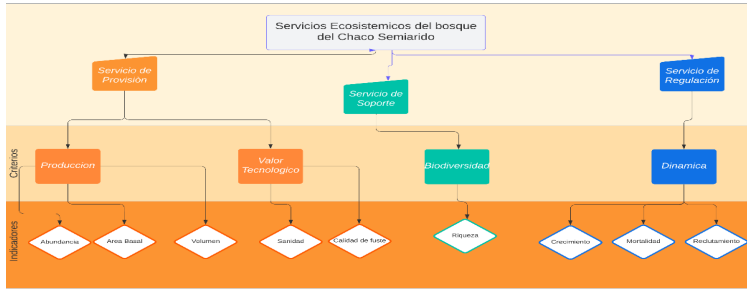


Figura 1. Modelo jerárquico de agrupamiento de los criterios e indicadores seleccionados para la evaluación de un bosque del Chaco Semiárido.

2.2 Valoración de los indicadores

La valoración de los indicadores en un determinado momento, pueden contrastarse contra tres escenarios: i) escenario sin proyecto o línea de base, ii) escenario esperado, y iii) valor de los indicadores en un sistema "modelo" o de referencia. El valor de referencia se puede visibilizar como un valor anhelado, podría estar referido a valores de un indicador en un bosque que preste la mejor calidad y cantidad de servicios ambientales en la región (Alaggia et al., 2019). En este trabajo, la valoración de los indicadores del estado del bosque se contrastó con los valores de los correspondientes a un bosque de referencia, que se considera como situación objetivo o deseable. También pueden adoptarse como referencia valores medios de la zona o región, siempre que sea posible alguna estimación del error. Definir el sistema de referencia permite tener una visión más clara de la situación actual, es decir, la posición que ocupa el sistema evaluado con relación al que se ha definido como óptimo. Este fue uno de los aspectos más críticos para resolver. Implica responder a la pregunta ¿Qué características debe tener un bosque para brindar un nivel adecuado de bienes y

servicios? Para ello, se utilizó una combinación de datos provenientes de mediciones directas, información secundaria que se discute en el ítem de resultados y del modelo de simulación MOSIMAFO (Iturre M. C., 2017). Utilizando el Simulador de Manejo Forestal se realizó un análisis potencial o futuro sobre la forma en que evolucionaría el bosque mediante la proyección del crecimiento y producción. De esta manera se pudo estimar el valor de referencia que puede alcanzar un indicador en un bosque que se califica en buen estado. Además del valor óptimo, se incorporó un umbral crítico que representa el menor valor posible que puede tomar un indicador sin que se pierda la condición de bosque. Utilizando ambos valores, se determinó la posición de los indicadores con relación a un intervalo (máximo y mínimo).

Para llevar a cabo el análisis se estandarizaron los valores de los indicadores a una escala común. Se adoptó la escala de 0 a 100 en términos de porcentajes, correspondiendo el menor valor a un mal desempeño y el mayor al mejor desempeño que puede tener el indicador.

El nivel de desempeño de cada indicador se calculó a partir del intervalo de referencia. Los indicadores se expresan como una proporción (%) de la distancia entre el valor mínimo y el valor máximo dentro del cual se puede mover el indicador.

Mediante los valores de referencia, se determinó el nivel de desempeño de cada indicador mediante la siguiente expresión (1).

$$ND = \left(\frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \right) \times 100 \qquad (1)$$

En que:

ND = Nivel de desempeño del indicador,

V = Valor medido del indicador,

V_{max} = Valor máximo que puede alcanzar el indicador,
V_{min} = Valor mínimo del indicador o umbral crítico.

Las categorías finales del desempeño de los índices derivan en la siguiente escala de valores equivalentes:

Valores de 81 a 100% = 5 = excelente,
Valores de 61 a 80% = 4 = muy bueno
Valores de 41 a 60% = 3 = bueno
Valores de 21 a 40% = 2 = regular
Valores de 0 a 20% = 1 =malo

La determinación del nivel de desempeño constituye el paso más importante en la construcción del mapa multicriterio. Los indicadores se expresan en función de un juicio de valor sobre lo que consideramos, o no, adecuado. Es a partir de las medidas de desempeño que podemos derivar valores normativos que pueden ser útiles en la planeación y el diseño de sistemas de manejo sustentables. Además, las medidas de desempeño nos permiten tener a los indicadores en un formato común, un requisito para poder plasmarlos de manera conjunta sin perder la información original.

Los valores de los indicadores que no están contemplados en el inventario forestal se obtuvieron de información secundaria sobre el mismo sitio o de situaciones similares.

Cabe reiterar aquí que es un análisis integrador de la dimensión productiva, parcial, que a su vez tiene que integrase con los de otras dimensiones (social, económica, ambiental) para que se traduzca en una evaluación de la sustentabilidad.

2.3 Integración de los resultados

Para analizar de manera clara, expeditiva y comprensible el estado del bosque, se utilizó un gráfico radial "AMOEBA" que permite visualizar simultáneamente los indicadores del inventario y, al mismo tiempo, analizar algún aspecto de interés reflejado por un grupo de indicadores en particular.

Una vez estandarizados, los indicadores se integraron en el gráfico radial (mapa multicriterio) en el cual, como se describió antes, los indicadores se representan mediante ejes graduados de 0 a 100. Los valores entre 0 y 20 corresponden al peor escenario para el indicador y 100 al óptimo. Otro factor importante a tener en cuenta es la dirección de cambio, es decir si el indicador se maximiza o minimiza, por ejemplo, para la mortalidad, el mínimo y el máximo se interpretan al revés.

3 Resultados

En este apartado se caracteriza al sistema forestal objeto de evaluación, en sus aspectos dasométricos, mediante las variables y parámetros de síntesis que surgen de los datos del inventario forestal. Los mismos se detallan para una mejor comprensión del tipo de bosque evaluado. Sus principales características se definen y se discuten, a fin de tener un marco a partir del cual se construye un sistema de referencia deseable. En la Tabla 1 se presentan los criterios e indicadores y su estimación.

Criterio	Indicador	Descripción	Forma de cálculo
Producción	Densidad o abundancia	N° de individuos /ha A_a =Abundancia absoluta; n_i/ha = Número de árboles por ha de la especie i	$Aa = \frac{n_i}{ha}$
	Área basal	Sumatoria de las secciones normales de los individuos gi/ha = Área basal de cada especie i por ha	$Da_i = \frac{g_i}{ha}$
	Volumen comercial	Sumatoria de los volúmenes comerciales considerando los fustes y ramas hasta el límite de 7 cm de DAP	$Vc\ (m^3) = e^{(a + b * \ln [DAP^2 * ht])}$ (Gaillard de Benitez, 1994)
Dinámica	Crecimiento	Incremento periódico medio anual en volumen	$\Delta V = V2 - V1/t$
	Mortalidad	Tasa anual de mortalidad r_m (%) N_0 = individuos iniciales N_s = iniciales – muertos (sobrevivientes) t = tiempo entre inventarios (años)	(Korning & Balslev, 1994)

Criterio	Indicador	Descripción	Forma de cálculo
Dinámica	Reclutamiento	Tasa anual de reclutamiento N_0 = individuos iniciales $N_t = (N_0 + R)$ R = reclutados en el intervalo t t = intervalo entre inventarios (años)	(Korning & Balslev, 1994)
	Regeneración natural	N° de individuos/ha de la clase III de tamaño	N° indiv. >2m y DAP<4,9 cm
Valor Tecnológico	Sanidad	Cantidad de individuos sanos	% de individuos sanos
	Calidad de fuste	Cantidad de individuos con fustes sanos y rectos	% de individuos de buena calidad de fustes
Diversidad	Riqueza	Cantidad de especies presentes	N° de especies arbóreas

Tabla1. Criterios e indicadores seleccionados que describen el estado del bosque.

3.1 Densidad o Abundancia

La densidad es de 317,24 árboles por hectárea. El 87 % son especies arbóreas (q. blanco, q. colorado, algarrobo negro y mistol). *Aspidosperma quebracho blanco* es la de mayor densidad relativa (60 %), situación típica de bosques explotados donde el quebracho colorado ha perdido su dominancia (Brassiolo, 1997). La forma de explotación produce ese tipo de cambios

en la composición de las especies. En bosques con poca intervención, donde el quebracho colorado era la especie con mayor densidad y área basal, es superado por el quebracho blanco luego de 30 años del aprovechamiento, aumentando también la presencia de especies secundarias (Gaillard de Benítez et al. 1988).

3.2 Área basal

Las especies principales (q. colorado y q. blanco) son las dominantes y determinantes del área basal (6,75 m2), representando en conjunto el 77 % (5,2 m^2). El quebracho blanco ocupa el primer lugar con un 45 % (3,04 m^2) y el 32 % el q. colorado (2,16 m^2). Según Sachtler (1977), bosques con áreas basales entre 5,5 m^2 y 6 m^2 se pueden considerar como bosques en recuperación luego de la explotación. Grulke (1994) les asignó la denominación de quebrachal de alta densidad, en tanto afirma que bosques productivos alcanzan alrededor de 8,5 m^2/ha (Brassiolo, 1983) le asigna al bosque aprovechable 12 m^2/ha en el Departamento Copo.

3.3 Volumen

Las existencias en volumen totalizan 38,48 m^3/ha. El 87 % está concentrado en las dos especies de quebrachos. El quebracho colorado tiene mayor volumen que el q. blanco, debido a la presencia de un reducido número de árboles en las clases de 52,5 cm y 57,5 cm, que aportan alrededor del 30 % del volumen. En todas las demás clases que están por debajo de 27,5 cm, el blanco tiene mayor volumen. Algo similar ocurre con el mistol por los individuos que tienen más de 40 cm de DAP, por lo que supera al algarrobo negro, aunque entre ambas solo suman el 10 % del volumen. El volumen de las dos especies principales es similar al quebrachal de alta densidad

del Chaco Salteño (34,4 m^3/ha) (Grulke, 1994), pero difiere en que la distribución diamétrica tiene una mayor participación en las clases inferiores y medias. En el quebrachal de baja densidad el volumen medido fue de 19,5 m^3/ha. Contrastados los resultados con los del bosque clasificado como aprovechable por Brassiolo (1997) (72 m^3/ha), las existencias volumétricas estarían alrededor del 50 % en el bosque cuyo estado se evalúa.

3.4 Crecimiento

El crecimiento en volumen del bosque en evaluación es de 0,9 m^3/ha. Según Brassiolo y Grulke (2015) el incremento anual en bosques sin manejo es de 1 m3/ha/año y con manejo puede alcanzar 1,5 m^3/ha/año.

El crecimiento en área basal, medido por el incremento promedio anual durante el período de 13 años fue de 2,42 m^2/ha, equivalente a 0,18 m^2/ha/año y una tasa del 1,95 % anual. El crecimiento en volumen medido durante el mismo período fue de 1m^3/ha/año (Lendínez, 2010). Históricamente se ha considerado el valor de 0,5 m^3/ha/año por parte de organismos de control de los planes de manejo (Dirección General de Bosques y Fauna de Santiago del Estero, 1980).

3.5 Mortalidad

El mayor número deindividuos muertos se encuentra en las dos primeras clases, disminuyendo un 50% en las intermedias y prácticamente no hay muertos en las clases superiores. La tasa de mortalidad para este bosque fluctuó entre 0,77% y 1,45% anual para el conjunto de especies, calculada en base a remediciones durante un período de 21 años. En bosques tropicales, la tasa de mortalidad normalmente oscila entre 1% y 3% (Asquith, 2002; Nebel et al., 2001). Según Lieberman et al. (1985), cuando aumenta el intervalo de tiempo mejora la confiabilidad de la

estimación. Las tasas anuales de mortalidad en bosques secos pueden oscilar entre 1,7% y 2,3% (Swaine et al., 1987; Swaine et al.,1990). En este caso de estudio los valores fueron menores.

3.6 Sanidad

Estado sanitario son los individuos que presentan: i) ataque de insectos, ii) cicatrices en el fuste, y iii) gajos quebrados. El estado sanitario es bueno con 49% poco afectados, 18% medianamente afectados, y 6% muy afectados. Los sanos representan el 27%.

3.7 Calidad de Fuste

Calidad de fuste son los individuos en los que se observó: i) presencia de ramas en el fuste, ii) ramas adventicias, iii) rectitud del fuste (semicurva y curva), la calidad del fuste es buena con 27% de los individuos presentaron alguna de las categorías.

3.8 Riqueza

Número de especies presentes en el bosque corresponden a todos los estratos: i) herbáceo, ii) arbustivo y iii) arbóreo.

3.9 Regeneración natural

En la regeneración natural la especie más abundante es el quebracho colorado (4.600/ha), con un valor casi cinco veces mayor a la del quebracho blanco (780/ha). Comparados con los resultados del Inventario de los Departamentos Copo y Alberdi (Thren et al., 1994), es más abundante que la encontrada en el estrato 1 de bosques productivos (577,78/ha), que el estrato 4 (666,67/ha) y que los correspondientes al estrato 5 (777,78/ha), con los cuales se puede comparar el bosque en estudio.

3.10 Estimación del desempeño de los indicadores y su estandarización

El objetivo final de la evaluación no es la obtención del indicador y su valor correspondiente (Tabla 2), sino la respuesta que esta información genere en los agentes involucrados en el manejo de los recursos. En síntesis, lograr que los indicadores sean herramientas de cambio hacia sistemas más sustentables (Ortiz Avila, 2008).

En la Figura 2 se visualiza la evaluación del estado del bosque mediante un gráfico integrador denominado mapa de indicadores.



Figura 2. AMOEBA del desempeño de los indicadores para la evaluación de un bosque del Chaco Semiárido. Indicadores del estado del bosque. BEV: Bosque en evaluación, BREF: Bosque de referencia.

En esta etapa se analizó el mapa de indicadores de los sistemas BEV y BREF. Se realizó una evaluación por parte del equipo técnico para tener una primera valoración del BEV en comparación con el BREF. Se interpretaron y se discutieron cuáles son los principales ejes que se relacionan significativamente con la productividad y que permitirían que el sistema evaluado mejore el desempeño de sus indicadores con respecto al sistema de referencia.

Criterio	Indicador	U	BEV	BREF	V_{max}	V_{min}	DBEV %	DBREF %
Producción	Densidad	N°/ha	317,23	380	500	100	54,3	70,0
	Área basal	m^2/ha	6,8	12	16	3	29,2	69,2
	Vol. total	m^3/ha	38,5	55	72	15	41,2	70,2
	Vol. Fuste	m^3/ha	15,4	28	40	10	18,0	60,0
Valor Tecnológico	Sanidad	%	40	60	80	20	33,3	66,7
	Calidad de fuste	%	30	45	70	15	27,3	54,5
Dinámica	Crecimiento	m^3/ha/ año	0,9	1,2	1,5	0,4	45,5	72,7
	Reg. natural	N°/ha	5.380,0	6.000,0	7.000	160	76,3	85,4
	Mort.	%	1,5	1,1	3	0,77	32,7	14,8
	Reclut.	%	1,68	2	3	0,3	51,1	63,0
Diversidad	Riqueza	N°	35	35	40	10	83,3	83,3

Tabla 2. Criterios, indicadores, valores de referencia y valor de desempeño de los indicadores del estado del bosque. BEV: Bosque en evaluación, BREF: Bosque de referencia, DBEV %: Valor de desempeño del indicador del Bosque en evaluación y DBREF %: Valor de desempeño del indicador del Bosque de referencia

4 Discusión

El nivel de desempeño de los indicadores del bosque en evaluación (BEV) se encuentra entre la banda 2 y 3 (regular y bueno), que corresponde al rango entre el 20% y el 60%. El bosque de referencia (BREF) tiene un desempeño definido por sus indicadores en la banda 4 (Muy bueno), entre un 60% a 80% con relación al máximo (100%). Esta valoración no es un juicio de mejor o peor estado, sino del grado de aproximación o distan-

cia entre una y otra condición del bosque. Es decir, se espera que el BEV pueda alcanzar con el tiempo el estado del BREF, si se definen las estrategias de manejo y tratamientos que se aplicarán al BEV.

El siguiente paso fue plantear las estrategias y recomendaciones que permitirán que el BEV se desarrolle hacia un estado que se considera como referencia y como objetivo deseable para el próximo ciclo de producción. Para conseguir ese objetivo el equipo evaluador ha llegado a algunos acuerdos respecto de las medidas que se podrían adoptar, teniendo como base la bibliografía consultada, consulta a investigadores y la experiencia de trabajo en este tipo de bosques.

Indicador	Estrategias para aumentar el desempeño de los indicadores
Densidad	Mantener la densidad del N° de individuos actual
Riqueza de especies	Mantener la diversidad del bosque. Regular y mantener la composición y participación de las especies en forma proporcional si se si se aplican tratamientos de cortas.
Crecimiento	Con manejo, se podría aumentar el incremento anual en un 50 % (Grulke et al., 2007). Aumentar las reservas de crecimiento cosechando como máximo el 50 % del incremento anual.
Regeneración natural	Asegurar la renovabilidad. Monitorear el stock de renovales y observar las características de los sitios donde se encuentran. Isletas con especies arbustivas pueden crear condiciones benéficas para la regeneración, especialmente de Schinopsis lorentzii. Dejar un número de árboles semilleros que cubra el espacio en forma más o menos uniforme, complementando a los árboles de aprovechamiento futuro que también cumplen esa función. Dejar árboles maduros si es necesario (Brassiolo y Grulke, 2015)

Mortalidad	Monitoreo en parcelas permanentes mediante remediciones periódicas
Reclutamiento	
Arrea basal	Mejorar las condiciones de crecimiento de los individuos seleccionados (árboles de aprovechamiento futuro) y mantener la pendiente de la distribución diamétrica en el rango de 1,5 a 1,7. Aprovechamiento forestal combinando los criterios de AAF y DMC promueve un mayor crecimiento relativo del área basal del arbolado remanente.
Volumen total	Liberar espacio de crecimiento mediante la corta forestal.
Volumen de fuste	Estimular el crecimiento por corta forestal de árboles seleccionados para mejorar la calidad del bosque para un uso productivo maderero.
Sanidad	El potencial de aprovechamiento futuro, expresado en los árboles jóvenes y semimaduros, en buen estado sanitario y buena calidad de los fustes se puede conseguir seleccionando los árboles que quedan, con buenas características individuales de especies comercializables (árboles de aprovechamiento futuro). Establecer diámetros de corta según la especie. Corta de los árboles enfermos, de poco valor, aunque no hayan alcanzado su madurez. Eliminar los árboles competidores de los árboles de aprovechamiento futuro.
Calidad de fuste	

Tabla 3. Estrategias para aumentar el desempeño de los valores de indicadores del estado del bosque.

La productividad forestal de BEV puede evolucionar hacia los niveles de BREF mejorando la capacidad productiva forestal. Ello se complementa con el desempeño del reclutamiento de nuevos individuos que se califica como bueno y se espera que pueda alcanzar la banda del bosque de referencia. En contraste, la mortalidad que a primera vista aparece como un indicador con bajo desempeño, debe interpretarse al revés, pues la dirección de cambio deseable es (-), es decir, cuanto menor, mejor.

Con este paso se cierra el primer ciclo de evaluación. Representa el momento de recapitular los resultados del análisis con el objeto de emitir un juicio de valor al comparar entre sí a los distintos sistemas.

Las conclusiones y recomendaciones que surjan de este paso de la evaluación, serán el punto de partida para comenzar un nuevo ciclo de evaluación de sustentabilidad.

5 Conclusiones

La metodología planteada permite confrontar uno a más sistemas forestales con uno de referencia, es decir una comparación transversal, aunque también puede servir para analizar los cambios a lo largo del tiempo en una comparación longitudinal (Arnés Prieto, E., 2011).

La evaluación del estado del bosque a través de indicadores es una herramienta para apoyar la toma de decisiones operativas sobre la forma de mantener o mejorar las variables y parámetros vinculados a la producción del bosque.

Los valores del bosque de referencia deben definirse para cada situación. Los que se han determinado en este estudio no son extrapolables salvo que se trate de una situación similar.

Aunque el análisis sirve para una rápida evaluación de la situación del bosque, tiene la limitación de analizar una situación estática. De ahí que es necesario realizar periódicamente un análisis longitudinal que pueda mostrar si las tendencias de los indicadores son las esperables o se desvían.

La metodología utilizada para la evaluación del bosque en su conjunto, también puede aplicarse para evaluar el estado de una especie o grupo de especies, según sea el interés económico o ecológico.

Referencias

Alaggia, F., Cabello, M. J., Carranza, C., Cavallero, L., Deniele, G., Erro, M., Ledesma, M., Lopez, D., Mussat, E., Navall, M., Peri, P. L., Rusch, V., Sabatini, A., Saravia, J., Uribe Echevarria, J. y Volante, J. N. (2019). *Manual de Indicadores para Monitoreo de Planes Prediales MBGI. Región Parque Chaqueño* (C. Carranza, P. L. Peri, & M. Navall (eds.); Issue December). INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/cartilla_completa_2020.pdf.

Ananda, J. y Herath, G. (2009). *A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning.* Ecological Economics, 68(10), 2535–2548. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.010.

Asquith, N. (2002). *La dinámica del bosque y la diversidad arbórea.* In M. Guariguata & G. Kattan (Eds.), Ecología y conservación de bosques neotropicales. (Primera Ed, pp. 377–406). Libro Universitario Regional.

Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquivel, C. E. y Masera, O. R. (2012). *Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems*. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). Ecology and Society, 17(3). https://doi.org/10.5751/ES-04910-170325.

Beltrán, P. A., Ferrer, J. F. y Vázquez, M. P. (2014). *A Review of Discrete Multi-Criteria Decision Making Methods Applied To the Project Management Field.* 18th International Congress on Project Management and Engineering, July, 122–137. http://www.e-quipu.pe/dinamic/publicacion/adjunto/CI-DIP201401220137-1434565288T-V8xv.pdf.

Brassiolo, M; R. Renolfi; A. Gräfe y A. Fumagalli (1993). *Manejo silvopastoril en el Chaco Semiárido*. Quebracho, 1, 15-28.

Brassiolo, M. (1997). *"Zur Bewirtschaftung degradierter Wälder im semiariden Chaco Nordargentiniens unter Berücksichtigung der traditionellen Waldweide".* Tesis doctoral. Universidad Albert-Ludwigs Freiburg, Alemania. 147 p.

Brassiolo, M., Grulke M. (2015). *Manejo de bosques nativos de la Región Chaqueña: Fichas técnicas*. 1a ed.

Reconquista, Chaco: REDAF.
Cruz Johnson, P. (2020). *Principios de Ordenación Forestal para Chile*. Caupolicán SA.
Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Guía para Diseño, Construcción e Interpretación de Indicadores*.
Gaillard de Benítez, C. (1994). *Funciones para estimar el volumen comercial de arboles en dependencia del diámetro y la altura total en cuatro especies del bosque chaqueño seco.* Quebracho, vol. 2, p. 71-74. Santiago del Estero, Argentina.
Galván-Miyoshi, Y. (2008). *Integración de indicadores en la evaluación de sustentabilidad: de los {\'\i}ndices agregados a la representación multicriterio*. Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional. UNAM/GIRA/Mundiprensa/Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. Valencia, España, 95–115.
Grulke M, M Brassiolo, F Díaz Lanes, K Obst, G Ortíz, G Soto, J Michela. (2007). *Manual para el manejo forestal sustentable de los bosques nativos de la Provincia del Chaco. Chaco, Argentina*. Ministerio de la Producción del Gobierno de la Provincia del Chaco. 176 p.
Iturre M. C. (2017). *Simulación del crecimiento de bosques nativos del Chaco Semiarido. Aplicación del sistema informático MOSIMAFO*. Quebracho (Santiago Del Estero), 25, 54–62. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30262017000100054&lang=es.
Cid Lendínez, D. (2010). *Estudio para la determinación de modelos de crecimiento de especies forestales en un bosque del chaco semiárido, Argentina*. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.U.I.T. Forestal (UPM).
Lieberman, D., Lieberman, M., Peralta, R. y Hartshorn, G. S. (1985). *Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica.* The Journal of Ecology, 915–924.
Martínez Navarro, J. A. (2022). *El régimen jurídico de la gestión forestal sostenible: residuos forestales, biomasa y bioeconomía*. Revista Catalana de Dret Ambiental, XIII(2), 1–40. https://doi.org///doi.org/10.17345/rcda3314.

Mendoza, G. A. y Martins, H. (2006). *Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms*. Forest Ecology and Management, 230(1–3), 1–22. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023.

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). *Estado de implementacion de la Ley 26.331 de Presupuestos Minimos de Proteccion Ambiental de los Bosques Nativos*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/21_tomo_i_2021_informe_est._implementacion_ley_26331.pdf.

Munda, G. (2012). *Multicriteria evaluation in a fuzzy environment: theory and applications in ecological economics*. Springer Science \& Business Media.

Nebel, G., Kvist, L. P., Vanclay, J. K. y Vidaurre, H. (2001). *Forest dynamics in flood plain forests in the Peruvian Amazon: effects of disturbance and implications for management*. Forest Ecology and Management, 150(1–2), 79–92.

Peri, P. L. (2021). *Uso sostenible del bosque: Aportes desde la Silvicultura Argentina* (P. L. Peri, G. Martinez Pastur, & T. Schlischer (eds.); 1a edición).

Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, (2008) (testimony of Ley 26331).

Raoufi, K., Taylor, C., Laurin, L. y Haapala, K. R. (2019). *Visual communication methods and tools for sustainability performance assessment: Linking academic and industry perspectives.* Procedia CIRP, 80(March), 215–220. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.087.

Rojas, G. G. y Grinszpun, M. (2020). *El uso de los índices y las tipologías en la construcción de indicadores complejos*. In Metodología de la investigación, ¿para qué? (pp. 139–180). https://doi.org/10.2307/j.ctvxcrxxz.8.

Sachtler, M.(1977) *Inventario y desarrollo forestal del noroeste argentino* (Plan NOA II).

Swaine, M. D., Lieberman, D., and Hall, J. B. (1990). *Structure and dynamics of a tropical dry forest in Ghana.* Vegetatio, 88(1), 31–51. https://doi.org/10.1007/BF00032601.

Swaine, M. D., Lieberman, D., and Putz, F. E. (1987). *The dynamics of tree populations in tropical forest: a review*. Journal of Tropical Ecology, 3(4), 359–366.

Ten Brink, B. J. E., Hosper, S. H. y Colijn, F. (1991). *A quantitative method for description & assessment of ecosystems: The AMOEBA-approach*. Marine Pollution Bulletin, 23(C), 265–270. https://doi.org/10.1016/0025-326X(91)90685-L.

Thren, M., Friedl, R. A., & Wabo, E. (1994). *Inventario forestal nacional de la Republica Argentina (Evaluacion de los recursos forestales nacionales de la Argentina)*: informe.

Varma, V. K., Ferguson, I. y Wild, I. (2000). *Decision support system for the sustainable forest management*. Forest Ecology and Management, 128(1–2), 49–55. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00271-6.

HERRAMIENTAS PARA EL MUESTREO EN PARCELAS PERMANENTES EN ECOSISTEMAS DEL CHACO SECO ARGENTINO

Carla V. Rueda[1,2], Marta P. Rueda[1,2], Dante E. Loto[2,1], Adriana T. Gómez[3], Andrés Blas[1], Ignacio N. Gasparri[4], Marta C. Iturre[1], Liliana E. Diodato[1], Publio A. Araujo[1]†, Fany Coronel[1], María G. Laitán[5,1]

Resumen.

El contexto actual de investigaciones que monitorean la dinámica de bosques (regulares e irregulares) en el Chaco Seco Argentino, demanda el conocimiento y la discusión sobre las metodologías utilizadas para su gestión. Particularmente, sobre la sistemati-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero, Argentina.
2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
3 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina
4 Instituto Ecología Regional. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.
5 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Administración de Parques Nacionales.

zación de diseños de muestreo para parcelas permanentes en bosque nativos y el diseño de muestreo para el caso de bosque regular. En este trabajo, se describirá en detalle las metodologías de muestreo y de remedición, las variables medidas para las instancias de instalación y remedición de parcelas, y los materiales y herramientas a utilizar. Se ofrecerá a la comunidad e investigadores relacionados con esta línea de trabajo nuestra experiencia metodológica de monitoreo en parcelas permanentes.

Palabras clave: Diseño, Bosques, Plantación, Herramienta, Remedición

1. Introducción

El diseño de muestreo contiene el esquema a utilizar, el tamaño de la muestra, el procedimiento de selección de la muestra, y distribución de la muestra. Se estructura según los objetivos que se propone en el trabajo. Los objetivos incluyen las variables a medir y la escala temporal. Los diseños de muestreo para medición de parcelas permanentes en bosques (regulares o irregulares) se planifican con el fin de que sean estables en el tiempo e incluyan la temporalidad con las remediciones que implican las parcelas permanentes. Esto apunta a repetir la metodología en el terreno para monitorear las mismas variables y disminuir las fuentes de errores durante las sucesivas remediciones. ¿Cuál es el propósito de instalar y medir en parcelas permanentes? El objetivo de estudiar la dinámica del bosque requiere un monitoreo continuo. Para describir dicha dinámica, es necesario realizar un seguimiento a lo largo del tiempo de variables forestales clave. Este seguimiento implica la medición sistemática de la misma parcela en intervalos regulares, razón por la cual el diseño de muestreo se basa en parcelas permanentes.

En este capítulo se presenta la sistematización de diseños de muestreo para parcelas permanentes en bosque nativo y un diseño de muestreo para el caso de bosque regular. Describiremos a detalle la metodología de muestreo y remedición empleada, las variables medidas para las instancias de instalación y remedición de parcelas, y los materiales y herramientas utilizadas. Así, se ofrece a la comunidad e investigadores relacionados con esta línea de trabajo nuestra experiencia metodológica de remedición de parcelas permanentes. A los fines de mejorar las herramientas de remedición y monitoreo de bosques, intentamos fomentar la colaboración de datos forestales remedibles en el tiempo.

2 Protocolos de muestreo en parcelas permanentes para el bosque chaqueño.

2.1 Parcelas Permanentes Circulares. Cátedra de Ordenación Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE

Las Parcelas Permanentes de la Catedra de Ordenación Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales – UNSE, se instalaron en el marco del Proyecto de Investigación "Manejo Silvopastoril en el Chaco Semiárido Santiagueño" desarrollado entre los años 1994 y 2000. Con la aprobación y financiamiento parcial de parte del Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la UNSE (CICYT) y de la Estación Experimental Agropecuaria EEAINTA Santiago del Estero. También cabe destacar que, durante los tres primeros años, la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) dio un importante apoyo al Proyecto con recursos humanos y económicos en el marco del Convenio firmado con la Facultad de Ciencias Forestales de la UNSE, posibilitando la inversión inicial para la implementación del ensayo. El objetivo general del Proyecto fue imple-

mentar y evaluar un sistema de uso integrado en un bosque de la Región Chaqueña Semiárida, con una estructura modificada por el desarbustado y el aprovechamiento forestal y ganadero, procurando la sustentabilidad del sistema, tanto económica como ecológica.

2.1.1 Descripción del Diseño de Muestreo

El ensayo se encuentra instalado en un área experimental localizada en el Campo Experimental "Roberto Cantos" de la EEA INTA Santiago del Estero, situada sobre la ruta Nacional Nº 9 a 27 Km. de la ciudad capital de Santiago del Estero a los 28º 03´ de Lat. S y 64º 15´ de Longitud O y 169 altura sobre el nivel del mar. Ocupa una superficie de 425 ha las que se subdividieron en: 8 potreros de 25 ha que fueron desarbustados (control manual de arbustos) en 1990, 4 potreros de 50 ha sin desarbustar (Figura 1). A los fines de estudiar la evolución de los estratos arbóreos y arbustivos del ensayo Silvopastoril, se establecieron en las mismas parcelas de carácter permanente. La meta fue poder comparar la dinámica de la vegetación. Ya se tienen seis series de medición de este ensayo sostenido durante estos 26 años (P. Araujo, 2003; P. Araujo et al., 2007; P. A. Araujo et al., 2008; Cid Lendínez et al., 2013).

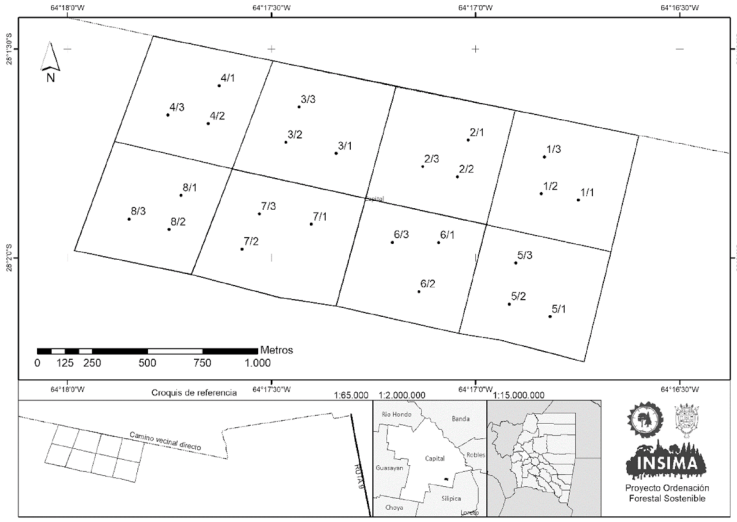


Figura 1. - Parcelas experimentales que componen el Ensayo de Manejo Silvopastoril.

2.1.2 Unidad de muestreo: estrato arbóreo

Para el relevamiento de la masa adulta se utilizan parcelas circulares de 500 m^2 distribuidas en forma sistemática. Este tamaño de parcela se utilizó por ser el mismo utilizado en otro ensayo sin tratamiento, establecido en una superficie contigua a la considerada. Se establecen tres parcelas por potrero, ubicadas de la siguiente forma: cada potrero se divide por una cuadrícula imaginaria, con líneas ubicadas cada 166 m, de esta forma existen dos líneas en cada dirección (paralelas a los lados del potrero) (Figura 2). Así, queda definidos cuatro puntos por las respectivas intersecciones de las líneas antedichas. En tres de esos puntos se ubican los centros de cada parcela eligiendo los más lejanos al bebedero correspondiente al potrero considerado para disminuir la influencia del ganado (Figura 2).

Para establecer cada parcela es necesario recorrer los 166,66 m desde el vértice del potrero bordeando el límite, y luego caminar otros 166,66 m con rumbo perpendicular al alambrado que establece el límite del potrero (Figura 2). Dentro de cada lote las parcelas se enumeran correlativamente, haciendo un barrido desde el centro del potrero en el sentido horario con respecto al norte magnético.

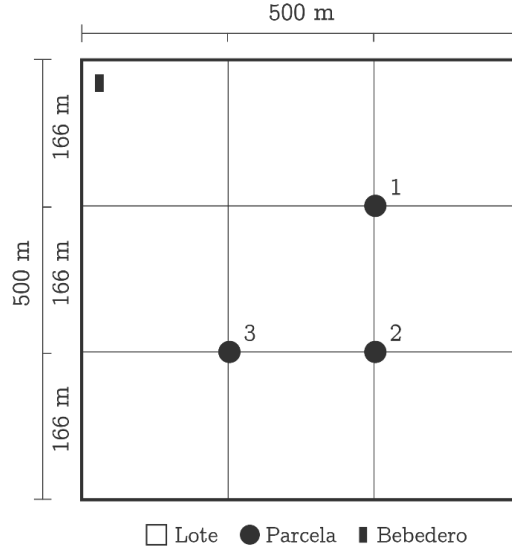


Figura 2 Modelo esquemático de la disposición de las parcelas dentro de un lote.

2.1.3 Estrato arbóreo: medición de variables cuantitativas y cualitativas.

Se utiliza una planilla donde se registran todas las variables cuantitativas y cualitativas de los individuos arbóreos de las especies de interés, que se encuentran dentro de la parcela de 500 m^2 y que tengan un DAP mayor a 5 cm (Tabla 1). En primera instancia se debe colocar el número de lote y el número de

parcela. Además, se debe indicar los nombres de las personas responsables y encargadas del muestreo de la masa adulta, la fecha de muestreo del lote y/o parcela y la hora de inicio y finalización del muestreo.

Se debe colocar el número de individuo registrado con la identificación de la especie, siguiendo la codificación que se presenta en la tabla 1.

Especie	Código
Algarrobo negro	AB
Mistol	M
Quebracho blanco	QB
Quebracho colorado	QC

Tabla 1. Listado de especies de interés y su código correspondiente.

Luego se debe ubicar el individuo dentro de la parcela, para ello se debe medir el acimut con brújula (ángulo con respecto al norte, valor entre 0° y 360°) y su distancia al centro de la parcela (valor no mayor a 12,56 m). El valor de distancia se toma desde el centro de la parcela hasta el centro del tallo o cuello del individuo (proyección interna). El valor de distancia debe ser registrado en metros con dos decimales (ej. 9,50 m). La toma de datos y medición de individuos debe respetar el barrido de 0° a 360°. En el caso de que existan dos individuos con el mismo valor de acimut, se debe cargar primero el que se encuentre a menor distancia del centro de la parcela.

La primera variable dendrométrica a medir es el Diámetro a la Altura de Pecho (DAP), la misma se realiza con cinta diamétrica o métrica a 1,30 m de altura. Se deben evitar los nudos u otros elementos que sobrestimen la lectura. En el caso de que hubiera, se debe hacer la medición y lectura a una altura por encima o debajo del nudo o elemento, definida por el

criterio del técnico responsable. Cuando el individuo es por primera vez registrado se lo considera un individuo de reclutamiento, es decir, un árbol nuevo que supera los 5 cm de DAP. Es importante colocar correctamente el dendrómetro ya que las futuras mediciones y/o lecturas se harán sobre el mismo; para ello se aconseja ajustarlo firmemente a un punto tal que el mismo pueda moverse a medida que incrementa el diámetro con el crecimiento del árbol. Se debe colocar el dendrómetro a la misma altura donde se tomó la medición del diámetro. En el caso de individuos bifurcados o trifurcados por debajo de 1,30 m, la medición se debe hacer en cada fuste, y cada fuste debe llevar su propio dendrómetro. En el caso de que hubiera individuos multifurcados (es decir, con más de 3 fustes, con mayor frecuencia en algarrobo y mistol) se deben medir los fustes más vigorosos, nuevamente de acuerdo al criterio del técnico responsable.

En individuos previamente medidos y con dendrómetro colocado en campañas anteriores, se debe medir el incremento de diámetro. Esto implica medir la distancia entre la pestaña del dendrómetro y su marca más próxima (línea sobre la cinta metálica). Este valor, que representa el crecimiento en perímetro del árbol, debe expresarse en centímetros. El incremento se registra en la planilla y luego se vuelve a medir el DAP (diámetro a la altura del pecho). A continuación, se deben medir las alturas. Primero, la altura del dendrómetro, ya que este dato es importante para su recolocación en caso de que haya sido retirado. Luego, se debe medir la altura total, es decir, la altura a la que se encuentra la hoja más alta. Seguidamente, se mide la altura comercial o altura del fuste, que es la altura hasta la cual el individuo puede ser aprovechado íntegramente como madera rolliza; esta medida debe expresarse en metros. También se debe medir la altura de la primera bifurcación, que es la altura a la que el fuste o tallo principal se bifurca en dos tallos o ramas principales. Todas las mediciones de altura deben realizarse con vara

telescópica, regla o clinómetro, y deben expresarse en metros.

La posición sociológica es la variable que describe el rol que asume cada árbol con respecto a sus vecinos más próximos. La misma se indica mediante un código de categoría que se muestran en la tabla 2.

Categoría de Posición Sociológica	Código	Definición
Dominante	1	Presenta una copa bien desarrollada y altura superior al resto de individuos.
Codominante	2	Presenta una copa menos desarrollada, ubicado en el estrato inferior de la masa principal.
Oprimido	3	Presenta una copa está en competencia, recibe poca luz, sin espacio suficiente para crecer.

Tabla 2. Categorías de posición sociológica.

La vitalidad de copa se aprecia mediante la forma y espesura de la copa, color del follaje, sanidad y estado en general. El criterio se forma en función a lo observado, es decir, el valor de la vitalidad de copa de un individuo se contrasta con lo observado en campo y la situación de todos los individuos. Los códigos de las categorías de vitalidad de copas utilizadas se muestran en la tabla 3.

Código	Definición
1	Copa muy buena, lozana, fuerte, verde, vigorosa. Gran volumen y densidad.
2	Copa normal, tanto en volumen como en densidad.
3	Copa raquítica, insuficiente, con ramas muertas. Poco volumen y densidad.

Tabla 3. Códigos de categorías de vitalidad de copa.

La variable tendencia al desarrollo hace referencia a las posibilidades de vida con respecto a los árboles vecinos. Puede tomar los códigos de categorías descritos en la tabla 4.

Código	Definición
1	Árbol con posibilidades de sobresalir, ejemplares jóvenes, robustos, con espacio y que no han alcanzado la plenitud del desarrollo
2	Árbol que permanecerá invariable por mucho tiempo, ejemplares que han alcanzado la plenitud de desarrollo
3	Árbol descendente, deteriorados por sobremadurez, enfermedad u opresión. También se incluyen individuos pequeños y jóvenes, oprimidos y quebrados.

Tabla 4. Códigos de categorías de tendencia al desarrollo.

La variable ramas responde a la presencia y tipo de ramas presentes en el fuste, mientras que la variable rectitud del fuste se refiere al estado o tendencia de rectitud del fuste. Las categorías que se consignan para cada una de ellas se describen en la tabla 5.

Clasificación	Código	Definición
Rectitud de fuste	R	Árbol con fuste recto.
	SC	Árbol con fuste semicurvo.
	C	Árbol con fuste curvo.
Tipos de ramas	1	Ramas gruesas mayores de 5 cm de diámetro.
	2	Ramas gruesas muertas.
	3	Ramas finas menores de 5 cm.
	4	Ramas finas muertas.
	5	Ramas adventicias.

Tabla 5. Códigos de categorías de rectitud de fuste y tipos de ramas

La variable estado sanitario es el estado de salud que presenta el individuo. Las categorías que se usan para determinar se describen en la tabla 6.

Código	Definición
S	Árbol sano, sin ataque de insectos ni hongos.
A	Árbol con ataque de insectos.
A1	Árbol poco atacado.
A2	Árbol muy atacado.
A3	Árbol con ataque en ramas.
C	Árbol con cicatrices en el fuste.
G	Árbol con ramas o gajos quebrados.

Tabla 6. Categorías para clasificar el estado sanitario.

La última columna de la planilla es para observaciones. Sirve para incluir toda aquella información que responda a una mejor interpretación del registro de las variables para cada individuo. Se puede incluir cualquier característica saliente, por ejemplo, individuos muertos o dañados por el viento, etc.

2.1.4 Unidad de muestreo: regeneración arbórea.

La regeneración arbórea considera la medición de todos los individuos con un DAP menor a 5 cm. Dentro de cada parcela de 500 m^2, se establecen cuatro subparcelas para medir la regeneración y los arbustos. Estas subparcelas se ubican a 6 m del centro de la parcela principal, a los 45°, 135°, 225° y 315° con respecto al norte magnético. Para este levantamiento, se debe utilizar una segunda planilla en la que se registrarán los datos de las cuatro subparcelas de regeneración. Los datos se anotan colocando el número del individuo registrado en la subparcela

(1, 2, 3, n), reiniciando el contador desde 1 en cada subparcela. Luego, se debe identificar la especie, siguiendo la misma codificación utilizada para las especies de la masa adulta (Tabla 5).

A continuación, se debe determinar la ubicación del individuo dentro de la subparcela, midiendo el acimut con brújula (ángulo respecto al norte, con un valor entre 0° y 360°) y la distancia al centro de la subparcela (valor no mayor a 2,00 m). La distancia se mide desde el centro de la subparcela hasta el centro del tallo o cuello del individuo (proyección interna) y debe registrarse en metros con dos decimales (por ejemplo, 1,98 m).

La toma de datos y la medición de individuos deben realizarse respetando un barrido de 0° a 360°. En caso de que existan dos individuos con el mismo valor de acimut, se debe registrar primero el que se encuentre a menor distancia del centro de la subparcela.

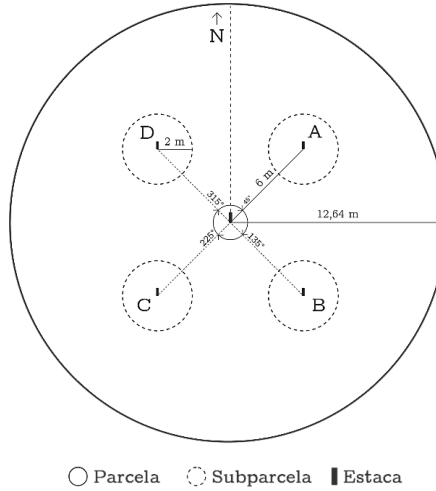


Figura 3. Parcelas experimentales que componen el Ensayo de Manejo Silvopastoril.

2.1.4 Regeneración arbórea: medición de variables cuantitativas y cualitativas

Una vez identificado el individuo, se debe proceder con la recolección de los datos dendrométricos. La primera variable a medir es el Diámetro a la Altura del Cuello (DAC), utilizando un calibre. Este valor debe registrarse en centímetros con dos decimales (por ejemplo, 1,25 cm). Luego, si corresponde, se debe medir el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), que se determina a una altura de 1,30 m. Utilizando el calibre, esta medición debe realizarse sobre el tallo principal, con alta probabilidad de que se convierta en fuste. Si a 1,30 m solo hay ramas, estas no deben medirse como DAP. Este valor también debe registrarse en centímetros con dos decimales (por ejemplo, 1,25 cm). La altura se define como la distancia vertical entre el suelo y la hoja más alta del individuo. En casos donde el individuo presenta una altura total con ramas muertas y un rebrote de menor altura, se debe registrar la altura del rebrote, es decir, la parte verde más alta del individuo. Este valor debe registrarse en metros con dos decimales (por ejemplo, 0,18 m). La planilla de registro de regeneración incluye variables categóricas similares a las de la planilla de la masa adulta.

2.1.5 Material de Campo: Instrumentos y Herramientas

El equipo o cuadrilla debe estar conformado mínimamente por 4 personas, de las cuales 2 estarán encargadas de la remedición e incorporación y 2 estarán encargados de la regeneración. Se recomienda conformar el equipo con 5 personas, 2 encargadas de la remedición e incorporación, 1 encargada del planteo de subparcelas y 2 encargadas de la regeneración. Sin embargo, este equipo de 5 personas podría reducirse a 4 personas si las parcelas ya se encuentran correctamente planteadas con estaca presente.

Las herramientas de campo deben ser las siguientes: 1 o 2 GPS con puntos cargados; 1 mapa o croquis; 2 o 3 brújulas; 1 o 2 machetes; 3 jalones; planillas de remedición, incorporaciones y regeneración; lápiz y borrador; 2 ruletas (de por lo menos 10 m); 1 o 2 calibres; 2 o 3 cintas métricas (de 3, 5 m o 10 m); vara telescópica, regla o clinómetro; 10 dendrómetros con sus respectivas chapas (aproximado por parcela). Opcionales y recomendaciones: celulares con apps visualizadoras (Google Earth, Avenza, etc.); y distanciómetro laser.

2.2 Parcelas permanentes en conglomerados forestales.

Las parcelas permanentes fueron instaladas y ampliadas en el área de estudio durante el desarrollo de las tesis doctorales Gasparri, N. I. (2010) y Loto, D. E. (2021). Desde el año 2007 hasta la actualidad se han instalado 280 parcelas permanentes en el centro-norte del Chaco Seco Argentino (Figura 4).

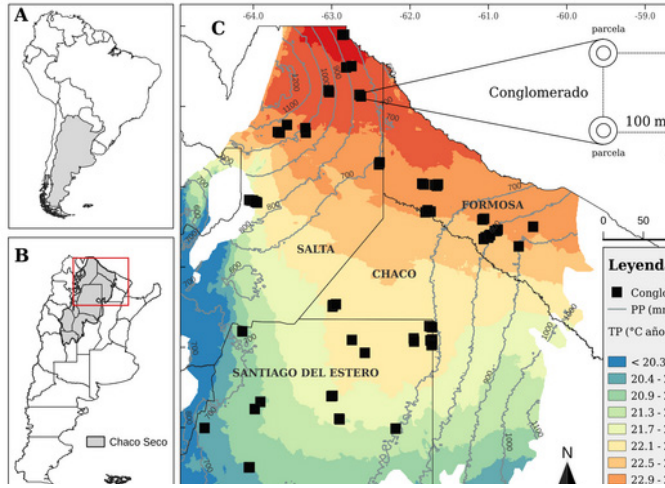


Figura 4. Distribución de parcelas permanentes en la región del Chaco Seco Argentino.

Las parcelas se encuentran agrupadas en conglomerados que fueron instalados en diferentes tenencias de la tierra, tales como áreas protegidas, parques nacionales, comunidades aborígenes, puestos campesinos, reservas de fincas y lotes fiscales.

2.2.1 Descripción del Diseño de Muestreo.

El diseño de parcela circular está compuesto por dos superficies concéntricas: una de 1.000 m^2 y otra de 500 m^2 (Figura 5A). Estas superficies indican diferentes intensidades de muestreo. En la parcela de 1.000 m^2 se registran únicamente los árboles con un diámetro normal o DAP (medido a 1,30 m de altura) mayor a 20 cm, mientras que en la parcela de 500 m^2 se miden únicamente los árboles con un diámetro mayor a 5 cm. Este diseño se considera de tipo agrupado o de muestras anidadas, ya que del mismo sitio se extraen datos de muestras con diferentes superficies, lo que está asociado a un error de muestreo puntual.

Por otro lado, agrupando cuatro parcelas circulares dispuestas en los vértices de un cuadrado se forma un conglomerado o clúster. El conglomerado de parcelas circulares tiene un lado de 100 x 100 m de separación entre parcelas (Figura 5B). Es importante mencionar que este diseño de muestreo permite considerar diferentes unidades observacionales. Por ejemplo, los conglomerados se adecuan mejor a datos y productos de sensores remotos, como imágenes y escenas satelitales (por ejemplo, Landsat, Sentinel, MODIS, etc.), ya que a nivel de conglomerado se logra cubrir la mínima resolución del píxel. Asimismo, al utilizar cada una de las parcelas circulares como unidades observacionales, se pueden estimar parámetros totales como el área basal, la densidad total, el volumen de madera, etc., ya que son directamente comparables con los parámetros totales de inventarios forestales locales, regionales y nacionales.

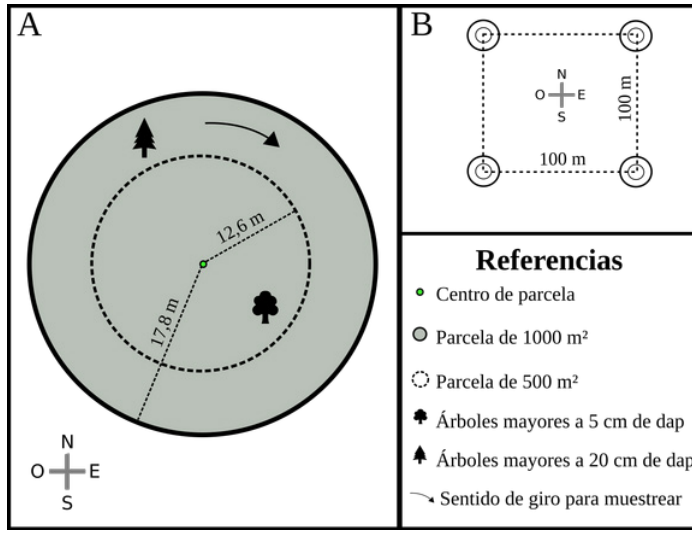


Figura 5. Diseño de muestreo de parcelas permanentes. (A) Detalle de parcelas circulares concéntricas. (B) Detalle de conglomerado conformado por cuatro parcelas circulares concéntricas. Cada una de las parcelas se encuentren en los vértices del conglomerado separadas cada 100 metros.

2.2.1 Planificación del sitio de muestreo.

Los diferentes sitios de bosques a medir requieren de una planificación previa a la salida de campo para la instalación o remedición de las parcelas permanentes. Para esto es necesario analizar imágenes satelitales recientes del lugar para comenzar un plan de acción una vez presente en el terreno.

Durante una remedición es recomendable volver a considerar los mismos recursos satelitales, geográficos y fotográficos recolectados durante la instalación de las parcelas. A partir de una imagen satelital se selecciona una posible extensión de bosque nativo para muestrear. A partir de dicha selección se

identifica accesos, caminos y usos del suelo presentes en el sitio. Si existe la posibilidad de visitas previas al sitio, es necesario realizar recorridos, entrevistas y preguntas a los habitantes de las cercanías para disponer de información detallada. Esto facilitará un mejor diagnóstico de cuántas hectáreas de bosque son efectivas, la influencia del tipo de suelo y topografía, condiciones de hábitat (ríos, bosque inundable, bosque alto, salinidad, etc.), qué historia de usos y disturbios ocurrieron y/o siguen vigentes, y qué posibilidades existen de transformación de bosque, teniendo en cuenta la matriz de paisaje circundante.

Una vez identificada la superficie de bosque a muestrear, es recomendable delimitar dicha superficie con un polígono y cartografiarla en un mapa. Esto será útil al momento de instalar las parcelas y conglomerados. La ventaja de mapear un polígono del bosque a muestrear es que permite instalar las parcelas una vez dentro de esta superficie, en lugar de tratar de ubicar un punto preestablecido, lo cual en el terreno suele ser difícil, impreciso y no optimiza el tiempo. La superficie mínima de bosque continuo a medir estará sujeta a las preguntas de investigación. Sin embargo, las 280 parcelas permanentes del presente protocolo fueron instaladas en superficies de bosque nativo mayores a 300 hectáreas.

Google Earth es la herramienta más práctica y adecuada para revisar caminos, senderos, puntos, y cambios en la cobertura de bosque con alta resolución. Los registros de puntos de accesos a las parcelas, senderos y caminos para el tránsito son elementos cartográficos que necesitan registrarse durante la instalación y se los considerará durante las remediciones. Estos registros son cargados en Google Earth para observar los mejores lugares de acceso y procurar el menor esfuerzo posible. Para acceder a cada parcela los senderos a pie son importantes en los registros del GPS.

Generalmente, los senderos a pie que se abrieron durante la instalación se vuelven a cubrir de vegetación, por lo tan-

to, es importante anotar observaciones de la vegetación de estos. Por ejemplo, si el sendero presenta vegetación densa, poco densa o abierta. Esto facilitaría la planificación del muestreo, especialmente en el gasto de energía para volver a abrir la vegetación. Otro registro importante son los caminos para circulación de vehículos, especialmente el estado del camino. Tal descripción permitirá planificar la entrada y salida de una camioneta o auto, por ejemplo para conocer dónde estacionar y/o preparar una salida de emergencia. La nomenclatura y códigos de los caminos, senderos y puntos requieren un estándar capaz de simplificar la carga y lectura rápida durante una tarea de muestreo y remuestreo. Es posible que durante una instalación y remedición forestal se repitan los nombres de los elementos cartográficos en el GPS y las planillas de campo, provocando errores de interpretación y pérdida de tiempo en campo. Para evitar esto, proponemos considerar un estándar de nomenclatura para los elementos cartográficos en cada sitio de muestreo (Tabla 7).

Elemento	Código	Descripción
Conglomerado	1, 2, 3...	Se designa cada conglomerado con un número entero secuencial
Parcela	1A, 1B, 1C...	El primer número indica el número de conglomerado y una letra mayúscula indica la parcela. Por lo tanto un conglomerado puede contener únicamente las cuatro letras A, B, C y D.
Sendero a pie	S1, S2a, S2b, S3...	Es la senda o track grabado durante la caminata hasta cada parcela. Se nombra con letra mayúscula S + el número de conglomerado. En caso de haber más de un sendero a pie en el conglomerado, se agregará una letra minúscula.

Camino de vehículo	V1, V2a, V2b, V3...	Corresponde al camino por donde puede transitar una camioneta o auto. Se nombra con letra mayúscula V + el número de conglomerado. En caso de haber más de un camino para vehículo, se agregará una letra minúscula.
Salida	EXIT1...	Punto donde el vehículo se estaciona. De preferencia debe estar lo más cerca posible a parcela. Se nombra con la palabra "EXIT" + el número de conglomerado.
Punto	i1a, i1b, i2, i3a...	Referidos a puntos cartográficos con información que indican algún aspecto logístico como un desvío en el camino, cambio de sentido, alambrado, tranquera, picada, puente, canal, corral, etc. Se asigna con la letra minúscula "i" + el número del conglomerado. En caso de haber más de un punto de interés en el mismo conglomerado, se agregará una letra minúscula.
Campamento	CAMP1...	Lugar de acampe y descanso según el sitio visitado. Se asigna la palabra "CAMP" + el número de conglomerado.

Tabla 7. Recomendaciones para un estándar de nomenclatura y códigos de elementos cartográficos que se registren con el GPS durante la instalación y remedición de parcelas permanentes.

2.2.3 Instalación de parcelas permanentes en conglomerados forestales.

Teniendo en cuenta el mapa del sitio de muestreo (ver sección "Planificación del sitio de muestreo"), se avanzará hacia el interior del polígono de bosque a muestrear, utilizando un GPS

para verificar la ubicación geográfica y asegurarse de que estamos dentro de dicha superficie. Cada parcela tiene un centro desde el cual se establecen los radios para delimitar las superficies de 1000 m^2 y 500 m^2 (Figura 5). Este centro debe ser, en lo posible, un árbol con buenas probabilidades de permanencia (generalmente mayor a 20 cm de DAP). No se recomienda el uso de estacas o marcas como centro de parcela, ya que son difíciles de relocalizar en el terreno. La selección de un árbol-centro no influye en las probabilidades de muestreo de los individuos dentro de la parcela.



Figura 6. Ejemplo de selección de bosque. En línea punteada el polígono delimitando el bosque a muestrear. Se identificaron caminos y puntos de accesos. La ubicación definitiva de las parcelas se definirá en terreno una vez dentro del polígono.

Cada árbol-centro de parcela debe tener una coordenada GPS y esta será la ubicación de cada parcela circular de un conglomerado (Figura 5B). Para tener una mejor precisión las coordenadas deben estar correctamente anotadas en planilla. Se reco-

mienda utilizar coordenadas en grados decimales con precisión de cinco unidades (p. ej. -22.45235°, -64.15400°), ya que es más fácil la anotación. En cada árbol-centro de parcela se colocará una marca numerada o chapa numerada utilizando un clavo de 1.5-2 pulgadas de longitud a la altura de medición del diámetro normal (Figura 7B y Figura 7D). La ubicación de las restantes parcelas del conglomerado se realizará formando un cuadrado siguiendo el rumbo o ángulo horizontal de los puntos cardinales. Esto quiere decir que la primera parcela de un conglomerado se establece al azar en el bosque, pero las tres parcelas restantes deben respetar una distancia de 100 m de separación en el sentido de los puntos cardinales. Por ejemplo, a partir de la primera parcela se establecerá a 100 m la segunda parcela hacia el Norte con rumbo 0°, la tercera parcela puede estar ubicada hacia el Este con rumbo 90° u Oeste con rumbo 270° a 100 m de la segunda parcela, y la cuarta parcela estará necesariamente ubicada hacia el Sur con rumbo 180° a 100 m de distancia de la tercera parcela, formando así un conglomerado cuadrado (Figura 5B). Las distancias entre parcelas se miden con GPS durante la caminata y corrigiendo el rumbo con brújula.

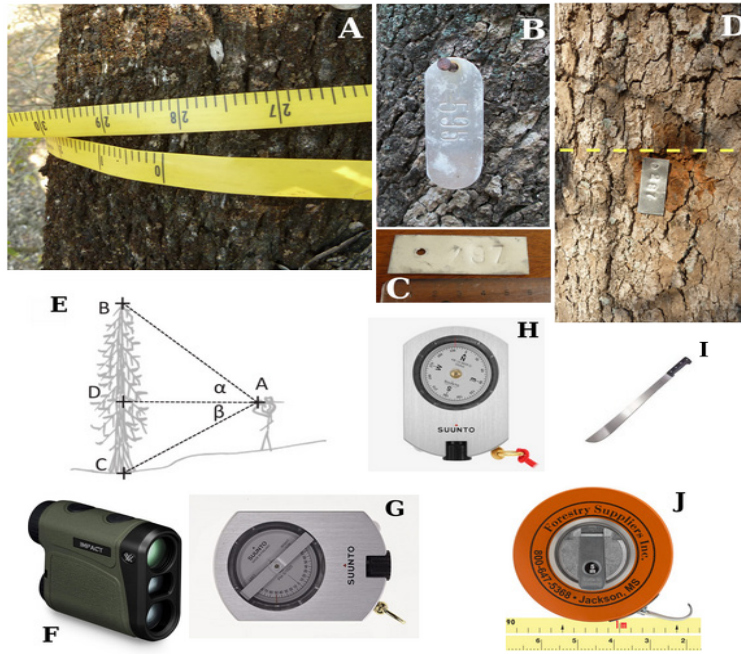


Figura 7. Mediciones de variables forestales en las parcelas y las herramientas necesarias. A) Medición del DAP en centímetros. B) Chapa o marca numerada colocada sobre el individuo. C) Las chapas pueden elaborase con pocos materiales. D) Una vez colocada la chapa, las mediciones y remediciones del DAP siempre deben realizarse sobre línea punteada indicada. E) Medición de altura total en árboles > 5 m de altura utilizando el método del seno. F) Distanciómetro laser o rangefinder. G) Clinómetro. H) Brújula con ocular para observación de rumbos. I) Machete. J) Cinta diamétrica con escala diametral y escala métrica impresa.

2.2.4. Medición de parcelas

En base a la experiencia, establecer los límites de las superficies concéntricas con cinta métrica o sogas implica demasiado tiempo y dificultad en los bosques del Chaco Seco. Para

solucionar esto, una forma rápida es utilizar el diámetro del árbol y luego medir la distancia de dicho árbol al centro. De esta manera se medirán únicamente a los árboles > 20 cm de DAP que se encuentren entre 0 m y 17.8 m del centro, y aquellos árboles > 5 cm de DAP que se encuentren entre 0 m y 12.6 m de distancia con respecto al centro.

Estas distancias son más fáciles de medir utilizando una ruleta métrica o un distanciómetro láser (rangefinder, en inglés). Es recomendable comenzar trazando desde el árbol-centro una dirección hacia el norte magnético. A partir de esta dirección y girando en el sentido de las agujas del reloj, se hará la selección de los individuos a muestrear dentro de la parcela (Figura 5A).

Se asignará un número entero secuencial a cada árbol según el orden de aparición en el sentido de giro, de manera que el árbol más cercano al norte será el primer registro, y los individuos hacia el oeste serán los últimos registros. En la planilla se debe anotar la especie, el número de chapa o marca, el rumbo respecto al centro y la distancia al centro de cada árbol muestreado. El primer registro a muestrear debe ser el árbol-centro.

2.2.5. Medición de variables forestales

Las variables forestales medidas en las parcelas permanentes de los conglomerados forestales son las siguientes:

a) Especie nativa. Se miden las especies leñosas más frecuentes en el Chaco Seco. Entre las especies dominantes se encuentra el quebracho blanco, quebracho colorado, mistol, algarrobos y palo santo. En las últimas décadas el nombre científico de muchas especies chaqueñas ha cambiado y su sinonimia y nomenclatura no es un tema menor a la hora de identificar una especie en campo. La Flora de Plantas Vasculares del Cono Sur en su catálogo web www.darwin.edu.ar mantiene actualizado la nomenclatura para miles de especies nativas de Argentina

(Zuloaga et al., 2019). Esto permite un consenso de nombres actuales para casi todas las especies de árboles en la región Chaqueña. Durante la medición de una parcela permanente recomendamos utilizar un código de especie formado a partir del nombre científico. El código tendrá 4 letras formadas por las dos primeras iniciales del género y las dos primeras iniciales del epíteto específico. Por ejemplo, el código de *Aspidosperma quebracho-blanco* será ASQU, y para *Sarcomphalus mistol* será SAMI.

Debido a que los nombres científicos de las especies cambian continuamente, es aconsejable mantener un solo código según el nombre científico aceptado en ese momento. Por ejemplo, *Prosopis alba* mantiene PRAL a pesar de que su nombre actual es *Neltuma alba* (Zuloaga et al., 2019). Mantener y no modificar el código de especies ofrece ventajas a la hora de trabajar con remediciones. En caso de repetir un mismo código de especie, se debe agregar una tercera letra inicial del género. Por ejemplo, *Acacia praecox* (ACPR) y *Achatocarpus praecox* (ACHPR). No se recomienda utilizar nombres y/o códigos de especies formados a partir de nombres vulgares, ya que permiten ingresar códigos ambiguos. Por ejemplo, el nombre vulgar "tala" puede hacer referencia a más de 3 especies nativas del género *Celtis*. Disponer del listado completo de especies con sus respectivos códigos en una planilla de cálculo resuelve y controla los problemas de cambios de nombres científicos y nombres vulgares de las especies. Para el caso de las especies no determinadas en el terreno se recomienda colectar, en lo posible, una muestra de hojas y flores para herborizar. También los registros fotográficos son de gran ayuda. Para estas especies desconocidas se debe anotar en planilla el código NN. Luego, la determinación de estas se debe realizar en las tareas de gabinete mediante el uso de claves y floras regionales.

b) Diámetro normal o Diámetro a la Altura de Pecho (DAP). En todas las parcelas permanentes del Chaco Seco se ha utilizado cinta diamétrica para medir el diámetro normal de los individuos. No se utilizó forcípulas ya que son imprácticas de transportar cuando hay grandes árboles. Como segunda opción se empleó cintas métricas para la medición del perímetro y luego en tareas de gabinete se calcula el diámetro. El diámetro se registra en centímetros con un decimal de precisión. Para esto, es muy importante seguir la siguiente secuencia: primero establecer la ubicación de medición del DAP, generalmente es a 1,3 m desde la base del individuo. Para el caso de individuos inclinados se debe respetar 1,3 m también desde la base y siguiendo la inclinación del tronco. Una vez ubicada la medición del DAP se debe colocar la marca o chapa numerada del árbol a medir. La marca o chapa numerada se debe colocar con clavo (Figura 4B).

Luego, se procede a colocar la cinta diamétrica inmediatamente por el lado superior del clavo marcado y se realiza la lectura (Figura 4D). Aunque esta secuencia es minuciosa, en la práctica y luego de algunos individuos, la secuencia se vuelve sencilla. Esta medición garantiza tener una lectura correcta y comparable durante la remedición del DAP. Cualquier tronco o fuste proveniente de una ramificación por debajo de 1.3 m de altura pertenece a un solo individuo (SAyDS, 2019). En planilla se debe anotar el diámetro de todos los troncos o fustes > 5 cm y/o > 20 cm de DAP indicando que pertenecen a un mismo individuo ya que puede influir en el cálculo de la densidad total de individuos. Los troncos o fustes ramificados pueden indicarse con la letra "P" o "F" en la variable Observaciones. Cualquier fuste o tronco ramificado > 5 cm de DAP debe colocarse la chapa o marca numerada.

c) Altura total. La región del Chaco Seco presenta una esca-

sa pendiente en la topografía del suelo, logrando emplear el método trigonométrico para las lecturas de alturas totales sin corregir la pendiente. En árboles de gran altura (> 5 m), se ha utilizado el método del seno para estimar la altura total (Figura 7E). Este método requiere el uso de clinómetro y distanciómetro láser. La lectura la realiza una persona que observe el ápice del árbol y con el distanciómetro tome la lectura de la distancia AB hacia el ápice (Figura 7E). Luego con clinómetro se toma la lectura del ángulo de inclinación (α) hacia el ápice del árbol (Figura 7E). Por último, se debe anotar la altura vertical de la persona observadora (Figura 7E). Estos tres valores se registran en la planilla para luego calcular una altura total en tareas de gabinete. La ventaja de medir altura total con el método del seno en bosque nativo es que no requiere conocer la distancia horizontal hacia el árbol ya que muchas veces el sotobosque es denso (distancia AD en Figura 7E). Solo se requiere buena visibilidad del ápice del árbol y esto agiliza el tiempo de medición (Larjavaara y Muller-Landau, 2013). Se recomienda que las mediciones de altura total sean realizadas por la misma persona en todos los árboles para lograr sistematizar el error de medición. En árboles de poca altura (< 5 m), se ha utilizado barra de altura graduada que se emplean desde la base del árbol hasta el ápice. Esta lectura debe ser realizada por otro observador. Para los árboles bajos también es posible utilizar el método trigonométrico del seno, pero la utilización de una barra de altura graduada permite una lectura más rápida. La altura total se registra en metros considerando, en lo posible, un decimal de precisión.

d) Las observaciones corresponden a cualquier anotación referida al individuo medido. Generalmente, se registran observaciones sobre el estado del árbol, indicando si está muerto, hueco, decrépito, inclinado, caído, cortado o dañado. Además, se señala si presenta ramificaciones por

debajo de 1,3 m desde la base, anotando aquí las letras "P" de pie o "F" de fuste, seguidas de su número respectivo (por ejemplo, P1, P2, etc.).

Cualquier otra observación relevante se anota para facilitar la determinación de una especie desconocida, como el tipo de hoja, flor o fruto, si los hubiera. También se debe registrar cualquier variación en las lecturas del DAP o altura total, por ejemplo, cambios en el diámetro y la marca medidos en la base, o estimaciones de altura en casos donde la medición directa no fuera posible.

2.2.5. Remedición de parcelas

Durante una remedición, las tareas en terreno muchas veces hacen hincapié en la búsqueda de los árboles anteriormente marcados. Sin embargo, esto puede ser desalentador y volverse desorganizado cuando las marcas o chapas numeradas no se encuentran (muchas veces removidas), cuando hay demasiada mortalidad o reclutamiento de árboles, cuando existieron cortes y aprovechamiento de árboles, o si hubo fuertes perturbaciones como rolado, fuegos o inundaciones.

Por lo tanto, durante una remedición se recomienda repetir las tareas de muestreo como si fuera una instalación. Una forma eficiente y rápida es encontrar nuevamente el árbol-centro y desde allí trazar el rumbo hacia el norte magnético para luego girar en el sentido de las agujas del reloj seleccionando los individuos a muestrear. Aunque esta tarea es repetitiva, logra un mejor rastrillaje en la presencia o ausencia de los individuos, las tareas son más organizadas, y sistematiza el error de muestreo si se repite la misma metodología de selección de árboles.

Es aconsejable que todos los árboles a remuestrear deban tener anotada la especie, el número de chapa o marca, el rumbo respecto al centro y la distancia al centro de cada árbol muestreado. El primer registro a remuestrear debe ser

el árbol-centro. En los árboles remuestreados, las anotaciones de rumbo y distancia respecto al centro no necesariamente deben ser las mismas que se registraron durante una instalación, pero si aproximadas. Sin embargo, el número de chapa o marca y la especie, en lo posible, deben ser iguales a la instalación. Para lograr un mejor remuestreo, se propone llevar la planilla de campo con el muestreo pasado. Las variables forestales medidas son iguales que utilizadas para la instalación descriptas en el ítem 2.2.4.

2.2.6 Material de campo: Herramientas e instrumentos

En base a la experiencia, las herramientas para la instalación y remedición de parcelas permanentes en el Chaco Seco de preferencias deben ser livianas para no lograr un cargamento pesado. Los bosques del Chaco Seco son ecosistemas semiáridos de ambientes muy agrestes y vegetación con fuertes espinas. Las temperaturas pueden alcanzar los 40° C en un día otoñal o primaveral, convirtiéndose en condiciones calurosas y secas. Esto por supuesto tiene gran impacto en las condiciones laborales durante una jornada. Por lo tanto, las herramientas e insumos necesarios para transportar al bosque deben estar bien planificados.

Como herramientas necesarias recomendamos: a) machete, que es útil para abrir senderos liberando la obstrucción de plantas y ramas espinosas. Esto agiliza la accesibilidad y transitabilidad por el bosque; b) calzado botín, adecuados para caminar en terreno difícil y protege los pies; c) guantes para protección de manos y evitar cortes; d) guardamonte o polainas indumentaria protectora de miembros inferiores; e) mochila por persona, para transportar herramientas de mano, comida, agua, ropa, etc., y repartir la carga.

3 Protocolo para medición en bosques regulares de la región Chaqueña.

3.1 Protocolo para medición de árboles de Algarrobo blanco en plantación (*Prosopis alba* Griseb.) en la región Chaqueña. Gómez y Coronel (2013)

Los trabajos de investigación desarrollados dentro de los campos de productores tienen particularidades que implican flexibilidad y criterio para la obtención de información. Además de contar con los permisos pertinentes, la planificación y ejecución del trabajo. Así mismo, es necesario analizar la probable heterogeneidad de formas de trabajos y de terrenos en los que se establecen los ensayos como así también la convergencia de distintos objetivos dentro de un mismo proyecto plasmados en los campos.

Una vez seleccionadas las fincas, para el procedimiento de instalación de parcelas se necesita: 1) Definir el número de unidades y su diseño; 2) Confeccionar una lista de los equipos e instrumentos necesarios para la instalación y evaluación de las parcelas (controlar su buen estado); y 3) Medición de las parcelas.

3.1.1 Número de unidades de muestreo, diseño y tamaño de parcela

En general, se encuentran estudios de caso que se consideran dominios de recomendación para la producción maderable en sitios de interés donde convergen diversos objetivos productivos además de la madera, como la carne, los frutos, la biomasa, entre otros. Estas variables, junto con las particulares de cada sitio, determinarán el establecimiento de parcelas y el número necesario para lograr una representación adecuada. Se recomienda el establecimiento de parcelas rectangulares, ya que este tipo de diseño es muy útil en plantaciones que carecen de mantenimiento, como el control de malezas, y en áreas de difícil acceso, características comunes en nuestra región. El tamaño

de las parcelas establecidas es de 48 árboles, es decir, un rectángulo de 4 árboles de ancho y 12 árboles de largo (Figura 8).

3.1.2 Materiales necesarios para la instalación de la parcela.

Los siguientes materiales son necesarios tanto para la instalación y posterior ubicación de la parcela:

- Imagen satelital de la plantación: para reconocer puntos de acceso y ubicar las parcelas.
- GPS: es necesario referenciar la parcela, tomando puntos en sus vértices, como también resulta necesario referenciar la plantación siguiendo una metodología similar.
- Estacas: para marcar la parcela. Se puede colocar pintada en un vértice de la parcela junto al árbol vértice. O se puede colocar en la entrelínea para facilitar la visibilidad
- Martillo: para la colocación de la estaca
- Aerosoles: para marcar el árbol vértice de la parcela para reconocerla.
- Machete: para abrir camino en caso de plantaciones sin mantenimiento.
- Brújula: para indicar el Norte con precisión
- Croquis de la plantación (Figura 1): donde se indique puntos de referencia, por ejemplo, tanques, molinos, rutas, caminos, etc. que permitan reubicar las parcelas,
- Cámara fotográfica: para documentar la actividad.

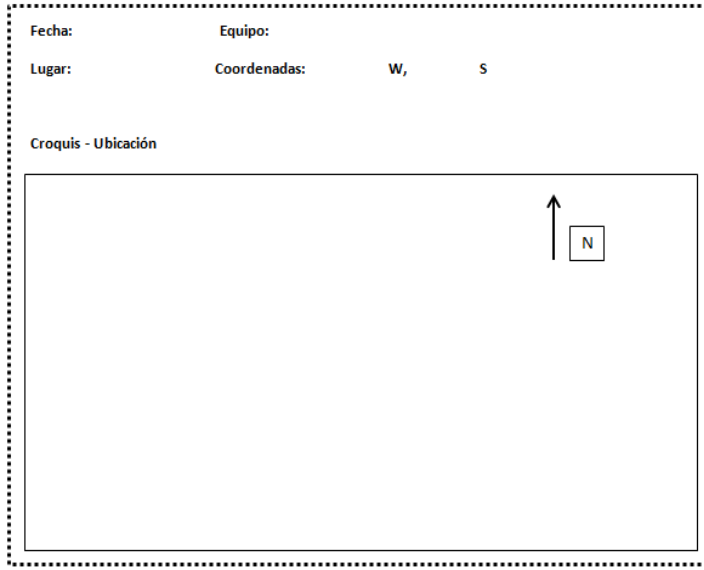


Figura 8. Modelo de croquis para instalación y ubicación de parcelas.

3.1.3. Medición de variables forestales.

Al comenzar la medición es necesario marcar el primer árbol vértice donde se comenzará la misma y el último árbol medido de cada fila. Estas marcas pueden hacerse con aerosol haciendo un anillo simple alrededor del fuste del primer árbol y un doble anillo alrededor del fuste del último. El objetivo es que la marcación sea visible y durable. Se recomienda indicar en la planilla la forma en que se identificaron los árboles inicio y los árboles fin de filas, y detallar el sentido en el que fueron hechas las mediciones, la fecha, el equipo de medición y el tiempo de duración de las mediciones (Figura 9A).

Las variables a medir en cada árbol serán las siguientes:

- Altura total (ht): se medirá desde el suelo hasta el

ápice de la copa (figura 9B). Se mide en forma vertical, en metros con precisión al decímetro.

- Altura fuste (hf): se medirá la altura que va desde la superficie del suelo hasta la primera bifurcación (figura 9B).
- Diámetro Altura Pecho (DAP): diámetro del fuste, sobre la corteza, a 1,30 m desde la superficie del suelo con cinta diamétrica metálica en buenas condiciones, en centímetros, con precisión al milímetro y redondeado al milímetro inferior. Si los árboles presentan más de una rama a esa distancia, se medirán dos diámetros mayores de las mismas.
- Diámetro Altura Cuello (DAC): se medirá el diámetro del fuste, sobre la corteza, a 0,20 m (20 centímetros) desde la superficie del suelo.
- Diámetro a los 2 m: se medirá el diámetro a los 2 metros sobre la corteza. Si los árboles presentan más de una rama a esa distancia, se medirán los tres diámetros mayores.
- Diámetro de copa: diámetro mayor de la copa proyectada en el suelo y el diámetro perpendicular al mismo.

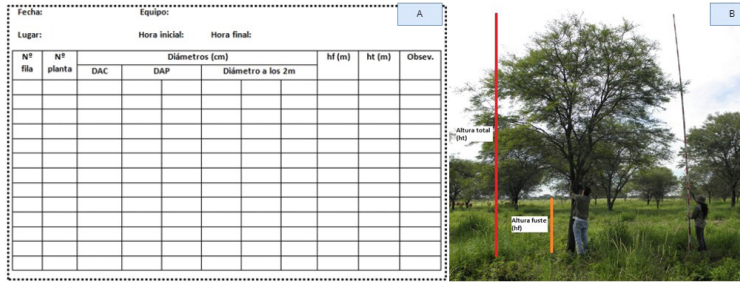


Figura 9. A) Modelo de planilla para medición de árboles a campo, B) Medición de altura total (ht) y de fuste (hf) con vara telescópica.

3.1.4. Material de Campo: Instrumentos y Herramientas.

Se necesitan los siguientes materiales e instrumentos: a) planillas, confeccionada para la toma de datos con hojas de reserva (Figura 9 A); b) lápiz (como mínimo 2); c) borrador; d) bolsa plástica, para proteger las planillas en caso de lluvia; e) cinta diamétrica, cinta metálica en buenas condiciones (en centímetros con precisión al milímetro) o cinta métrica para medir el perímetro; f) vara telescópica, vara en metros con precisión al centímetro; g) cinta métrica, específicamente de 50 metros para medición del diámetro de la copa.

4. Consideraciones finales

El cambio climático se impuso en la agenda del mundo, con una demanda concreta de información, y en especial de información con trazabilidad. Para el caso de información en dinámica de los bosques, los monitoreo en parcelas permanentes son de gran importancia. Existen pocos grupos de investigación que pudieron realizar y sostener líneas de monitoreo permanentes, por esta razón es importante que se sumen esfuerzos en sitios donde aún no tienen registros con remediciones de la dinámica de bosque. Para este fin es importante conocer la experiencia previa de quienes vienen desarrollando esta esta línea de acción en la región chaqueña. Los grupos de investigación que presentan este capítulo se encuentran trabajando en la sistematización "de datos" con la meta de "gestionar"una base de datos abierta y colaborativa con el fin de aportar con información para la toma de decisiones en la gestión forestal.

Referencias

Araujo, P. (2003). *Bases para la gestión sostenible de bosques en regeneración del Chaco Semiárido*. Escuela Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.

Araujo, P. A., Iturre, M. C., Acosta, V. H., & Renolfi, R. F. (2008). *Estructura del bosque de La María EEA INTA Santiago del Estero*. Revista Quebracho, 16, 5–19.

Araujo, P., Galíndez, M., & Iturre, M. C. (2007). *Crecimiento de las especies principales de un bosque en regeneración del Chaco Santiagueño*. Quebracho, 14, 36–46.

Cid Lendínez, D., Iturre, M. C., Araujo, P. A., & Gonzales García, C. (2013). C*recimiento del área basal en parcelas permanentes de inventario forestal continuo*. Revista Quebracho, 21, 115–120.

Gasparri, N. I. (2010). *Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la cobertura vegetal y dinámica de biomasa del Chaco semiárido argentino*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Gómez, A & Coronel, F. *Protocolo para medición de árboles de Algarrobo blanco en plantación en la región Chaqueña. Informe Técnico*. INTA, Santiago del Estero.

Larjavaara, M., y Muller-Landau, H. C. (2013). *Measuring tree height: A quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest.* Methods in Ecology yEvolution, 4(9), 793–801, DOI: 10.1111/2041-210X.12071

Loto, D. E. (2021). *Ciclo de carbono en biomasa de bosque con relación al régimen de disturbios en el Chaco seco argentino* (Issue May 2021), Universidad Nacional de Santiago del Estero, DOI: 10.13140/RG.2.2.10170.88001

SAyDS. (2019). Segundo *Inventario Nacional de Bosque Nativo. Manual de campo*. Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Zuloaga, F. O., Belgrano, M. J., & Zanotti, C. A. (2019). *Actualización del catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur*. Darwiniana, 7(2), 208–278, DOI: 10.14522/darwiniana.2019.72.861

INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE SITIO, LA DENSIDAD Y LA EDAD DE RODALES DE ALGARROBO BLANCO EN LOS PARÁMETROS NUTRICIONALES DE LOS FRUTOS

María G. Senilliani[1,4], Natalia E. Lescano[2,3], Myriam E. Villarreal[2,3], Miguel Brassiolo[1,3]

Resumen:

Neltuma alba (anteriormente denominado *Prosopis alba*) se considera una especie multipropósito usada para forraje, alimento humano, leña, carbón y madera. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del sitio, la edad y densidad de los rodales en la calidad nutricional de los frutos en plantaciones de la provincia de Santiago del Estero. Se analizó el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas, fibra dietaria total e

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Académico de Producción. Cátedra de Silvicultura, Santiago del Estero. Argentina.
2 Universidad nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento Académico de Ingeniería de Procesos. Santiago del Estero. Argentina.
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Santiago del Estero. Argentina.

hidratos de carbono no fibrosos. Con respecto al crecimiento en altura directamente relacionado a las tres clases de calidad de sitio (I, II y III) establecidas, los resultados mostraron que la clase III, de más baja calidad de sitio, mostró los menores contenidos de carbohidratos y los mayores contenidos de lípidos y fibras. Los rodales de mayor edad, registraron una tendencia a presentar mayores contenidos de carbohidratos, FDT y menor proteína, sin embargo la densidad arbórea no mostró una influencia determinante en la calidad de las vainas.

Palabras clave: *Neltuma alba*, productos forestales no maderables, calidad de sitio

1. Introducción

Neltuma alba (nueva denominación científica de *Prosopis alba*) es una especie multipropósito que, si bien es valorada por la calidad de la madera, se ha registrado en las últimas décadas una creciente inserción en el mercado de productos forestales no maderables con los frutos que produce que, al poseer un alto contenido de proteínas y azúcares, son usados para la alimentación humana y animal (Giménez et al., 1998; Giménez, 2001; Juárez de Galíndez et al., 2005; Juárez de Galíndez et al., 2008; Ewens y Felker, 2010; Scambato, 2013; Cisneros y Moglia, 2017; Villarreal, 2017).

En América Latina se han efectuado diversos estudios tendientes a evaluar el potencial en el uso e industrialización de los frutos de distintas especies dentro de este género. Así, en Chile se realizaron investigaciones en *Prosopis tamarugo*, en Perú estudios de industrialización del fruto de *Prosopis pallida* y relaciones entre el crecimiento con las variables controladas de edad, distanciamiento, profundidad de la napa freática, germinación, producción, características y usos de los frutos

(Prokopiuk et al, 2000). En Argentina, se ha estudiado ampliamente el uso y potencial de los frutos de *Neltuma alba* y su consumo asociado principalmente a comunidades rurales (Lescano, Costa Macías y Villarreal, 2021; Sciammaro 2015; Ochoa,1996 citado por Choge, 2007).

Sciammaro en (Sciammaro, 2015) caracterizó las harinas provenientes de vainas de diferentes regiones, concluyendo que las harinas para el consumo humano son altamente energéticas por su elevado contenido de azúcares pero que, en general, los valores varían con el tipo de especies, región y año de recolección. Otro aporte significativo del uso de frutos es, por ejemplo, el potencial aporte en la producción silvopastoril ya que la palatabilidad y valor nutritivo de las hojas y frutos del algarrobo la convierten en una especie de interés alimenticio. Trabajos previos sobre calidad forrajera del género *Prosopis spp*. indican que el fruto de estas especies contiene entre 1,3% – 3,5% de materia grasa (Zolfaghari, 1986; Silva et al., 2000; Boeri et al., 2017), 9% – 17% de proteína, (Zolfaghari, 1986; Oduol et al., 1986), 22% –30% de fibra cruda, 3% – 4,9% de cenizas (Silva et al., 2000; Freyre et al., 2003), 15% – 38% de carbohidratos (Oduol et al.,1986) y una alta digestibilidad con un valor de 59% (Habit et al., 1981), observándose variación de la calidad forrajera entre especies, entre sitios, y aún dentro de la misma especie (Díaz y Karlin, 1988, citado por Silva et al., 2000).

Según Oduol en (Oduol et al., 1986) existe interacción entre familias del género por sitio para el contenido de carbohidratos, sugiriendo que los programas de selección y reproducción para esta característica deberían considerar la calidad del sitio en el que se va a plantar. A la inversa, el contenido de proteínas fue relativamente estable en su estudio para los sitios probados. En (Corona-Castuera et al., 2000) los autores concluyen que el análisis proximal en vainas de *Neltuma*, presenta mayores porcentajes de carbohidratos en árboles con poda que en aquellos sin poda, con diferencias significativas en los paráme-

tros humedad, cenizas de extracto etéreo, fibra cruda y proteínas, según la fecha de colecta de vainas durante el período de fructificación, con mayores valores cuando la misma se realiza hacia el final del mismo. Esto sugiere que la calidad de frutos para uso forrajero o alimenticio está sujeta a diferentes condiciones, como ser la maduración de la vaina y disponibilidad espacial en el sitio.

Un aspecto importante a ser analizado es el impacto que puede tener el sitio donde crece esta especie sobre la calidad de los frutos tanto para consumo humano o animal en relación con la capacidad productiva del sitio en el que crece cada rodal, la edad y la distancia de plantación. En el presente trabajo se propuso como objetivo determinar la influencia de la calidad de sitio, la edad y densidad de plantaciones de *Neltuma alba*, sobre los parámetros nutricionales de frutos con la perspectiva de aportar información y nuevos conocimientos que faciliten la toma de decisiones silviculturales.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El área donde se ubican los rodales de algarrobo blanco en la provincia corresponde a la Llanura aluvial del río Dulce, Paleo Llanura de Inundación, con material originario fluvio – loessico, que posee gran heterogeneidad espacial en cuanto a las propiedades químicas de los suelos principalmente. Las áreas de influencia de este estudio comprenden bosques y vegetación dentro de la cuenca del río Dulce, que adopta características distintivas con respecto a la subregión del semiárido. Se presentan comunidades riparias, con la presencia de los géneros y especies: *Aspidosperma* quebracho- blanco Schltdl. (quebracho blanco), *Lycium spp*, *Schinopsis spp*, *Prosopis seri-*

cantha Gill. Ex Hook. & Arn. (algarrobilla) y *Prosopis alba Griseb* (algarrobo blanco). Se trata de un fachinal abierto dominado por *Vachellia aroma Ex Hook. & Arn.* (tusca), *Celtis iguanaea (Jacq.)*, *Sarg.* (tala) con árboles aislados de **Schinopsis lorentzii Griseb** (quebracho colorado) y *Sarcomphalus mistol Griseb* (mistol) (Sarmiento, 1963; Redaf, 1999).

El criterio para la selección de las plantaciones fue una combinación de la edad y la variabilidad en los tipos de suelos, teniendo en cuenta principalmente la salinidad y las características propias de los rodales. Al momento de la plantación de estos rodales no se contaba con material genético mejorado, por lo cual se empleó germoplasma de origen local proveniente en su totalidad de áreas de colecta de semilla. Las intervenciones silvícolas realizadas comprenden 2 a 3 podas de conducción en los primeros años, un riego anual durante los primeros años, desmalezados ocasionales y en algunos casos tratamiento de raleo. El área de estudio en general se caracteriza por la presencia de la napa freática entre los 2m y 5m de profundidad aproximadamente.

2.2 Parámetros nutricionales de frutos

La metodología utilizada para medir la calidad de frutos se basó en la cosecha de 2 a 3kg de vainas en condiciones de madurez plena, en el mes de enero (estación estival), provenientes del ciclo 2015-2016 y cosechadas en árboles pertenecientes a parcelas donde preliminarmente se determinaron los árboles dominantes que serían los que definan la calidad de sitio para la especie.

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, etiquetadas y conservadas en frio para su posterior procesamiento. Para la evaluación de la calidad nutritiva se analizó el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas, fibras totales e hidratos de carbono, expresados en porcentajes. La humedad

y los contenidos de cenizas y lípidos se evaluaron conforme a las técnicas oficiales 27.3.06, 32.10.5 y 32.1.14 de la Association of Oficial Analytical Chemists (AOAC, 1995), respectivamente, mientras que los contenidos de FDT y proteínas se determinaron por los métodos descriptos por Prosky y Lee (1996) y Hach et al. (1987) con un factor de conversión de nitrógeno de 6,25. El contenido de hidratos de carbono (HC) se calculó por diferencia (HC = 100 – proteínas – lípidos – cenizas – FDT). Los análisis se llevaron a cabo en Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

2.3 Calidad de sitio

En las ciencias forestales el término calidad del sitio se utiliza para designar la influencia del ambiente sobre la producción de un servicio ecosistémico del bosque, ya sea un servicio de provisión (madera, forraje, frutos), de regulación (del agua, y protección del suelo), de apoyo (conservación de la vida silvestre que los habita y la biodiversidad,) y cultural (valoración estética, recreación) (Schlatter y Gerding, 2014). La calidad de sitio es la respuesta en el desarrollo de una determinada especie a la totalidad de las condiciones ambientales existentes en un determinado lugar (Prodan, 1997). La altura de la masa forestal es un indicador del potencial de crecimiento de la misma en un sitio. Para la valoración de la calidad de sitio en rodales coetáneos se usan habitualmente los métodos indirectos, que usan variables de fácil medición relacionadas con la productividad de un rodal. Este método usa la altura dominante (Hd), ya que es la variable capaz de vincularse para predecir la cantidad de madera a producir en un sitio particular con mayor exactitud que cualquier otra variable, al ser menos influenciada por la densidad del rodal (Daniel et al., 1982; Skovsgaard y Vanclay, 2008; Fernández et al., 1994). La construcción de las curvas de

crecimiento en altura dominante, fue descripta por Senilliani et al. (2021) a partir de las cuales se pudo establecer la clase de calidad I, II y III.

2.4 Análisis de la relación entre la calidad de frutos con la calidad del sitio, edad y densidad

Para evaluar la calidad nutritiva de las vainas se obtuvieron valores promedios a partir de estadística descriptiva de cada uno de los parámetros: humedad, proteínas, lípidos, cenizas y fibra dietaría total. Posteriormente se relacionaron los mismos en función de las clases de calidad de sitio determinadas previamente y algunas variables propias del rodal, entre ellas, densidad y edad de cosecha. Mediante el uso de análisis multivariado se correlacionaron dichas características. A modo de análisis exploratorio a través de análisis discriminante y posteriormente análisis de varianza multivariado se compararon los resultados entre clases de calidad. Se determinaron las principales correlaciones entre variables que permitieran definir si la capacidad productiva de un sitio tendría influencia en la calidad nutricional de las vainas.

3. Resultados

3.1 Parámetros nutricionales de frutos

En la tabla 1 se presentan los valores medios de los macronutrientes sobre base seca (b.s.) determinados en las vainas de *Neltuma alba*. Los frutos exhibieron un alto contenido de hidratos de carbono no fibrosos, dentro de los rangos (57 a 76 g/100 g b.s.) informados por Prokopiuk (2000), González (2008), Macías et al. (2013) y Villarreal et al. (2017) y mayores a los reportados por Sciamaro (2015) como azúcares para di-

ferentes regiones de Santiago del Estero. En coincidencia con Sciammaro (2015), la variación en contenidos de carbohidratos puede deberse a variaciones climáticas entre los años de cosecha. El periodo de formación de las vainas es dependiente del clima, alta radiación solar y disponibilidad de humedad edáfica influyendo en una mayor o menor generación de compuestos fotoasimilados los que se translocarían a los frutos almacenándose en forma de sacarosa.

Macronutriente	Media (g/100g b.s.)	D.E.	Mín (g/100g b.s.)	Máx (g(100g b.s.)
Cenizas	3,45	0,68	2,10	4,82
Lípidos	1,72	0,38	1,03	2,61
Proteínas	6,91	1,70	4,21	10,37
FDT	23,12	1,68	20,05	25,45
Carbohidratos[1]	64,80	1,46	62,12	66,44

Valores medios(n=3). D.E.: Desviación estándar. Min. Valores mínimos. Max. Valores máximos. FDT: fibra dietaria total.1 Carbohidratos = 100 – (cenizas+lípidos+proteínas+FDT)

Tabla 1. Composición química de frutos de Neltuma alba en plantaciones del área de riego de Santiago del Estero, Argentina

El segundo macronutriente mayoritario fue la FDT (23,12 g/100g b.s.), contenidos dentro del rango (13 a 35 g/100 g b.s.) informado por Boeri et al. (2017) y Villarreal et al. (2017). Este componente es importante para su uso en la alimentación humana, dado que disminuye la absorción de colesterol y glucosa, reduce la reabsorción de ácidos biliares a nivel del intestino delgado y aumenta la absorción de agua, por lo que se favorece el incremento del volumen de las heces y la disminución del tiempo de tránsito intestinal (Farag et al., 2020; Stephen

et al., 2017). Asimismo, existen evidencias experimentales que su consumo disminuye la proliferación de células tumorales a nivel del colon e intestino grueso (Vanegas Moreno et al., 2020). Estos resultados permiten afirmar que puede emplearse las harinas de Neltuma alba como ingrediente funcional y/o para enriquecer productos panificados y horneados, pudiendo su agregado proporcionar los 3g de fibra/100g de alimento recomendados como ingesta diaria por el Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo (2006). Asimismo, los altos contenidos de FDT convierten a los frutos en un alimento apto para dietas alimentarias destinadas a animales con alta y media demanda de fibras.

El contenido de proteínas en las vainas completas de algarroba fue más alto que el informado por Villarreal et al. (2017) y menor al reportado Sciamaro (9,2g /100g), estos valores se corresponden con los que se obtienen cuando se muelen los frutos con sus semillas, las cuales presentan la mayor concentración de proteínas. Los valores reportados de proteína se ubican en el valor umbral de 8% considerado adecuado para la dieta de bovinos y equinos (Meglioli, 2009). Por su parte el contenido de lípidos representa valores aceptables para consumo humano, ya que un alto contenido de lípidos en las harinas puede afectar la calidad y estabilidad de las mismas durante el almacenamiento y provocar la rancidez del producto (Carrillo Inungaray et al., 2013).

En coincidencia con Boeri et al. (2017), el contenido de cenizas totales cuantificadas en este trabajo (3,45 $\pm$ 0,68 g/100g b.s.) representa casi el doble de las cantidades establecidas para harinas convencionales como las de trigo integral, de maíz y de sorgo (1,7%; 1,1% y 2,1 %, respectivamente) (Surco Almendras y Alvarado, 2010) de lo cual se infiere que el aporte de minerales de harinas de Neltuma alba es mayor a las convencionales. Existen estudios que evalúan la calidad nutricional de vainas enteras, harinas y semillas de diversas especies de Prosopis, así

Boeri et al. (2017) cita estudios sobre Prosopis alpataco en la Patagonia donde describe una composición centesimal similar a P. alba, a excepción de los contenidos superiores de proteínas y lípidos (10,2 y 3,2 g/100 g) en el primero.

3.2 Influencia de las condiciones del sitio, edad y densidad en la calidad de frutos

Se establecieron 3 clases de calidad de sitio (Senilliani, 2021) con rangos de Hd definidos de la siguiente forma: Clase I, correspondiente a una calidad de sitio superior con un rango de $11,2 \geq Hd \geq 9,2$; Clase II, correspondiente a una calidad de sitio intermedia con $9,2 > Hd \geq 7,2$; y Clase III, que se corresponde con una calidad de sitio pobre con $7,2 > Hd \geq 5,2$.

Se analizaron los parámetros del análisis proximal a modo exploratorio mediante análisis de conglomerados en relación con las clases de sitio preestablecidas (Figura 1). El criterio utilizado para trazar la línea de referencia ha sido la distancia igual al 50% de la distancia máxima, fijando un criterio de corte en 2. La mayor correlación cofenética obtenida corresponde a este análisis con un valor de 0,998.

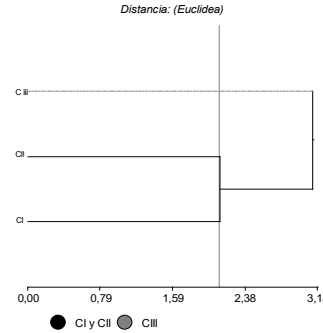


Figura 1. Dendrograma con la evaluación de calidad nutritiva de frutos a partir de los parámetros Humedad, Cenizas, Lípidos, Proteínas, FDT y Carbohidratos por clase de calidad de sitio

Los resultados muestran que la clase III, de más baja calidad de sitio, presenta características diferentes al resto en lo que respecta a los parámetros citados, por lo cual se separa del resto (Figura 1).

El análisis de la varianza multivariado sobre los parámetros citados, confirma que existe una diferencia significativa ($p < 0,0037$) entre las clases, detectando que solo la clase I se diferencia de la III en cuanto a la calidad de las vainas cosechadas. La clase II presenta similitudes con las otras clases (Tabla 2).

Clase	Proteínas	FDT	carbohidratos	Lípidos
I	7,01	22,98	65,31	1,56 A
II	6,97	22,85	64,88	1,73 A B
III	7,00	23,47	63,63	2,04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 2. Análisis de varianza (Wilks) y prueba de Hotelling entre macronutrientes y clases de sitio

Las vainas cosechadas en los rodales de más baja calidad de sitio tienen menor contenido de carbohidratos no fibrosos (mayoritariamente azucares) que los demás, y mayor porcentaje de lípidos y fibras. Asimismo, los valores de proteínas no muestran diferencias por clase de sitio. Por otro lado, si bien el análisis muestra diferencias de la calidad de vainas en relación a la calidad de sitio, se ha considerado de importancia incorporar otras variables al estudio que pudieran explicar mejor la variabilidad de los datos. Es el caso de la edad al momento de la cosecha y la densidad del rodal, variables que podrían influir en la respuesta junto al IS. El análisis de la calidad de vainas con la edad registra diferencias altamente significativas entre edades ($p < 0,0001$), mostrando una tendencia a encontrar mayores concentraciones de carbohidratos, FDT y menor proteína en rodales de mayor edad (15 y 17 años) (Tabla 3).

Edades	Lípidos	Proteínas	FDT	Carbohidratos
8	1,58	8,29	21,77	64,83 ABC
9	1,64	7,96	21,13	64,45 ABC
10	2,03	8,00	23,00	63,17 B
14	1,81	7,42	22,59	64,75 A
15	1,40	5,06	24,17	65,85 C
17	1,49	5,79	23,67	66,09 C

Tabla 3. Medias ajustadas a través de un análisis de la varianza multivariado para comparar la edad de cosecha de los rodales con la calidad de vainas.

Si bien el análisis muestra mayores valores para carbohidratos no fibrosos y FDT (de 1% a 3%), estos valores no representarían cantidades significativas a los fines de un uso potencial en la alimentación humana, en relación al rango de variación documentado de 35% a 67% en azucares y 12% a 22% en FDT (Boeri et al, 2017). Los valores reducidos de proteínas (2% a 3 % menos) para los rodales más adultos serían una limitante en el nivel proteico en el uso para forraje considerando el valor umbral de 8% que se reporta como adecuado para la dieta de bovinos y equinos (Meglioli, 2009).

Al relacionar la calidad de vainas con las densidades en los rodales, vemos que no existen diferencias significativas en la calidad de los frutos entre las densidades testeadas (Tabla 4), sin embargo es necesario resaltar que no se cuenta con observaciones en densidades extremas. Es posible además que la falta de diferencias en la calidad de los frutos, principalmente carbohidratos, entre rodales sea una consecuencia de la falta de manejo oportuno de podas y raleos, considerando que en la mayoría de los casos los rodales han alcanzado la espesura

completa. Estudios previos coinciden con este enfoque, demostrando que masas más abiertas ya sea por baja densidad o podas presentan mayores valores de carbohidratos (Corona-Castuera, 2000), permitiendo la entrada de mayor radiación solar al rodal, lo que favorecería a una mejor maduración de los frutos.

Densidades	Proteínas	FDT	Carbohidratos	Lípidos
416	6,5	22,78	65,20	1,40 AB
500	5,94	25,00	64,33	1,03 AB
555	7,52	22,49	65,43	1,88 A
625	7,47	22,78	64,13	1,60 B
666	5,35	23,93	65,76	1,84 AB

Tabla 4. Medias ajustadas a través de un análisis de la varianza multivariado para comparar las densidades de los rodales con la calidad de vainas

En concordancia con la edad de cosecha, la densidad no muestra una influencia determinante en la calidad de las vainas.

La calidad de sitio decrece principalmente ante concentraciones altas de cationes solubles principalmente de sodio, que a partir de un umbral dicha concentración genera stress salino y disminución del crecimiento. Con relación a la calidad de vainas tienden a presentan menor contenido de carbohidratos no fibrosos. Según Meloni et al. (2004), las sales presentes en la solución del suelo pueden inhibir el crecimiento vegetal mediante dos efectos: a) disminución del potencial hídrico del suelo, lo que dificulta la absorción de agua, y por ende la tasa de crecimiento (efecto osmótico); y b) si un exceso de sales ingresa a la corriente transpiratoria, éstas pueden llegar a las hojas y producir alteraciones en el metabolismo (efecto de toxicidad) (Greenway y Munns, 1980).

Según Meloni et al. (2004) las áreas de menor calidad de si-

tio, estarían bajo un efecto osmótico que altera el crecimiento. Si bien los procesos de conformación de las vainas son dependientes del clima y alta radiación solar, la limitante en la disponibilidad de humedad puede ser un factor de importancia que posibilite una menor generación de compuestos fotoasimilados los que se translocarían pobremente a los frutos almacenándose en forma de sacarosa (Sciammaro, 2015). Como resultado se tendrían áreas de baja calidad asociadas a bajo contenido de carbohidratos en vainas. Sin embargo, en los estudios (Kramer y Kozlowski, 1979; Oduol et al.,1986) se llega a resultados inversos en cuanto al contenidos de azucares en vainas. En efecto, en condiciones de menor humedad en el suelo la concentración de azucares en frutos es mayor, atribuyéndose a una acumulación de carbohidratos en aquellas plantas con mayor grado de estrés hídrico. Estos resultados representan tendencias que pueden ser útiles para el manejo de rodales con fines de producción de frutos.

4. Conclusiones

La calidad nutritiva de las vainas de Neltuma alba está influenciada por las calidades de sitio más extremas (CI y CIII). Las vainas cosechadas en los rodales de más baja calidad (Calidad III) tienen menor contenido de carbohidratos no fibrosos, fundamentalmente azucares, y mayor porcentaje de lípidos que el sitio de mayor calidad (Calidad I). La edad de los árboles y la densidad no resultan ser una influencia determinante en la calidad nutricional de las vainas en el área de estudio, sin embargo, se recomienda profundizar el estudio hacia otros sitios y a una escala temporal.

Referencias

Boeri, P., Piñuel, L., Sharry, S. y Barrio, D. (2017). *Caracterización nutricional de la harinaintegral de algarroba (Prosopis alpataco) de la Norpatagonia Argentina*. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 116 (1): 129-140.

Carrillo Inungaray, M. y Reyes Munguía, A. (2013). *Vida útil de los alimentos Lifetime food2*, (3) Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y AgropecuariasUniversidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5063620.pdf

Choge, S., Pasiecznik, N., Harvey, M., Wright, J., Awan, S. y Harris, P. (2007). *Prosopispods as human food, with special reference to Kenya#*. Recuperado de http://www.wrc.org.za.

Cisneros, A y Moglia, J. (2017). *Prosopis alba, alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas*. En: Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. Ecoanatomíay biodiversidad. Una mirada propositiva Parte III Propuestas productivas.

Corona-Castuera, F., Gómez-Lorence, F., y Ramos-Ramírez, E. G., (2000). *Análisis químicos proximales de la vaina de mezquite (Prosopis torreyana) en árbolespodados y no podados en diferentes etapas de fructificación*. Revista Chapingo SerieZonas Áridas, I (1) 21-28. http://dx.doi.org/0000

Daniels, T., Helms, J. y Baker, F. (1982). Principios de Silvicultura. México, MacGraw Hill.Davel, M. y Ortega, A. (2003). *Estimación del Índice de Sitio para Pino Oregón a partir de variables ambientales en la Patagonia Andina Argentina*. Bosque 24 (1), 55-69, DOI: 10.4067/S0717-92002003000100005

Escudero Álvarez, E. y González Sánchez. P. (2006). *La fibra dietética*. Nutr. Hosp. 21(Supl. 2) 61-72. Recuperado de http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf

Ewens, M. y Felker, P. (2010). *A comparison of pod production y insect ratings of 12elite Prosopis alba clones in a 5-year semi-arid Argentine field trial.* Forest Ecologyand Management 260 (3), 378–383. DOI: 10.1016 / j.foreco.2010.04.030

Farag, M. A., Abdelwareth, A., Sallam, I. E., Shorbagi, M., Jehmlich,

N., Fritz, K., Rollekampczyk, U., Ehrlich, A., Wessjohann, L. A., & Bergen, M. Von. (2020). *Metabolomics reveals impact of seven functional foods on metabolic pathways in a gut microbiota model.* Journal of Advanced Research, 1–45.

Fernández, R.; Crechi, E. y Friedl, R., (1994). Evaluación del comportamiento de la altura dominante como medida de la calidad de sitio para Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. Interciencia 19 (6), 343-346. Recuperado de: http://www.interciencia.org.ve.

Freyre, M., Astrada, E., Blasco, C., Baigorria, C., Rozycki, V. y Bernardi, C. (2003). *Valoresnutricionales de frutos de vinal (Prosopis ruscifolia): consumo humano y animal CYTA.* Journal of Food, 4 (1), 41-46, DOI: 10.1080/11358120309487617.

Giménez, A. M., Ríos, N., Moglia, J. y López, C. (1998). *Leño y corteza de Prosopis albaGriseb., algarrobo blanco, Mimosaceae, en relación con algunas magnitudes dendrométricas*. Bosque 19(2): 53-62.

Giménez, A. M., Ríos, N., Moglia, J.G., Hernández. P., y Bravo, S. (2001). *Estudio demagnitudes Dendrométricas en función de la edad en Prosopis alba Griseb.,algarrobo blanco, Mimosaceae*. Forest. Venez. 45 (2), 175-183.

González, A. 2008. *Caracterización química de la harina del fruto de Prosopis spp. procedente de Bolivia y Brasil*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. 58 .

Greenway, H. y Munns, R. (1980). *Mechanisms of salt tolerance in Nonhalophytes.* AnnuRev. Plant Physiol. 31:149–190, DOI: 10.1146/annurev.pp.31.060180.001053

Habit, M., Contreras, D. y González, R. H. (1981). *Prosopis tamarugo: arbustos forrajeros para zonas áridas.* Estudio FAO. Producción y Protección vegetal 25, 143. Recuperado de http://www.fao.org/3/AD318S/AD318S00.htm

Hach, C.C., Bowden, B.K., Kopelove, A.B. y Brayton, S. V. (1987). *More powerfulperoxide Kjeldalh digestion method*. Journal of Association of Analitical Chemist.

Juárez de Galindez, M., Giménez, A., Ríos, N. y Balzarini, M. (2005). *Modelación decrecimiento en Prosopis alba Griseb emplean-*

do dos modelos biológicos. Revista Quebracho 12, 34-42.

Juárez de Galindez, M., Giménez, A. M., Ríos, N. y Balzarini, M. (2008). D*eterminación de la edad de aprovechamiento de individuos de Prosopis alba mediante un modelologístico de intercepto aleatorio para incrementos radiales.* INFOR, Chile. Recuperado de https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/18818

Lescano, N., Costa Macías, K, Villarreal, M. (2021) *Frutos autóctonos subutilzados: potencial fuente de nutrientes, aditivos alimentarios y sustancias promotoras de la salud*. En Aportes de la FAyA para el desarrollo. Tomo 1, 281-294. ISBN 978-987-4098-73-3.

Macías, S., Binaghi, M.J., Zuleta, A., Ronayne de Ferrer, P., Costa, K., Generoso, S. (2013). *Desarrollo de galletas con sustitución parcial de harina de trigo con harina de algarroba (Prosopis alba) y avenapara planes sociale*s. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 4, 7.

Meglioli, P. A. (2009). *Parámetros morfológicos y digestibilidad del fruto Lámar (Prosopisalpataco var.alpataco Philippi) y su importancia como recurso alimenticio*. Tesis de grado. Licenciatura en Biología-Orientación en Ecología. Facultad de CienciasExactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.

Meloni, D., Gulotta, M., Martínez, C. y Oliva, M. (2004). *The effects of salt stress on growth,nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in Prosopis alba Braz.J.* Plant Physiol. 16 (1), 39-46, DOI: 10.1590/S1677-04202004000100006.

Oduol, P., Felker, P., Craig, R. y Mckinley, C. M. (1986). *Variation among Selected Prosopis Families for Pod Sugar and Pod Protein Contents*. Forest Ecology and Management, 16 423-431. Recuperado de http://www.bashanfoundation.org/contributions/Felker-P/felkerpodsugar.pdf

Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemists AOAC. (1995). (16th ed.). Arlingtong, Virginia, USA.

Prodan, M., Peters, R., Cox, F. y Real, P. (1997). *Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible*. Proyecto IICA/GTZ sobre agricultura, recursosnaturales y desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 561 p.

Prokopiuk, D., Cruz, G., Grados, N., Garro, O. y Chiralt A. (2000). *Estudio comparativo entre frutos de Prosopis alba y Prosopis pallida*. Multequina 9, 35- 45. Recuperadode https://www.academia.edu/9593310/estudio_comparativo_entre_frutos_de_prosopis_alba_y_prosopis_pallida_comparative_study_among_the_fruits_of_prosopis_alba_and_prosopis_pallida

Red Agro forestal REDAF, (1999). *Estudio Integral de la Región del Parque Chaqueño*. Informe General Ambiental Red Agroforestal Chaco Argentina. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas Préstamo BIRF Nº 4085.

Sarmiento, G. (1963). *Las comunidades vegetales del Chaco semiárido santiagueño*. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires.

Scambato, A. (2013). *Influencia de la simbiosis con micorrizas arbusculares y rizobiossobre el crecimiento y la tolerancia a estrès salino en especies forestales de Prosopis*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires.

Schlatter, J. y Gerding, V. (2014). **Sitio Forestal**. En Donoso C., M.E González, A. Lara. Eds. Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y la conservación de los bosquesnativos de Chile. Valdivia, Chile Ediciones UACh p. 309-319.

Sciammaro, L., Ferrero, C. y Puppo, M. (2015). *Chemical and nutritional properties ofdifferent fractions of Prosopis alba pods and seeds.* Food Measure DOI: 10.1007/s11694-015-9282-z

Senilliani, M. G., Bruno, C. y Brassiolo, M. (2021). *Curvas de altura dominante e índice de sitio en plantaciones de Prosopis alba*. Agriscientia, 38 (2): 13-25 DOI: 0.31047/1668.298x.v38.n2.30940

Silva M.P., Martínez, M. J., Coirini, R., Brunetti, M. A., Balzarini, M. y Karlin, U. (2000). *Valoración nutritiva del fruto del algarro-*

bo blanco (prosopis chilensis) bajo distintostipos de almacenamiento. Multequina 9, 65-74. Recuperado de https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal//multequina/indice/pdf/09/9_7-Silva.pdf

Skovsgaard, J. y Vanclay, J. (2008). *Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands*. Forestry, Vol. 81, No. 1, 2008, DOI:10.1093/forestry/cpm041

Stephen, A. M., Champ, M. M., Cloran, S. J., Fleith, M., Lieshout, L. Van, Mejborn, H., & Burley, V. J. (2017). D*ietary fi bre in Europe: current state of knowledge on de fi nitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health Nutrition Research Reviews.* Nutrition Research, 1–42.

Surco Almendras, J.C. y Alvarado Kirigin, J.A. (2010). *Harinas Compuestas de Sorgo-Trigopara Panificación*. Rev. Bol. Quim. 27 (1) 19-28 Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602010000100004

Vanegas Moreno, D., Ramirez López, L., Limas Solano, L. (2020). *Factores asociados al cáncer colorectal*. Rev. Med. Risaralda. 26 (1), 68-77.

Villarreal, M., Lescano, N., Costa Macías, K. (2017). *El desafío de incorporar frutos del bosque semiárido a argentino a sistemas productivos eficientes.* En Aportes de la FAyA para el desarrollo agropecuario y agroindustrial del NOA, Tomo 1, 15 a 30, ISBN 978-987-1676-67-5.

LA SILVICULTURA COMO HERRAMIENTA PARA FORTALECER LA TOLERANCIA AL ESTRÉS EN PLANTAS DE VIVERO Y PLANTACIÓN DE *NELTUMA ALBA*

María G. Senilliani[1], Analia del V. Guzmán[1], Miguel M. Brassiolo[1], Ana C. Santa-Cruz-Garcia[2], Adriana T. Gómez[3], Mauricio Ewens[4]

Resumen.

La tolerancia al estrés en la fase de endurecimiento de plantas destinadas a forestación en regiones semiáridas, es un aspecto relacionado con la inducción al estrés hídrico, donde la silvicultura puede hacer uso de diferentes técnicas que permitan fortalecer la tolerancia de la planta. Se analizaron las fases en

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales-Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Cátedra de Silvicultura
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustrias Instituto de Ciencias Químicas y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
3 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
4 Estación experimental Fernández, Universidad Católica de Santiago del Estero (UCSE)

vivero determinando la duración y particularidades de cada una de ellas y el fortalecimiento de la planta ante el estrés. El uso de bioinsumos tuvo como objetivo mejorar la tolerancia al estrés abiótico. Se determinó que una mayor duración en la fase de endurecimiento en vivero influye positivamente en la calidad morfológica de la planta. El uso de bioinsumos demostró que estos mejoran la tolerancia al estrés de las plantas en el vivero y el campo. Entre los fitoextractos probados, provenientes de Larrea divaricata, Schinopsis lorentzii y Aloe vera e Ilex paraguariensis, los mejores resultados fueron obtenidos por de L. divaricata, e I. paraguariensis. Sin embargo, se destacó el extracto de L. divaricata en la concentración del 3% m/v, con efecto positivo sobre parámetros bioquímicos, fisiológicos y morfológicos de los individuos evaluados.

Palabras clave: Algarrobo blanco, estrés hídrico, silvicultura, bioinsumos

1. Introducción

La silvicultura, entre sus particularidades, hace referencia a las técnicas que permiten la repoblación forestal ya que promueve la regeneración arbórea alterando las variables abióticas y bióticas que la afectan, o bien a través de técnicas eficientes de cultivo y plantación (Bannister et al., 2016). De una o de otra forma, las plantas que serán parte de la repoblación a lograr requieren fortalecer su tolerancia a cualquier tipo de estrés. En la Región del Chaco Semiárido, uno de los factores limitantes es el agua disponible además de la salinidad de los suelos, que en ciertos sectores constituye una de las causas de degradación, siendo uno de los condicionantes al uso de la tierra (Angueira, 1986).

La provincia de Santiago del Estero cuenta con ambientes

salinos que responden a estos procesos, generando ecosistemas degradados desde el punto de vista productivo. Según el Ordenamiento Territorial de la provincia, propuesto por la Ley N° 26.331 (Ley Provincial N° 6.942), se registran regiones con aptitud forestal en la categoría III de conservación de los bosques nativos, siendo aproximadamente 280.000 ha de áreas de bosques a restaurar, que se corresponden principalmente con los bosques bajo el área de riego de los ríos Dulce y Salado (Zemán, 2018), áreas en su mayoría desmontadas para realizar cultivos, que se han salinizando progresivamente, originando áreas arbustizadas.

Hasta el momento, la selección de especies promueve el uso de *Neltuma alba* en la repoblación forestal de estas áreas, una especie presente en los bosques del Chaco Semiárido, en distintas condiciones agroecológicas y que por sus condiciones de especie freatófita es encontrada en áreas de influencia de ríos (Kleimann, 2010). Dicha especie, con gran capacidad de adaptación ha demostrado cierta tolerancia a suelos salinos, lo que manifiesta su potencial en la recuperación de áreas degradadas.

En este contexto, los individuos de *N. alba* con destino a ser usados en repoblaciones en esta región, en muchas ocasiones, serán expuestos a situaciones extremas de estrés salino y/o hídrico. Por ello, se hace necesario el uso de técnicas silviculturales adecuadas para fortalecer las plantas en fase de vivero y de establecimiento a campo. El fortalecimiento y la capacidad de soportar la etapa del establecimiento a campo serán posibles en la medida que en la etapa de vivero se hayan considerado las condiciones necesarias para soportar los factores del sitio final, constituyendo esto uno de los procesos más importantes en el éxito de la repoblación (Escobar, 2012).

El crecimiento en vivero se puede describir en base a tres fases de crecimiento, que son las fases de establecimiento, de crecimiento rápido y de endurecimiento o rustificación, cada una con requerimientos y cuidados propios (Dumroese et al.,

2012). En la última fase, el principal objetivo será manipular la morfología de la planta logrando detener el crecimiento del brote y promover la formación de las yemas, fomentando al mismo tiempo el crecimiento del diámetro del tallo y las raíces para que resista el estrés de ser transportada y plantada en el campo (Dumroese et al., 2012). El endurecimiento de plantas que serán destinadas a forestación en áreas de la región semiárida argentina se relaciona con la inducción al estrés hídrico al disminuir el aporte de agua y aumentar la exposición solar, lo cual reduce el crecimiento en altura e inicia mecanismos de resistencia a condiciones de sequía (Senilliani et al., 2022; Villar Salvador et al., 2000). En consideración de la relevancia de estos aspectos y su influencia en la supervivencia de la repoblación, se trabajó con diferentes técnicas silviculturales que permitieron estudiar la dinámica de crecimiento de la planta en vivero, determinando la duración de las fases de crecimiento rápido y de rustificación que genere un crecimiento equilibrado asegurando un mejor prendimiento y crecimiento inicial.

Otro de los factores analizados fue la influencia del uso de bioinsumos en el estrés de la planta en la fase de rustificación en vivero y en fase de establecimiento a campo, con la hipótesis que estos constituyen una herramienta eficaz que potencie la resistencia al estrés hídrico y genere mejores condiciones para el crecimiento. Diferentes conceptos se manejan en el ámbito agrícola acerca de lo que se define como un bioinsumo, incluso en gran parte del mundo aún no hay una normativa o marco regulatorio en la temática, lo cierto es que la mayoría de ellos han existido en la naturaleza y han surgido de la observación empírica que hizo el hombre sobre los resultados de estos productos. Los bioinsumos pueden ser clasificados desde distintos puntos de vista. Así por ejemplo en cuanto a su origen, pueden ser bioinsumos de origen vegetal o microbianos; y en cuanto a su efecto sobre la planta, pueden ser clasificados en dos grandes grupos: biofertilizantes y bio-

pesticidas; incluyéndose en el subgrupo de los biofertilizantes a los "bioestimulantes" (Mamani de Marchese, 2018). Según du Jardin en (du Jardin, 2015), un bioestimulante vegetal es cualquier sustancia o microorganismo que es aplicado a las plantas con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, tolerancia al estrés abiótico y/o la calidad del cultivo, independientemente de su contenido de nutrientes.

El uso de bioestimulantes ha estado frecuentemente asociado con cultivos agronómicos o producción hortícola y su acción sobre las especies forestales es aún poco conocida (Ozyhar et al., 2020; du Jardín, 2015); y al igual que los extractos naturales tienen un gran potencial como bioestimulantes.

En (Santacruz-Garcia et al., 2022) los autores argumentan que se necesita más investigación sobre las especies forestales para comprender cómo estos productos podrían contribuir a una silvicultura sostenible. Tomando en consideración esta falta de conocimiento, en este trabajo se planteó como objetivo evaluar el potencial de los fitoextractos de especies vegetales nativas como bioestimulantes y su efecto en la tolerancia al estrés abiótico de plantines de *Neltuma alba*.

En relación a los aspectos de estudio citados, se fortalecieron lazos estratégicos entre instituciones nacionales y provinciales (INTA, UCSE, CONICET-FAyA-UNSE y FCF-UNSE) para la concreción de los resultados a los que abordaremos a continuación.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El proyecto en su etapa de vivero fue realizado en dos establecimientos, uno de ellos perteneciente al Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques de la Facultad de Ciencias Forestales (INSIMA), Universidad Nacional de Santiago del Estero, ubica-

do en la localidad de El Zanjón, (27°52›30.08»S, 64°14›14.97»O) Dpto. Capital, Santiago del Estero, Argentina. El segundo establecimiento perteneciente a la Estación Experimental "Fernández" (Convenio Universidad Católica de Santiago del Estero-Provincia de Santiago del Estero) Dpto. Robles, en Santiago del Estero, Argentina (–27°560 S, 65°52.50 W).

La etapa posterior, que consistió en la fase de plantación, fue realizada en tres sitios: Estación Experimental "Fernández", Campo Experimental "Ingeniero Francisco Cantos" de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Santiago del Estero, Argentina (28° 1›21.23» S, 64°14›6.98»W) y en el campo de un productor.

En tales sitios se establecieron diferentes ensayos de investigación que permitieron ir delineando algunos resultados. A continuación, se detallan los materiales y la metodología empleada en cada uno de ellos.

2.2 Métodos

Ensayo 1: Fases de crecimiento en vivero de *Neltuma alba*

Se realizó el cultivo de las plantas en umbráculo, el cual permitió el control parcial de las variables ambientales, con sistema de riego por aspersión automatizado y manejo de la intensidad de radiación con malla media sombra (50% de intercepción de la radiación). La instalación del ensayo respondió a un ciclo de producción realizado durante los meses de primavera-verano que corresponde al período adecuado para el cultivo de la especie en la provincia. Se utilizaron contenedores de tipo tronco cónico circular de 250 cm^3, con diámetro interno de 63 mm y altura 136 mm, en porta tubete A54E que cubre 205 plantas por metro cuadrado. Como sustrato se utilizó una mezcla de corteza de pino compostado y perlita, a razón de 1:1(v:v). Las características físicas del sustrato fueron: densidad de 0,24 g/cm^3; 32% v/v de porosidad de aireación; 56% v/v de porosidad de retención de agua; y 80% v/v de porosidad total.

Los valores de conductividad eléctrica y pH fueron 0,6 ds/m y 5,1, respectivamente.

En la composición del sustrato se incorporó una dosis de 2 g L-1 del fertilizante de liberación lenta Basacote Plus® 6M (16-8-12). El efecto de los diferentes tratamientos aplicados fue evaluado a partir de un diseño completamente al azar, con tres repeticiones; se determinó como unidad muestra l la bandeja con 54 plántulas. El número total de individuos fue 486.

Los tratamientos aplicados se describen en la tabla 1. Las diferentes duraciones en tiempo de cada uno de los tratamientos se determinaron en función de los requerimientos de la especie y el desarrollo observado en ciclos de producción previos, con el objetivo de evaluar la respuesta en biomasa aérea y radical.

Fases de crecimiento	Condiciones de crecimiento	Tratamientos		
		E60	E25	E15
		(días)		
Establecimiento	Permanece en umbráculo con riego por aspersión automatizado, frecuencia de tres riegos diarios con duración de 15 minutos	15	15	15
Crecimiento rápido	Permanece en umbráculo hasta Ht promedio de 25 cm y un DAC mínimo de 3mm con riego por aspersión automatizado, frecuencia de tres riegos diarios con duración de 10 minutos	30	65	75
Endurecimiento o Rustificación	Permanece a pleno sol con riego por aspersión automatizado, frecuencia de tres riegos diarios con duración de cinco minutos	60	25	15

Fuente: (Senilliani, Guzmán, Brassiolo, Santa-Cruz-Garcia, Gómez, Ewens, 2023)

Tabla 1. Descripción de las condiciones de crecimiento y duración en días en cada fase de crecimiento para cada tratamiento establecido.

Se evaluaron los atributos morfológicos de calidad en plantas, entre ellos, diámetro a la altura de cuello (DAC), medición rea-

lizada con calibre vernier registrada en mm; altura total (Ht), medición realizada con reglas de precisión en cm, tomada desde el cuello de la raíz hasta el ápice; peso seco total obtenido por sumatoria de los pesos secos radical y aéreo (PST), radical (PSR) y aéreo (PSA) expresados en gramos. Estos parámetros morfológicos se registraron al final del ciclo, correspondiente a los 105 días desde la siembra.

Ensayo 2: Efecto del uso de bioinsumos en vivero

El material vegetal utilizado para preparar los extractos provenía de hojas de *Larrea divaricata*, *Schinopsis lorentzii* y A*loe vera* e *Ilex paraguariensis*. Las tres primeras especies fueron colectadas en Santiago del Estero, Argentina (28°03′ S, 64°15′ E). *Ilex paraguariensis* se obtuvo comercialmente del mercado local. Para la preparación de extractos se siguió la metodología descrita en (Santacruz-Garcia et al., 2022).

Durante la fase de endurecimiento o rustificación las plántulas fueron asperjadas semanalmente con los bioinsumos, considerando como tratamientos a cada uno de los extractos vegetales nombrados más un tratamiento control donde las plantas fueron rociadas con agua (el solvente utilizado por los bioestimulantes). El asperjado foliar se realizó a los 7 y 14 días después del inicio de la fase de endurecimiento o rustificación. Para evaluar el grado de estrés en las plantas se monitoreó la condición de estrés oxidativo, es decir, la oxidación secundaria de lípidos como un indicador de daño oxidativo, la cual se mide a los 21 días de iniciada la fase de endurecimiento o rustificación, a partir de la concentración de malondialdehído (MDA), un biomarcador de estrés oxidativo (Santacruz-Garcia et al., 2022).

Las plántulas se produjeron en tubetes con celdas individuales de un volumen de 125 cm^3 (forma cónica, diámetro de 40 mm y altura de 150 mm). El sustrato del contenedor se preparó con una mezcla de corteza de pino y vermiculita 1:1 (v: v) y 2 kg/m^3 de fertilizante NPK de liberación lenta. Las

características físicas del sustrato fueron: (i) densidad, 0,24 g/cm^3; (ii) aireación porosidad, 32 % v/v; (iii) porosidad de retención de agua, 56 % v/v; y (iv) totales porosidad, 80 % v/v. Los valores de conductividad eléctrica (EC) y pH fueron 0,6 ds/m y 4,1, respectivamente. Además, el pH del agua de riego fue 8.3, y EC fue 1.68 ds/m.

Los efectos de los bioestimulantes en las plantas se analizaron midiendo descriptores morfológicos, fisiológicos y bioquímicos. Se seleccionaron diez plantas por tratamiento. Para cada planta viva, se registró: (i) el diámetro del cuello del tallo; (ii) la altura del brote; (iii) número de raquis; (iv) índice de esbeltez; y (v) grado de daño, según protocolos estándar. El índice de esbeltez se determinó teniendo en cuenta la relación diámetro y altura del brote. El grado de daño fue determinado categóricamente según una escala de 1 (sin daños) a 3 (daño total). Para la evaluación de la biomasa, cada planta se dividió en brotes y raíces. Las plantas fueron removidas cuidadosamente del suelo y ponderado inmediatamente. El material se secó en estufa a 72 ◦C ($\pm$5◦C) durante 48 h para determinar el peso seco. Los datos fueron procesados y se registró el peso seco aéreo, peso seco de raíz, peso seco total. Entre los parámetros bioquímicos, se evaluó el contenido de clorofilas, carotenoides y la concentración del biomarcador de estrés oxidativo (MDA), en lo que refiere a parámetros fisiológicos, el área foliar y área foliar específica.

3. Resultados

1. Fases de crecimiento en vivero de *Neltuma alba*

Se registraron diferencias significativas en DAC a favor del E60 y E25 (valor de F 7,3 $p < 0,003$) con valores de 3,11 a 3,5 mm con respecto al E15 con 2,5 mm, sin embargo, no hay diferencias entre E60 y E25. La altura no muestra diferencias

significativas entre tratamientos (valor de F 0,2 p < 0,82), con un promedio entre 29 a 31 cm (Tabla 2). Con respecto a la distribución de la biomasa se evidencia que el E60 presenta el mayor peso seco aéreo (PSA) con respecto a los demás tratamientos (Figura 1), con diferencias significativas (valor de F 7,5 p < 0,002). El peso seco radicular (PSR) también registra un mayor valor para el E60, con marcada diferencia entre los tratamientos (valor de F 20,01 p < 0,0001) (Tabla 2).

Al analizar la representación porcentual del PSA con respecto al PSR por tratamiento, se observa como el E60 y E25 presentan una distribución de la biomasa con menores valores de PSA pero mayor desarrollo de raíces (PSR) con respecto a E15 lo que se podría atribuir a la mayor duración en la fase de endurecimiento en dichos tratamientos. Este comportamiento podría resultar de un leve estrés hídrico durante el período de elongación rápida del tallo que puede reducir la biomasa aérea sin afectar negativamente la biomasa radical en coincidencia con lo expresado por Mexal en (Mexal, 2012).

Tratamientos			
Parámetros morfológicos e índices	**E60**	**E25**	**E15**
DAC (mm)	3,56±0,18A	3,11±0,18A	2,56±0,18b
Altura (cm)	31,61 ±2,7A	30,83 ±2,7A	29,22 ±2,7A
PSA (g)	1,45± 0,15A	0,86 ± 0,15b	0,66 ± 0,15 b
PSR (g)	1,06 ± 0,07A	0,66 ± 0,07 b	0,42± 0,07 c

Tratamientos			
Parámetros morfológicos e índices	E60	E25	E15
PSA/PSR	1,3 ± 0,2 a	1,3 ± 0,2 a	1,6 ± 0,2 a
IE	8,8±0,7b	9,9±0,7ab	11,5±0,7ª
IC	0,25 ± 0,01 a	0,13 ± 0,01 b	0,09 ± 0,01 c

Fuente: (Senilliani, Guzmán, Brassiolo, Santa-Cruz-Garcia, Gómez, Ewens, 2023)

Tabla 2. Parámetros e índices morfológicos de plántulas de algarrobo blanco, 105 días posteriores a la siembra para cada uno de los tratamientos utilizados.

Los valores en la tabla expresan la media ± error estándar. Letras iguales para cada fila simbolizan que las medias no son significativamente diferentes (p > 0,05) en test DGC.DAC = diámetro a la altura de cuello, PSA= peso seco aéreo, PSR = peso seco radicular, PSA/PSR = peso seco aéreo/radical, IE = índice de esbeltez e IC = Índice de Dickson.



Figura 1. Plantas de Neltuma alba de cada uno de los tratamientos. D: tratamiento E60, E: tratamiento E25 y F: tratamiento E15.

2. Efecto del uso de bioinsumos en vivero

Los resultados de este ensayo, con las 4 especies vegetales evaluadas como bioestimulantes, indicaron que *A. vera* y *S. lorentzii* presentaron un efecto menor sobre la mejora de la tolerancia al estrés abiótico de plantines de *Neltuma alba* que los demás fitoextractos evaluados (*L. divaricata* e *Ilex paraguariensis*), razón por la cual se prosiguió la investigación con *Larrea divaricata* e *Ilex paraguariensis* evaluando diferentes dosis ya que su potencial como bioestimulante se había confirmado.

En una segunda etapa, fueron considerados los resultados obtenidos en la anterior etapa. Los bioestimulantes que mejores resultados mostraron, *I. paraguariensis* y *L. divaricata* fueron seleccionados y se evaluó su efecto dependiente de la dosis. Las plántulas fueron asperjadas con *Larrea divaricata* 1%, 2% y 3% m/v e *Ilex paraguariensis* a iguales dosis, con mediciones de los parámetros morfológicos y fisiológicos a los 21 días del inicio de la fase de rustificación.

Considerando que las plántulas exhiben una acumulación considerable de un biomarcador de estrés oxidativo (MDA) a los 21 días de la fase de rustificación, se sugiere que la aplicación foliar de bioestimulantes para la producción de *N. alba* sea realizada antes de esa fecha, ya que dichas plantas posterior a los 21 días estarían ante condiciones de estrés oxidativo que podría causar daño a diferentes procesos fisiológicos (Santacruz-Garcia et al., 2022).



Figura 2. Plantas de *N. alba* con aplicación de fitoextracto de *L. divaricata* al 3%, dentro del umbráculo (izquierda) y fuera del mismo (derecha).

La mejor respuesta como bioestimulante fue del fitoextracto L. divaricata 3%, con un efecto positivo sobre parámetros bioquímicos, fisiológicos y morfológicos. Este fitoextracto podría potenciar la protección de los pigmentos fotosintéticos y estimular la actividad de los antioxidantes celulares en condiciones de estrés abiótico. Además, las plantas mantuvieron un alto contenido de agua en respuesta al estrés. Esto sugiere que este bioestimulante mejoró la fotosíntesis de las plantas. También demostró el mejor comportamiento respecto a ciertos atributos morfológicos, estimulando el crecimiento de las plantas,

aumentando el diámetro, altura, biomasa aérea y biomasa radical. Una tendencia similar fue observada durante la fase de establecimiento en el campo (Santacruz-Garcia et al., 2022).

4. Conclusiones

Una mayor duración en la fase de endurecimiento en vivero influye positivamente en la calidad de planta de N. alba. El tratamiento con mayor duración en la fase de endurecimiento (60 días) resultó el manejo más adecuado para la especie, generando mejores atributos morfológicos, principalmente 60% a 140% más en el crecimiento de biomasa radicular y un valor del ICD 90% a 140% más alto con respecto a los demás tratamientos.

En cuanto al DAC, los mayores valores se presentan con fases de endurecimiento de 60 días y 25 días. Estos parámetros morfológicos contribuirán a mejorar el potencial de crecimiento de una planta destinada a forestación en regiones semiáridas, influyendo en la adaptación a las condiciones ambientales locales.

Respecto al uso de bioinsumos, resultados preliminares indicaron que los bioestimulantes pueden mejorar la tolerancia al estrés de las plantas en el vivero y el campo. Se demostró que los fitoextractos de Larrea divaricata e Ilex paraguariensis presentaron un mayor efecto como bioestimulantes que Aloe vera y Schinopsis lorentzii; sin embargo, encontramos que la mejor respuesta fue de L. divaricata 3%, con un efecto positivo sobre parámetros bioquímicos, fisiológicos y morfológicos.

Las aplicaciones de bioestimulantes foliares obtenidos de especies nativas pueden mejorar la tolerancia al estrés de las plántulas leñosas durante las etapas de vivero y de plantación. Estos productos pueden representar una herramienta práctica para producción y manejo sostenible de las plantaciones en la región.

Referencias

Angueira, C. (1986). *Geomorfología de la provincia de Santiago del Estero. Curso Taller Internacional "Desmonte y habilitación de tierras en zonas semiáridas"*. Santiago del Estero, Red de Cooperación Técnica en uso de Recursos Naturales-FAO 1:32-54.

Bannister R., Donoso, P., Mujica R. (2016). *La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados.* Bosque 37(2): 229-235, 2016, DOI: 10.4067/S0717-92002016000200001

Du Jardin, P. (2015). *Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation*. Sci. Hortic. (Amsterdam).196, 3–14, 38, DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

Dumroese, K., Douglas, F., Wilkinson, K. (2012). *Fases de cultivo: establecimiento y crecimiento rápido* En L. T. Contardi, H. E. Gonda, G. Tolone, & J. Salimbeni (Coords.), Producción de plantas en viveros forestales (pp. 133-140). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Escobar, R. (2012). *Fases de cultivo: endurecimiento*. En L. T. Contardi, H. E. Gonda, G. Tolone, J. Salimbeni (Coords.), Producción de plantas en viveros forestales (pp. 146-164). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Kleimann E. (2010). *Goma brea: un producto con potencial para el desarrollo de la economía regional.* Informe Reunión técnica, Universidad Nacional de Salta Fundación de Altos Estudios (FUNDALTES).

Ley provincial Nº 6.942 - *Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de la Provincia de Santiago del Estero.*

Mamani de Marchese, A., Filippone, M.P. (2018). *Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible.* Rev. Agron. Noroeste Argentino 38 (1): 9-21. ISSN 2314-369X (en línea)

Mexal, J. (2012). *Calidad de plantines: atributos morfológicos*. En L. T. Contardi, H. E. Gonda, G. Tolone, & J. Salimbeni (Coords.), Producción de plantas en viveros forestales (pp. 41-69). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Ozyhar, T., Mughini, G., Marchi, M. (2020). *Influence of biostimulant application in containerized Eucalyptus globules Labill seedlings after transplanting.* Dendrobiology 82, 17–23, DOI: 10.12657/denbio.082.003.

Santacruz-García, A., Senilliani, M., Gómez, A., Ewens, M., Yonny, M., Villalba, G. y Nazareno, M. (2022). *Biostimulants as Forest Protection Agents: Do these products have an effect against abiotic stress on a forest native species?* Forest Ecology and Management 522 (2022) 120446, DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120446

Senilliani, M. G., Guzmán, A., Alvarez, P., Brassiolo, M. (2022). *¿Una fase de endurecimiento más prolongada mejora la calidad de planta en Prosopis alba Griseb?* Madera y Bosques, 28 (1), e2812409, DO: 0.21829/myb.2022.2812409

Villar Salvador, P., Peñuelas Rubira, J., Carrasco Manzano, I. (2000). *Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de Pinus pinea*. Actas del 1er Simposio sobre el Pino Piñonero, 1, 211-218

Zeman, C., (2018). *El rol de los bosques en la lucha contra el cambio climático.* Revista del Cisen Tramas/Maepova, 6 (2), 123-136.

REEMPLAZO DE ARBUSTALES POR PASTOS NATIVOS O IMPLANTADOS: IMPACTO EN LA SALUD DEL SUELO

Juan E. Silberman[1,2], Analía L. Anriquez[2], Ruben D. Coria[3], Roberto A. Suarez[1]

Resumen.

El potencial ganadero de la provincia está amenazado por una de las problemáticas más difíciles de resolver a nivel mundial en ecosistemas áridos y semiáridos: la *arbustificación*. Investigaciones llevadas a cabo desde 2016 hasta la actualidad en la Estación Experimental INTA Santiago del Estero ponen en evidencia que la aplicación de disturbios (rolado, siembra, clausura, y fuego prescripto) con el fin de controlar las leñosas ar-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Ciencias Agropecuarias. Cátedra de Uso del Suelo. Santiago del Estero, Argentina
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento de Ciencias Biológicas. Cátedras de Ecología y Microbiología Agrícola. Santiago del Estero, Argentina
3 INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Santiago del Estero, Argentina.

bustivas e incrementar la oferta de forraje de origen herbáceo tienen un impacto positivo en la salud del suelo en términos de materia orgánica, biomasa y actividad microbiana y glomalinas del suelo.

Palabras clave: *Megathyrsus maximus*, *Cenchrus ciliaris*, Materia orgánica, Biomasa microbiana, Glomalinas

1. Introducción

Santiago del Estero es una provincia caracterizada por su clima semiárido, si bien cuenta con sistemas de riego (Río Dulce y Salado) que han permitido manejar el recurso más escaso (agua), más del 90% de las tierras se encuentran en secano. De las tierras en secano, más del 50% presentan limitaciones permanentes de tipo climática y/o suelo lo cual representa una restricción a la actividad agrícola, pero son aptas para ganadería (Tabla 1, basadas en Sfeir et al. (2017), y Boetto y Duffau (2009)).

Santiago del Estero cuenta con stock total de 1.655.702 bovinos (más del 40% del NOA) (SENASA). Esta actividad en la provincia posee un rol importante desde el punto de vista socio-económico, aunque todavía no se ha alcanzado su máximo potencial productivo (Reineri, 2022). El potencial ganadero de Santiago del Estero se encuentra limitado por diversas cuestiones, una de las más importantes es la baja oferta de forraje de origen herbáceo causado por la invasión de leñosas arbustivas (Kunst et al., 2016).

Clase	Descripción	Superficie (Has)	%
I	No presentan limitaciones a la ejecución de cultivos agrícolas ni riesgo de ocurrencia de daños que restrinjan su uso agrícola.	-	-
II	Moderadas limitaciones a la ejecución de ciertos cultivos agrícolas. Es necesaria la implementación de algunas prácticas de conservación.	12300	0,09
III	Limitaciones en grado severo para la ejecución de ciertos cultivos agrícolas. Requiere prácticas de conservación.	1.664.024	12,20
IV	Limitaciones en grado muy severo para la ejecución de cultivos agrícolas. No se recomienda su uso para varios ciclos de cultivos continuos. Suelen presentar restricciones a la labranza y requieren prácticas de conservación	2.599.677	19,07
V	Limitaciones para la labranza requerida para cultivos agrícolas u otro tipo de limitaciones que restringe la ejecución de cultivos agrícolas	5.059.376	37,11
VI	Limitaciones tan graves para la ejecución de cultivos agrícolas labrados que son recomendadas para uso ganadero preferentemente con praderas permanentes.	1.253.839	9,20

VII	Limitaciones muy graves para cultivos agrícolas. Solo se permite su utilización como campos naturales	1.686.528	12,37
VIII	Máximo grado de limitaciones o riesgo de ocurrencia de daño. No se permite el uso agropecuario.	200.636	1,47
total superficie secano		12.476.380	91,50

Tabla 1. Capacidad de uso de las tierras de secano (USDA) de la provincia de Santiago del Estero. Fuente: Boetto y Duffau (2009)

2. Invasión de arbustivas: la principal limitante para la ganadería

La invasión de arbustos en pastizales de zonas áridas y semiáridas ha suscitado una amplia atención de la investigación en todo el mundo en el contexto del manejo de sistemas ganaderos. Este fenómeno se ha observado en diversas partes del mundo incluyendo sabanas de África, pastizales áridos de Australia, pastizales secos de Estados Unidos, pastizales de Argentina (Cao et al., 2019) y pastizales (~aibales) de la región chaqueña (Morello y Adamoli 1974; Kunst et al., 2014).

Las causas de la invasión arbustiva podrían ser varias: climáticas, cambio en el régimen de fuego y sobrepastoreo. Este último parecería ser la principal causa (Van Auken, 2009). El sobrepastoreo genera mayor disponibilidad de recursos para las arbustivas ya que aumenta la disponibilidad de luz (por consumo de la biomasa aérea de los pastos). Los animales también benefician la dispersión de las leñosas arbustivas que incluso sufren un proceso de escarificación al pasar por el tracto digestivo. En consecuencia, los altos niveles de herbivoría durante un tiempo prolongado afectan la habilidad de los pastos para rebrotar (Van Auken, 2000). En este contexto, las arbustivas resultan beneficiadas al tener ma-

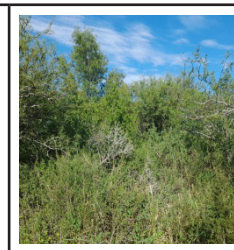
yor disponibilidad de recursos, mayor tolerancia al estrés y mayor tasa de invasión que las herbáceas (Ledesma, 2020).



Pastizal dominado por aibe (Elionorus muticus)



Pastizal en etapas tempranas de arbustificación



Comunidad dominada por leñosas arbustivas

Figura 1. Comunidades vegetales típicas de sitios bajos de Santiago del Estero (Fotos: J. Silberman)

3. Disturbios para incrementar la oferta forrajera herbácea

Para enfrentar la problemática de invasión de arbustivas, Archer et al. (2011) sugieren la remoción, reducción o manipulación de plantas no herbáceas. Una alternativa es el control químico mediante herbicidas, aunque esta tecnología no sería accesible a todo el sector productivo por cuestiones económicas y ambientales debidas a la cantidad de herbicidas que se debería aplicar. Otra alternativa sería el control mecánico mediante rolado y posterior clausura para estimular el crecimiento de las forrajeras herbáceas nativas. Aunque la clausura en la mayoría de los casos no es suficiente para incrementar la productividad de las herbáceas nativas (Cotroneo et al., 2018) porque el banco de semillas es insuficiente. En este contexto la mejor alternativa sería la combinación de tratamientos mecánicos, fuego prescripto y siembra de megatérmicas con altas tasa de crecimiento (Kunst et al., 2014) adaptadas a la región Chaco como los géneros Megathyrsus y Cenchrus (Kunst et al., 2016).

4. Impacto de los disturbios en la salud del suelo

Un suelo sano es un sistema vivo, dinámico, compuesto de minerales y materia orgánica; que a su vez contiene aire, agua y organismos. Los suelos sanos son capaces de proveer nutrientes, agua y aire para el crecimiento de las plantas. Esto es sumamente importante ya que el 95% de los alimentos que comemos provienen del suelo. Este recurso no renovable se está degradando a un ritmo acelerado por la insostenible actividad humana a tal punto que el 33% de los suelos del mundo están degradados (FAO, 2022).

A fin de garantizar la salud de los suelos para una agricultura sostenible, es necesario conocer primero su condición (FAO, 2023). Existen numerosos indicadores de salud del suelo (Figura 2), sin embargo, en esta sección nos concentramos en la materia orgánica del suelo (*por tener influencia en numerosas propiedades y funciones del suelo*) y en los indicadores bioquímicos y microbianos (*por ser capaces de detectar cambios tempranos en la salud del suelo*) (Anriquez et al., 2021).

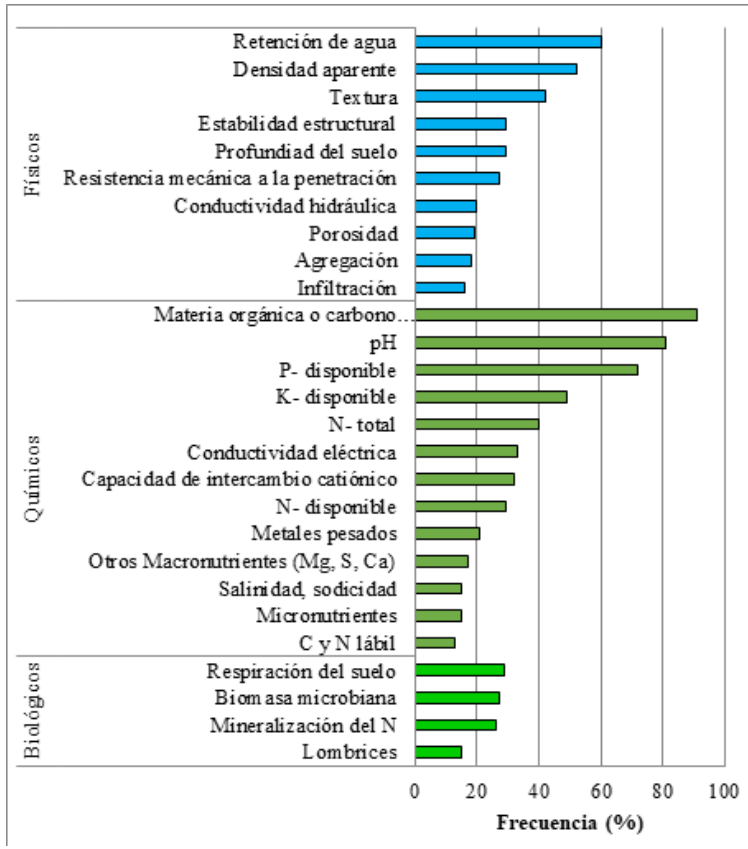


Figura 2. Frecuencia de diferentes indicadores de calidad (~salud) del suelo reportada por Bünemann et al. (2018) en su review. Fuente: Adaptado de Bünemann et al. (2018)

4.1 Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MO) proporciona servicios vitales a la humanidad. Su preservación y mayor acumulación son claves para sostener la producción de alimentos y evitar

una crisis climática irreversible (Cotrufo y Lavallee, 2022). El principal constituyente de la MO es el carbono (58%) es por ello que el suelo es uno de los principales reservorios de C del planeta. El carbono de la superficie del suelo en forma de materia orgánica respalda los servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del clima, la producción de plantas, el ciclo de nutrientes y el almacenamiento y la purificación del agua (Plaza et al., 2022).

Es necesario conocer la dinámica de la materia orgánica (~carbono) del suelo en los agroecosistemas semiáridos ya que la ejecución de malas prácticas de manejo (por ej. sobrepastoreo, fuego sin prescripción) puede derivar en problemáticas de cambio global. Los suelos de tierras cultivadas a nivel mundial han perdido entre el 25% y 75% de sus reservas originales de carbono, que han sido liberadas a la atmósfera en forma de CO_2 (FAO, 2022).

La conservación/restauración de pastizales como estrategia de recarbonización de los suelos ha recibido especial atención en el mundo ya que los suelos de estos ecosistemas representan el 20% del sotck de carbono orgánico del suelo del mundo (FAO e ITPS, 2021).

Experiencias llevadas a cabo en sitios bajos de Santiago del Estero desde 2016 permitieron concluir que el reemplazo de arbustales (antiguamente pastizales de *Elionorus muticus*) por pastos nativos o implantadas mejoran significativamente el contenido de materia orgánica del suelo (0- 20 cm) al cabo de cinco años (Figura 3).

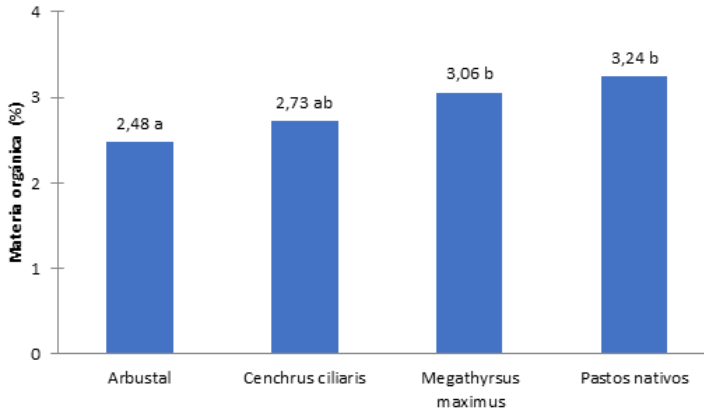


Figura 3. Valores promedio de materia orgánica del suelo para los diferentes tratamientos. Referencias: Arbustal {comunidad dominada por leñosas arbustivas de las especies: Tusca (Vachellia aroma), Brea (Parkinsonia preacox), Garabato (Senegalia praecox), Atamisqui (Atamisquea emarginata), la oferta forrajera herbácea es prácticamente nula}; Cenchrus ciliaris {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; Megathyrsus maximus {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; Pastos nativos {regeneración de comunidades pastoriles nativas mediante rolado, clausura y fuego. Las especies dominantes luego del disturbio son Trichloris sp. y Pappophorum sp.}.

El mayor contenido de MO en los sistemas que incluyen los pastos es atribuible a las diferencias morfológicas y funcionales entre el sistema radicular de los pastos y de los arbustos. Guo y Gifford (2002) en su metanálisis informaron que el cambio de uso de suelo (de arbustal a pastura) puede incrementar en un 8% el carbono orgánico del suelo. Mc Sherry y Ritchie (2013) informaron que las pasturas tienen gran potencial para secuestrar carbono en el suelo. Esto está relacionado con la gran biomasa y alta capacidad de secreción de compuestos carbonados que promueven el incremento de carbono en el suelo (Panchal et al., 2022). Los pastos tropicales (grupo al que pertenecen los géneros *Cenchrus* y *Megathyrsus*) tienen ventajas

sobre los árboles para la acumulación de biomasa y carbono debido a su rápido establecimiento y tasas de crecimiento rápidas y a su extenso sistema radicular (Tessema et al., 2021).

De lo enunciado en los párrafos anteriores se deduce que los pastos son importantes para incrementar el secuestro de carbono del suelo a través del incremento del input de carbono proveniente tanto de la biomasa subterránea y de la necromasa microbiana (Bai y Cotrufo, 2022).

4.2 Biomasa y actividad microbiana

Las estimaciones de biomasa microbiana a través de sus componentes (C, N, P y S) sugieren que estos *pools* son lo suficientemente grandes como para tener un impacto significativo en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La mineralización de los nutrientes de las plantas a partir de la materia orgánica es una función importante de la biomasa microbiana del suelo. Para los suelos, las mediciones de la biomasa microbiana pueden brindar la información necesaria para el monitoreo a nivel de ecosistema de la perturbación inicial y la recuperación (Smith et al., 2017). De lo enunciado anteriormente se deduce que la importancia de la biomasa microbiana en el funcionamiento del suelo siempre ha estado fuera de toda duda (Albiach et al., 2003).

Por otra parte, las enzimas del suelo, derivadas principalmente de los microorganismos, juegan un rol esencial en la catálisis de reacciones necesarias para el ciclado de nutrientes y son las responsables de la formación de moléculas orgánicas estables que contribuyen al funcionamiento del ecosistema suelo. Dado que la actividad enzimática está influenciada por factores físicos, químicos y biológicos, son usadas como índices de actividad microbiana, respondiendo rápidamente a los cambios en el ambiente (Chao-Rong y Zhang, 2011). La actividad deshidrogenasa tiene un rol fundamental en las etapas

iniciales de oxidación de la materia orgánica del suelo (Trasar Cepeda et al., 2003) y ha sido usada exitosamente como un indicador sensible para el monitoreo de calidad de suelo en la Región Chaqueña (Albanesi et al., 2003; Silberman, 2016).

Investigaciones llevadas a cabo desde 2016 hasta la actualidad en la Estación Experimental INTA Santiago del Estero ponen en evidencia que la aplicación de disturbios (rolado, siembra, clausura, y fuego prescripto) con el fin de controlar las leñosas arbustivas e incrementar la oferta de forraje de origen herbáceo tienen consecuencias positivas tanto en la biomasa (Figura 4) como en la actividad microbiana del suelo (Figura 5).

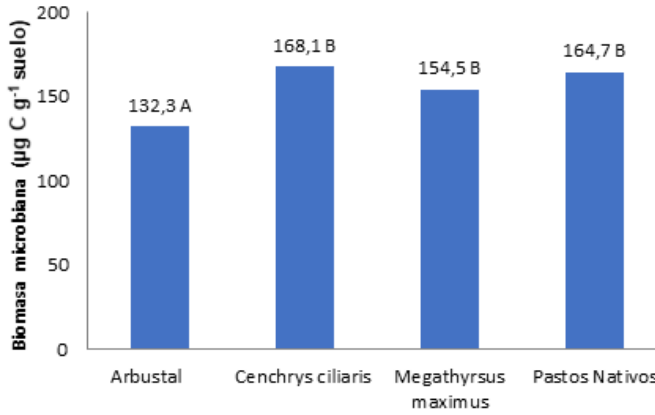


Figura 4. Valores promedio de biomasa microbiana para los diferentes tratamientos. Referencias: Arbustal {comunidad dominada por leñosas arbustivas de las especies: Tusca (Vachiella aroma), Brea (Parkinsonia preacox), Garabato (Senegalia praecox), Atamisqui (Atamisquea emarginata), la oferta forrajera herbácea es prácticamente nula}; *Cenchrus ciliaris* {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; *Megathyrsus maximus* {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; Pastos nativos {regeneración de comunidades pastoriles nativas mediante rolado, clausura y fuego. Las especies dominantes luego del disturbio son Trichloris sp. y Pappophorum sp.}.

El incremento en la biomasa y actividad sugiere que los microorganismos del suelo encuentran condiciones más favorables y mayor disponibilidad de recursos en los sistemas pastoriles respecto del arbustal. Estos hallazgos coindicen con Zhao et al. (2023) quienes informaron que tanto biomasa microbiana como su actividad enzimática son menores en el arbustal respecto del pastizal.

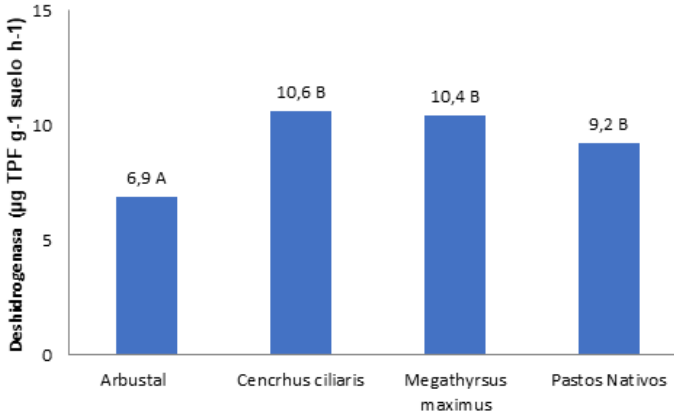


Figura 5. Valores promedio de actividad deshidrogenasa para los diferentes tratamientos. Referencias: Arbustal {comunidad dominada por leñosas arbustivas de las especies: Tusca (Vachiella aroma), Brea (Parkinsonia preacox), Garabato (Senegalia praecox), Atamisqui (Atamisquea emarginata), la oferta forrajera herbácea es prácticamente nula}; *Cenchrus ciliaris* {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; *Megathyrsus maximus* {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; Pastos nativos {regeneración de comunidades pastoriles nativas mediante rolado, clausura y fuego. Las especies dominantes luego del disturbio son Trichloris sp. y Pappophorum sp.}.

4.3 Glomalinas

Las glomalinas son glicoproteínas producidas por hongos micorrícicos arbusculares (HMA), son estables en el suelo con un

tiempo de residencia entre 7 y 42 años en ecosistemas naturales (Rillig et al., 2001). Estas glicoproteínas se acumulan en el suelo y contribuyen significativamente con el secuestro de carbono (Singh et al., 2022) por lo que serían un buen indicador temprano de la dinámica del carbono (Agnihotri et al., 2021). Además, tienen propiedades cementantes que contribuyen a la mejora de las propiedades físicas del suelo (estabilidad de los agregados, macroporosidad, infiltración, y permeabilidad).

Experiencias llevadas a cabo en Santiago del Estero (detallada en las secciones anteriores) evidencian que los tratamientos con pasturas naturales e implantadas con *Cenchrus* y *Megathyrsus* incrementan el contenido de glomalinas (30 %) respecto del arbustal (Figura 6). Esto sugiere que la conversión de comunidades arbustificadas a pasturas (nativa o implantada), al cabo de 5 años de iniciado el proceso, mejora la calidad del suelo en términos de contenido de glomalina. Diversos autores informaron resultados similares al presente estudio a nivel mundial. Silva et al. (2020) encontraron que los valores de glomalina total (GT) fueron menores en agroecosistemas con alta dominancia de arbustos comparado con sistemas con alta densidad de gramíneas. Olandini et al. (2021) informaron que la presencia de pastos en sistemas pastoriles y silviagrícolas fue el responsable de incrementos en el contenido de glomalina respecto de la comunidad leñosa xerófila. A su vez Banegas (2015) informó que la implantación de *Chloris gayana* (Grama rhodes) incrementa el contenido de GT respecto de la comunidad leñosa en la llanura deprimida de Tucumán.

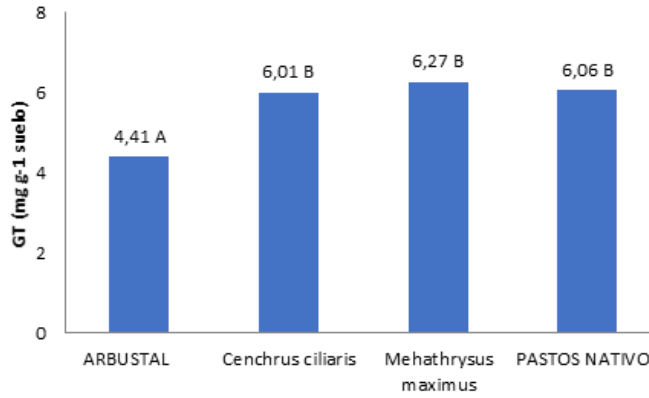


Figura 6. Valores promedio de glomalina total (GT) para los diferentes tratamientos. Referencias: Arbustal {comunidad dominada por leñosas arbustivas de las especies: Tusca (Vachiella aroma), Brea (Parkinsonia preacox), Garabato (Senegalia praecox), Atamisqui (Atamisquea emarginata), la oferta forrajera herbácea es prácticamente nula}; *Cenchrus ciliaris* {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; *Megathyrsus maximus* {rolado+siembra+clausura +fuego prescripto}; Pastos nativos {regeneración de comunidades pastoriles nativas mediante rolado, clausura y fuego. Las especies dominantes luego del disturbio son Trichloris sp. y Pappophorum sp.}.

De los resultados obtenidos en investigaciones en Santiago del Estero y en otras partes del mundo (Borie et al., 2000; Borie et al., 2006; Banegas, 2015; Silva et al., 2020; Olandini et al., 2021) se deduce que las raíces de los pastos (nativos o implantados) tienen un rol importante en el crecimiento de HMA (Rilling et al., 2003), en la formación de glomalinas y por lo tanto en la calidad del suelo (Franzluebbers et al., 2000; Rillig et al., 2003). Estos resultados sugieren que la glomalina podría considerarse indicador biológico de la calidad de los suelos para evaluar su grado de perturbación/degradación, monitorear la desertificación y la rehabilitación de suelos degradados (Wang et al., 2017; Zhang et al., 2017; Holtz et al., 2018).

Referencias

Agnihotri, R., Bharti, A., Ramesh, A., Prakash, A., Sharma, M. P. (2021). *Glomalin related protein and C16: 1ω5 PLFA associated with AM fungi as potential signatures for assessing the soil C sequestration under contrasting soil management practices.* European Journal of Soil Biology, 103, 103286.

Albanesi, A., Anriquez, A.,Kunst, C., López, C. (2003). *Calidad de suelo. Propiedades biológicas y evaluación en ecosistemas semiáridos*. En: Albanesi et al. (ed). Microbiología Agrícola. Un aporte de la investigación argentina. UNSE ISBN 987-99083-X. 7:22

Albiach, M.R., Canet, R., Ribó, M., Pomares, F. (2003). *Determinación del carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana.* En: Gil-Sotres, F., Hernández Fernández, T., Trasar Cepeda, C. (Eds). Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Ediciones Mundi-Prensa, España. 370p.

Anriquez A., Silberman J., Dominguez Nuñez J., & Albanesi A. (2021). *Mirando hacia atrás y avanzando: 50 años de investigación en manejo del suelo en Santiago del Estero.* En Rizo Patrón Rodriguez, S., Nazareno, M., Helman, S., Galiano, J., Frau, F., Rizo Patrón, M. Aportes de la FAyA para el desarrollo: investigaciones para la valorización integral y el aprovechamiento de nuestros recursos. 1a ed. - Santiago del Estero: Bellas Alas Editorial.

Archer, S. R., Andersen, E. M., Predick, K. I., Schwinning, S., Steidl, R. J., Woods, S. R. (2017). *Woody plant encroachment: causes and consequences. In Rangeland systems* (pp. 25-84). Springer, Cham.

Bai, Y., Cotrufo, M. F. (2022). *Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions*. Science, 377(6606), 603-608.

Banegas, N. (2015). *Cuantificación de la captura de carbono de Chloris gayana cv Finecut implantada en un sistema pastoril bovino de la Llanura Deprimida Salina de Tucumán y de la vegetación nativa que reemplaza.*

Boetto, M., Duffau, R.A. (2009). *Mapa de capacidade de uso de las tierras de Santiago del Estero.* Dirección general de Minería, Geología y Suelos. Ministerio de Producción, Recursos Naturales, Forestación y Tierras.

Borie, F. R., Rubio., R., Morales, A., Castillo, C. (2000). *Relación entre densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranzas.* Revista chilena de historia natural, 73(4), 749-756.

Borie, F., Rubio, R., Rouanet, J. L., Morales, A., Borie, G., Rojas, C. (2006). *Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol*. Soil and Tillage Research, 88(1-2), 253-261.

Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., Brussaard, L. (2018). *Soil quality–A critical review.* Soil Biology and Biochemistry, 120, 105-125.

Cao, X., Liu, Y., Cui, X., Chen, J., Chen, X. (2019). *Mechanisms, monitoring and modeling of shrub encroachment into grassland*: a review. International Journal of Digital Earth, 12(6), 625-641.

Chao-Rong, G. E., Zhang, Q. C. (2011). *Microbial community structure and enzyme activities in a sequence of copper-polluted soils*. Pedosphere, 21(2), 164-169.

Cotroneo, S. M., Jacobo, E. J., Brassiolo, M. M., Golluscio, R. A. (2018). *Restoration ability of seasonal exclosures under different woodland degradation stages in semiarid Chaco rangelands of Argentina*. Journal of Arid Environments, 158, 28-34.

Cotrufo, M. F., Lavallee, J. M. (2022). *Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration.* Advances in agronomy, 172, 1-66.

FAO y ITPS. 2021. *Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended management practices.* Volume 3: Cropland, Grassland, Integrated systems and farming approaches. Practices overview. Rome, FAO. DOI: 10.4060/cb6595en

FAO. 2022. *Global Soil Partnership 2012-2022 – Sustainable soil management in action.* Rome. DOI: 10.4060/cc0921en

FAO. 2023. *Programa mundial de doctores para el suelo de la FAO.* Recuperado de https://acortar.link/B6Zvg6

Franzluebbers, A. J., Wright, S. F., Stuedemann, J. A. (2000). *Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA.* Soil Science Society of America Journal, 64(3), 1018-1026.

Guo, L. B., Gifford, R. M. (2002). *Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis.* Global change biology, 8(4), 345-360.

Holtz, E. W. F., Giuffré, L., Ciarlo, E., Cortinez, A. G. (2018). *Glomalin and Its Relationship with Inoculation. Fertilization and Soils with Different Sand Proportion*. Journal of Agriculture and Veterinary Science 11(2), 24-32.

Kunst, C., Bravo, S., Ledesma, R., Navall, M., Anríquez, A., Coria, D., Albanesi, A. (2014). *Ecology and management of the dry forests and savannas of the western Chaco region, Argentina.* Dry forest, 132-163.

Kunst, C., Navall, M., Ledesma, R., Silberman, J., Anríquez, A., Coria, D., Godoy, J. (2016). *Silvopastoral systems in the western Chaco región, Argentina*. In Silvopastoral systems in southern South America (pp. 63-87). Springer, Cham.

Ledesma, R. (2020). *Mecanismos de coexistencia pastos-arbustos en sitios ecológicos del Chaco semiárido.* Tesis doctoral. Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 165p.

McSherry, M. E., Ritchie, M. E. (2013). *Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review.* Global change biology, 19(5), 1347-1357.

Morello, J., Adamoli, J. (1974). *Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino: Vegetación y ambiente de la provincia del Chaco.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación.

Olandini, É.; Nascimento, M. M. B.; Macedo, R. S.; Souza, R. F. S.; Souza, S. L.; Sousa, C. S.; Lambais, G. R.; Bakker, A. P. (2021). *Ati-*

vidade microbiana e carbono orgânico do solo em agroecossistemas sob diferentes manejos no semiárido paraibano. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 12(8), 412-427.

Panchal, P., Preece, C., Peñuelas, J., Giri, J. (2022). *Soil carbon sequestration by root exudates.* Trends in Plant Science 27 (8): 749-757.

Plaza, C., García-Palacios, P., Berhe, A. A., Barquero, J., Bastida, F., Png, G. K., Delgado-Baquerizo, M. (2022). *Ecosystem productivity has a stronger influence than soil age on surface soil carbon storage across global biomes.* Communications Earth & Environment, 3(1), 233.

Reineri, P. S. 2022. *Situación actual de la producción de carne bovina en la provincia de Santiago del Estero.* 1a ed. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. 91p.

Rillig, M. C., Maestre, F. T., & Lamit, L. J. (2003). *Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes*. Soil Biology and Biochemistry, 35(9), 1257-1260.

Rillig, M. C., Wright, S. F., Nichols, K. A., Schmidt, W. F., Torn, M. S. (2001). *Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils.* Plant and Soil, 233(2), 167-177.

Sfier, A., Massobrio, M., Irigoin, J., Piscitelli, M. 2017. Clasificaciones utilitárias, *Ordenamiento territorial, inventario de tierras.* Em: Vázquez M. (Ed). Manejo y conservación de suelos con especial énfasis en situaciones argentinas. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN 978-987-24771-8-9. 480p.

Silberman, J. E. (2016). *Diversidad microbiana y materia orgánica del suelo en sistemas silvopastoriles de la Región Chaqueña*. Tesis doctoral. Doctorado en Ciencias Agrarias y Forestales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Silva, C. F. D., Pereira, M. G., Gomes, J. H. G., Fontes, M. A., Silva, E. M. R. D. (2020). *Enzyme activity, glomalin, and soil orga-*

nic carbon in agroforestry systems. Floresta e Ambiente, 27.
Singh, A. K., Rai, A., Pandey, V., Singh, N. (2017). *Contribution of glomalin to dissolve organic carbon under different land uses and seasonality in dry tropics.* Journal of environmental management, 192, 142-149.
Tessema, B. G., Daniel, H., Adimassu, Z., Wilson, B. (2021). *Soil Carbon Storage Potential of Tropical Grasses*: A Review. Botany-Recent Advances and Applications.
Trasar Cepeda, C., Gil Sotres, F., Leirós De La Peña, M. (2003). *Determinación de la actividad deshidrogenasa del suelo.* En: Gil-Sotres, F., Hernández Fernández, T., Trasar Cepeda, C. (Eds). Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Ediciones Mundi-Prensa, España. 370p
Van Auken, O. W. (2000). *Shrub invasions of North American semiarid grasslands*. Annual review of ecology and systematics, 197-215.
Van Auken, O. W. (2009). *Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands.* Journal of environmental management, 90(10), 2931-2942.
Wang, W., Zhong, Z., Wang, Q., Wang, H., Fu, Y., He, X. (2017). *Glomalin contributed more to carbon, nutrients in deeper soils, and differently associated with climates and soil properties in vertical profiles*. Scientific reports, 7(1), 1-13.
Zhang, Y., He, X., Zhao, L., Zhang, J., Xu, W. (2017). *Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin under Psammochloa villosa along a typical dune in desert, North China*. Symbiosis, 73(3), 145-153.
Zhao, Y., Wang, H., Guo, T., Li, Z., Mi, W., & Cao, Z. (2023). *Response of soil C-, N-, and P-acquisition enzymes to moisture pulses in desert grassland to shrubland state transition.* Science of The Total Environment, 861, 160569.

ESTACIONALIDAD, FENOLOGÍA Y PRODUCTIVIDAD DEL BOSQUE CHAQUEÑO SEMIÁRIDO DE LOS DEPARTAMENTOS FIGUEROA Y MORENO, SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

Maria Y. Mazur[1], Hugo Raúl Zerda[1], José Luis Tiedemann[1]

Resumen.

El objetivo de este trabajo fue determinar, mediante series temporales NDVIMODIS del periodo 2000-2020, la estacionalidad, parámetros fenológicos y la productividad de biomasa estacional integrada (SI-NDVI) del Bosque Chaqueño Semiárido (BCHS) de los departamentos Moreno y Figueroa, Santiago del Estero, Argentina. Las series temporales NDVIMODIS posibilitaron delimitar y modelar las estaciones de crecimiento (EC), y a partir de ella, determinar los parámetros fenológicos y cuantificar la productividad de biomasa estacional integrada del BCHS. Todos los modelos estacionales tuvieron elevado poder explicativo, los R^2 oscilaron entre 0,89 y 0,97. El inicio y fin de las EC de los sectores F y C fueron, respectivamente, en septiembre y

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales, Cátedra de Sistemas de Información Geográfica, SIGL@b, Santiago del Estero, Argentina.

agosto, y en el sector M fueron en diciembre y mayo. Los puntos medios fueron en febrero y marzo en los tres sectores. No se encontraron diferencias significativas en la base, la amplitud y la SI-NDVI entre sectores. Fuertes relaciones directas fueron encontradas entre la SI-NDVI y las precipitaciones trimestrales, el sector F con el trimestre NDE (r = 0,74), sector C con el trimestre DEF (r = 0,98) y sector M con el trimestre NDE (r = 0,88). Estos resultados evidencian la marcada dependencia del BCHS a las precipitaciones estacionales. Los resultados obtenidos se convierten en valores de referencia para el BCHS de sitios analizados en los Dptos. Moreno y Figueroa.

Palabras clave: NDVI, base, amplitud, punto medio, biomasa, umbral

1. Introducción

La estimación de la productividad de biomasa aérea, y especialmente la biomasa forestal, ha recibido una considerable atención a lo largo de las últimas décadas debido a la creciente concientización sobre el calentamiento climático y el rol que la biomasa forestal cumple en el secuestro de carbono. Estas son un prerrequisito para el mejor entendimiento de los impactos de la deforestación y la degradación ambiental del cambio climático (Kumar y Mutanga, 2017).

La disponibilidad de series temporales de datos derivados de satélites como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) desarrollado por Rouse *et al*. (1973) posibilitaron la determinación de parámetros biofísicos de la vegetación verde a escalas globales, continentales y regionales (Kumar y Mutanga, 2017).

La estrecha relación lineal existente entre el NDVI y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida posibilitó el uso de los Índices de Vegetación como potenciales

indicadores de la productividad fotosintética a escala global y de paisaje (Baldassini, 2018). La relación entre la productividad primaria neta aérea (PPNA) y el NDVI se realizó a través del modelo empírico de Monteith (1972). El modelo se basa el uso eficiente de la radiación (ε), que es una útil herramienta para determinar productividad de biomasa estacional sin limitantes de agua, temperatura y fertilidad (Baldassini y Paruelo, 2020).

La productividad primaria neta (PPN) es la integración temporal del incremento positivo de biomasa de la vegetación terrestre por unidad de superficie y tiempo (Fensholt et al., 2006). Representa el nuevo carbono fijado como biomasa en tallos, hojas y raíces de todas las plantas en el ecosistema (Fensholt et al., 2006). La ausencia o presencia de vegetación con actividad fotosintéticamente activa tiene un dramático efecto a nivel regional y global (White et al., 1997), en parte, por la elevada influencia de la fenología foliar en el intercambio de energía y dióxido de carbono entre la biosfera y la atmósfera y porque delimita el inicio y el fin de la estación de crecimiento o estacionalidad, y por ende su longitud (Field et al., 1995).

La estacionalidad se relaciona directamente con la PPN o productividad de la vegetación estacionalmente activa (Kumar y Mutanga, 2017). De acuerdo a Bradley et al. (2007) la determinación de los parámetros fenológicos contribuye a la correcta determinación de la PPN.

La vegetación fotosintéticamente activa delimita la temporada de crecimiento (Kumar y Mutanga, 2017) y está estrechamente relacionada con la cantidad y distribución de la precipitación estacional (Le Houérou et al., 1988; Zhang et al., 2018; Zhang et al., 2020) y con la humedad disponible en el suelo, especialmente en zonas áridas y semiáridas (Noy-Meir, 1973; Le Houérou et al., 1988).

Entre los trabajos precursores en la temática fenología derivada de sensores remotos podemos mencionar el desarrollado por White et al. (1997) quienes desarrollaron modelos fenoló-

gicos predictivos de ecosistemas específicos para ser aplicados a escala continental en Estados Unidos. A su vez, Reed et al. (2005) obtuvieron a partir de series temporales de NDVI, parámetros fenológicos generales, como el inicio del verde, pico de máximo, la tasa de crecimiento, la tasa de senescencia, fin del verde, y tiempo integrado NDVI de bosques y pasturas en Estados Unidos. A su vez, Heumann et al. (2007) estimaron los cambios en la fenología de la vegetación de las regiones del Sahel, Sudán y Guinea, a partir de series temporales de NDVI, determinando significativas tendencias positivas en la longitud y en el fin de las estaciones de crecimientos de Sudán y Guinea, y sin tendencias positivas en el Sahel.

A nivel local, Zerda y Tiedemann (2010) caracterizaron la dinámica interanual y mensual del NDVI, de las coberturas bosque y pastizal natural de Santiago del Estero mediante mapas de NDVI Vegetation en el periodo 1999 al 2002. A su vez, Tiedemann (2011) y Tiedemann et al. (2012) determinaron los parámetros fenológicos del bosque nativo de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina, mediante el software Timesat y series temporales NDVI Vegetation, en el periodo 1998-2009. Actualmente Tiedemann y Moreira (2023) delimitaron la estacionalidad del BCHS del Parque Nacional Copo, Santiago del Estero, Argentina en el periodo 2000-2022 mediante series temporales $NDVI_{MODIS}$; cuantificaron la productividad estacional y la relacionaron con las precipitaciones estacionales.

Con el fin de aportar información local los objetivos de este trabajo fueron: delimitar y modelar la estacionalidad y a partir de ella, determinar los parámetros fenológicos (Inicio, punto medio, fin, amplitud y base), y cuantificar la productividad primaria neta aérea del bosque chaqueño semiárido (BCHS), y relacionar los parámetros obtenidos con la precipitación media mensual histórica, correspondiente al periodo 2000-2020.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El área de estudio está situada en la Región del Noroeste Argentino, correspondiente a la formación del Gran Chaco Sudamericano, abarca concretamente dos departamentos, uno es el departamento Figueroa con coordenadas 26° 45' - 27° 55' de latitud Sur y 63° 13' - 64° 00 de longitud Oeste, cuya superficie total es de 6.695 km^2 y el segundo es el departamento Moreno es el más extenso de la provincia con coordenadas entre los paralelos 26º 53› y 27º 48› de latitud Sur y 61º 50› y 63º 25› de longitud Oeste, cuya superficie total es de 16.127 km^2 (Figura 1).

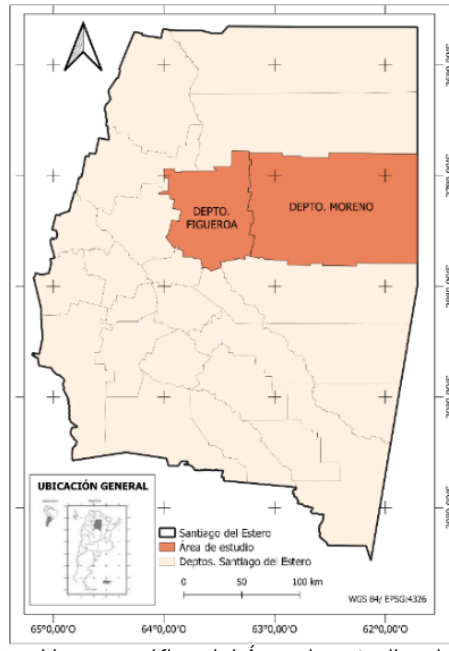


Figura 1. Ubicación geográfica del Área de estudio: departamentos Moreno y Figueroa, en la Provincia de Santiago del Estero, Argentina.

2.2 Ubicación espacial de los puntos de muestreo

El número de muestras (n= 9 pixeles) fueron determinados mediante la técnica de muestreo sistemático, su ubicación se basó en el conocimiento preexistente del área de estudio (Figura 2).

Los puntos de muestreos F, C y M, con tres repeticiones cada uno: F = bosque en Figueroa; C = bosque del Centro (ubicados en el límite entre el departamento Figueroa y Moreno) y M = bosque en el Dpto. Moreno. Cada punto de muestreo y repetición es un pixel de 5,4 hectáreas de $NDVI_{MODIS}$ del BCHS. Las coordenadas Lat. /Long. de cada punto de muestreo y repeticiones se presentan en la tabla 1.

Para garantizar el análisis especifico de la cobertura BCHS en los sectores F, C y M, fueron generadas mascaras binarias dando el valor cero (0) a todas las coberturas de la tierra que no se correspondían con el BCHS y el valor de uno (1) al BCHS. Todas las coberturas fueron monitoreadas y verificadas mediante imágenes de alta resolución disponibles en el proyecto EOS Land Viewer (2022).

Sector	Punto	Latitud y Longitud
F	1	-27,03; -63,74
F	2	-27,30; -63,75
F	3	-27,65; -63,75
C	1	-26,98; -63,23
C	2	-27,30, -63,22
C	3	-27,62; -63,19
M	1	-26,91; -61,98
M	2	-27,24; -61,95
M	3	-27,66; -61,94

Tabla 1. Latitud y longitud de cada punto de muestreo.

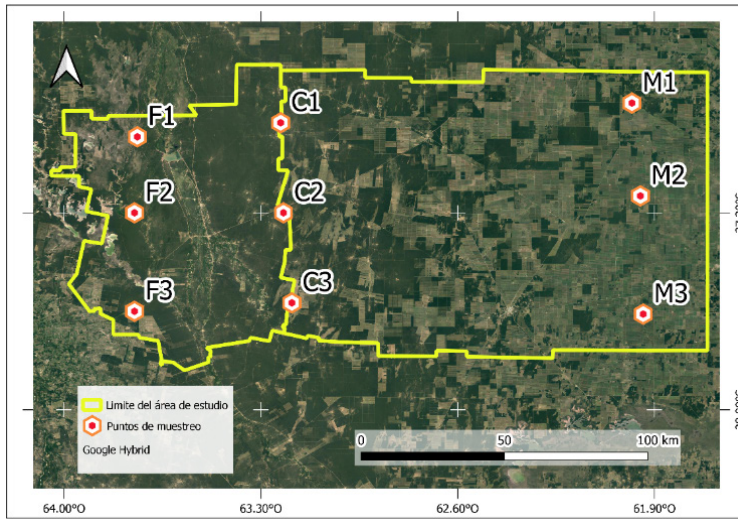


Figura 2. Ubicación espacial de los tres puntos de muestreo en los sectores F, C y M.

2.3 Series temporales $NDVI_{MODIS}$

Durante las últimas décadas, el uso de la información derivada de sensores satelitales ha brindado una gran oportunidad para monitorear cambios en la vegetación a distintas escalas espaciales. La dinámica de la productividad primaria neta aérea (PPNA), asociada al desarrollo de diversas técnicas que buscan la medición temporal y espacial de la vegetación, suponen un desafío constante en la investigación a partir de técnicas de teledetección. De esta manera, los índices de vegetación, especialmente el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se han convertido en una de las principales fuentes de información para el monitoreo y la distribución espaciales de la vegetación y sus variaciones (Gillespie et al., 2018).

Las series temporales del NDVI (Rouse et al., 1973) fue-

ron obtenidas del sistema de análisis de vegetación temporal SAT Veg (2022) disponibles libremente en www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg. El sistema proporciona perfiles temporales NDVI MOD13Q1 (MODIS Terra) y NDVI MYD13Q1 (MODIS Aqua). Las imágenes utilizadas pertenecen al proyecto LP-DAAC/EOS-NASA, con interfaz de Google Maps. Los mapas $NDVI_{MODIS}$, son producidos en intervalos de 16 días y con una resolución espacial de 250 m x 250 m, derivado de la reflectancia corregida atmosféricamente en las bandas de ondas roja, infrarroja cercana y azul.

Fueron derivadas nueve series temporales de $NDVI_{MODIS}$ originales, uno para cada punto de muestreo. Las series temporales se extienden desde la fecha 18/02/2000 hasta el 11/07/2020, por cuanto se dispone de un total de 930 imágenes de NDVI para cada punto de muestreo (Figura 3).

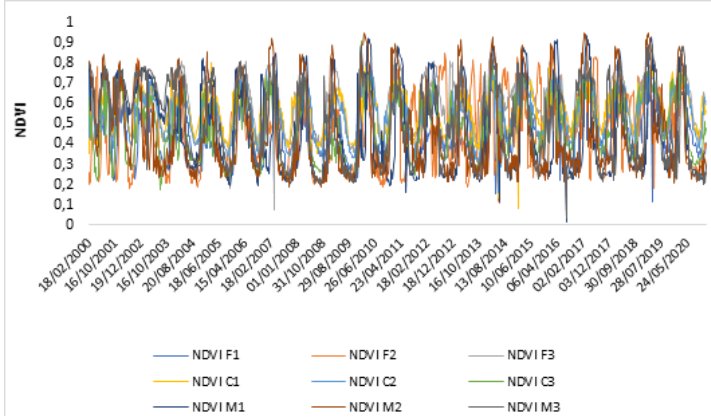


Figura 3. Series temporales originales $NDVI_{MODIS}$ 2000-2020, de los nueve puntos de muestreo (F1, F2, F3, C1, C2, C3, M1, M2 y M3).

Las series temporales de cada punto de muestreo y sector (F, C y M) fueron promediadas obteniendo una sola imagen NDVI media correspondiente al periodo 2000-2020, para cada sector y punto de muestreo. A partir de estas curvas fue determi-

nado la estacionalidad, parámetros fenológicos y la estacionalidad integrada del NDVI (SI-NDVI) del bosque Chaqueño semiárido (BCHS) de cada sector.

2.2 Estacionalidad, fenología y productividad del BCHS

La estación de crecimiento media (EC) de cada punto de muestreo fue determinada mediante modelos de regresión cuadrática (Brown et al., 2012) de acuerdo a la ecuación 1:

$$\alpha\, NDVI^2 + \beta\, NDVI + \gamma \qquad (1)$$

En donde la variable independiente es la serie temporal del NDVI (tiempo), α el parámetro cuadrático, β la pendiente de la curva y, γ la ordenada al origen que corresponde al NDVI en el inicio de la estación de crecimiento.

La pendiente de la curva β y el parámetro cuadrático α determinan juntos el tiempo necesario para que la estación de crecimiento alcance su punto medio (PM) (De Beurs y Henebry, 2010) estimado mediante la ecuación 2.

$$PM = \frac{-\beta}{2\alpha} \quad (\text{siendo } \alpha < 0) \qquad (2)$$

El inicio (I) y fin (F) de la estación de crecimiento se determina mediante el mejor ajuste del modelo cuadrático (De Beurs y Henebry, 2010). El modelo cuadrático de la estación de crecimiento de cada sitio, fue ajustado mediante el coeficiente de determinación (R^2) (de Beurs y Henebry, 2010; Brown et al., 2012). La base (B) es la media del NDVI del inicio (I) y fin (F) de la EC, estimada mediante la ecuación 3.

$$B = \frac{(NDVI\ I + NDVI\ F)}{2} \qquad (3)$$

La amplitud (A) es la diferencia entre el NDVI del punto me-

dio (NDVI PM) y la base (Jönsson y Eklundh, 2006) y se calculó mediante la ecuación 4.

$$A = NDVI\ PM - B \qquad (4)$$

El NDVI integrado estacionalmente (SI-NDVI) es un proxy estimador de la productividad de la vegetación fotosintéticamente activa (Zhang, 2018), y fue estimado mediante la ecuación 5. El SI-NDVI integra todos los valores de NDVI comprendidos entre el Inicio y Fin de cada estación de crecimiento determinada.

$$SI - NDVI = \sum NDVI \qquad (5)$$

2.4 Precipitaciones medias estacionales

La serie temporal de precipitaciones correspondientes al periodo 1918-2022 utilizada en este trabajo, fueron aportados por la estación meteorológica perteneciente a la Sociedad Rural del Noreste Santiagueño. La misma se encuentra en el Dpto. Moreno, a 10 km de la ciudad de Quimili, Santiago del Estero (Coor: lat S -27,65, long O -62,40). A partir de la serie temporal disponible fueron calculados los promedios de precipitaciones mensuales correspondientes al periodo 2000-2020, para los siguientes meses: septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo (Figura 4.). Estos meses conforman la estación húmeda o de lluvias en Santiago del Estero (Boletta et al., 2006).

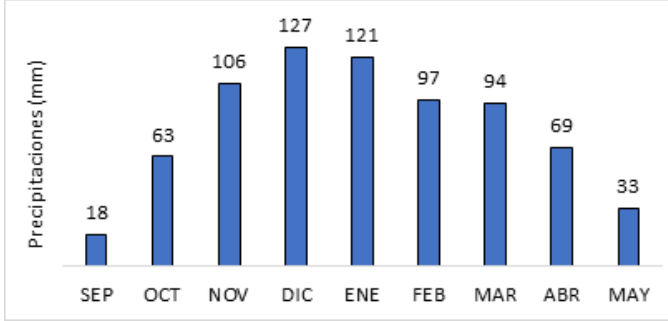


Figura 4. Precipitaciones medias mensuales (mm) correspondientes al periodo 2000-2020 (fuente: la Sociedad Rural del Noreste Santiagueño)

2.5 Análisis Estadísticos

El efecto de los sectores (o sitio) sobre los parámetros fenológicos y la SI-NDVI del BCHS fue determinado mediante un análisis de varianza (ANAVA) en diseño completamente aleatorizado (Di Rienzo et al., 2022). Las variables clasificatorias fueron los sectores F, C y M y las variables dependientes utilizadas fueron: SI-NDVI, PM, Amplitud y Base. El modelo lineal para la observación del tratamiento i en la parcela *j*, se presenta en la ecuación 6.

$$Y_{ij} = \mu + \tau i + \varepsilon \qquad (6)$$

En donde Y*ij* son las observaciones del tratamiento i en la parcela j; τi el efecto del tratamiento *i* y ε es el término de error aleatorio asociado a la observación Yij. La comparación de medias se realizó mediante el test de comparaciones múltiples DGC (Di Rienzo et al., 2022).

El NDVI integrado estacionalmente o productividad de biomasa estacional (SI-NDVI) del BCHS fue relacionado con las precipitaciones medias mensuales históricas (Figura 4) mediante el coeficiente de correlación de Pearson (Di Rienzo et al., 2022). Las relaciones fueron realizadas por trimestre: sep-

tiembre, octubre y noviembre (SON), octubre, noviembre y diciembre (OND), noviembre, diciembre y enero (NDE) y diciembre, enero y febrero (DEF). Solo se mostrarán las relaciones significativas ($p < 0,05$) (Di Rienzo et al., 2022).

3 Resultados

Los parámetros fenológicos, productivos y modelos cuadráticos de las estaciones de crecimiento (EC) validados por sus respectivos coeficientes de determinación se presentan en la tabla 2. Todos los modelos obtenidos tuvieron una elevada capacidad predictiva, los R2 oscilaron entre 0,89 y 0,97 ($p < 0,01$).

Punto	I	PM	F	NDVI PM	B	A	SI NDVI	EC=αNDVI²+βNDVI+ϒ	R^2
F1	NOV	FEB	SEP	0,56	0,35	0,21	5,10	EC = -0,01x² + 0,10x + 0,29	0,95
F2	SEP	DIC	MAY	0,56	0,41	0,15	4,33	EC = -0,01x² + 0,13x + 0,23	0,91
F3	SEP	FEB	AGO	0,72	0,46	0,26	7,26	EC = -0,01x² + 0,11x + 0,34	0,96
MEDIA				0,61	0,40	0,21	5,56		0,94
C1	DIC	MAR	AGO	0,68	0,51	0,17	5,99	EC = -0,01x² + 0,08x + 0,47	0,94
C2	SEP	MAR	AGO	0,66	0,41	0,25	6,69	EC = -0,01x² + 0,11x + 0,32	0,97
C3	SEP	FEB	AGO	0,6	0,31	0,29	5,78	EC = -0,01x² + 0,12x + 0,23	0,96
MEDIA				0,65	0,41	0,23	6,15		0,95
M1	DIC	FEB	MAY	0,74	0,43	0,31	3,53	EC = -0,05x² + 0,37x + 0,05	0,95
M2	DIC	FEB	MAY	0,81	0,39	0,42	3,46	EC = -0,06x² + 0,43x - 0,01	0,89
M3	NOV	FEB	JUL	0,71	0,40	0,31	7,16	EC = -0,02x² + 0,18x + 0,27	0,94
MEDIA				0,75	0,41	0,35	4,71		0,92

Tabla 2. Parámetros fenológicos, productividad, y modelos estacionales de las EC. I y F = inicio y fin, PM= punto medio; NDVI PM= Índice de vegetación del punto medio; B = base; A= amplitud, SI NDVI:

estacionalidad integrada o producción de biomasa estacional, EC= modelo cuadrático estacional; R^2= coeficiente de determinación.

3.1 Análisis del BCHS - Sector Figueroa (F)

Los parámetros fenológicos de las EC Inicio y Punto Medio del Sector Figueroa se produjeron con mayor frecuencia durante los meses de septiembre y febrero, respectivamente. En cuanto al Fin de la EC, se mostró diferente en cada sitio (mayo en F2, agosto en F3 y septiembre en F1) (Tabla 2; Figura 5). La Base media fue de 0,4, con una Amplitud media de 0,21, y la SI-NDVI media de 5,56 (Tabla 2). Fueron encontradas fuertes relaciones directas entre la producción de biomasa estacional SI-NDVI y las precipitaciones de los trimestres SON (r = 0,71), NDE (r = 0,74). Fueron encontradas fuertes relaciones directas entre la producción de biomasa estacional SI-NDVI y las precipitaciones de los trimestres SON (r = 0,71), NDE (r = 0,74).

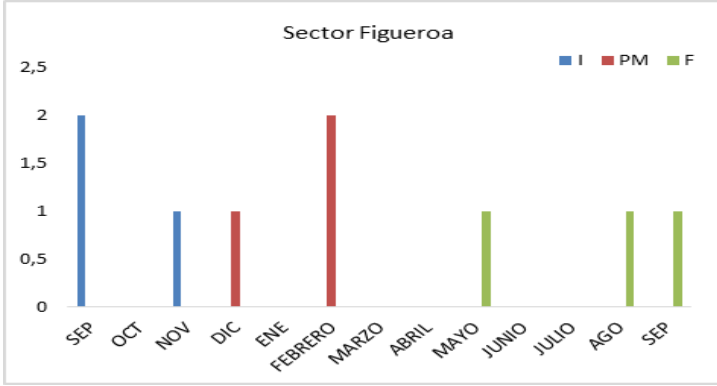


Figura 5. Distribución de frecuencia de los meses de inicio (I), Punto Medio (PM) y Fin (F) de la estación de crecimiento del BCHS Sector Figueroa (F).

3.2 Análisis de los BCHS - Sector Centro (C)

Los parámetros fenológicos de las EC Inicio, Punto Medio y Fin del Sector Centro se produjeron con mayor frecuencia, respectivamente, durante los meses de septiembre, marzo y agosto (Tabla 2; Figura 6). La base media fue de 0,41, con una amplitud media de 0,23, y la PPNA media fue de 6,15 (Tabla 2). Fueron encontradas fuertes relaciones directas entre la producción de biomasa estacional SI-NDVI y las precipitaciones del trimestre DEF (r = 0,98).

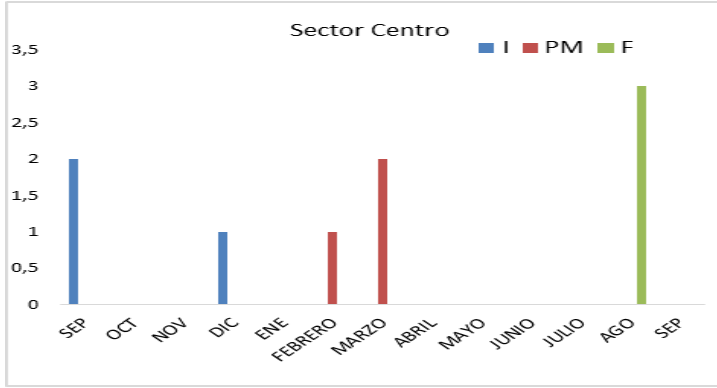


Figura 6. Distribución de frecuencia de los meses de inicio (I), Punto Medio (PM) y Fin (F) de la estación de crecimiento del BCHS Sector Centro (C).

3.3 Análisis de los BCHS - Sector Moreno (M)

Los parámetros fenológicos de las EC Inicio, Punto Medio y Fin del Sector Moreno se produjeron con mayor frecuencia, respectivamente, durante los meses de diciembre, febrero y mayo (Tabla 2). La base media fue de 0,41, con una amplitud media de 0,35, y la PPNA media fue de 4,71. Fueron encontradas fuertes relaciones directas entre la producción de biomasa

estacional SI-NDVI y las precipitaciones de los trimestres SON (r = 0,85), OND (r = 0,70), NDE (r = 0,88).

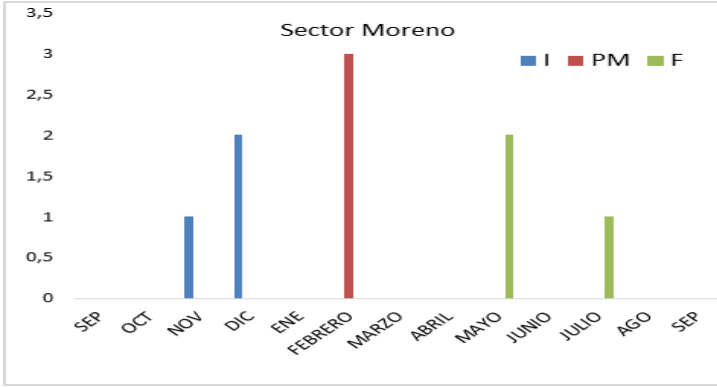


Figura 7. Distribución de frecuencia de los meses de inicio (I), Punto Medio (PM) y Fin (F) de la estación de crecimiento del BCHS Sector Moreno (M).

4. Discusiones

La serie temporal $NDVI_{MODIS}$, y los Sistemas de Información Geográfica, posibilitaron delimitar la estacionalidad, y a partir de ella determinar los parámetros fenológicos y cuantificar la productividad de biomasa estacional del bosque chaqueño semiárido de los puntos de muestreo, en el periodo 2000-2020. Los modelos estacionales obtenidos tuvieron un elevado poder explicativo, los coeficientes de determinación oscilaron, en todo el periodo, entre 0,92 y 0,95. De acuerdo a la experiencia de los autores expuestas en (Gillespie et al., 2018; Baldassini y Paruelo, 2020; Tiedemann y Moreira; 2023) el sensor MODIS con resolución especial 250 m $pixel^{-1}$ y resolución temporal dos veces diaria (Aqua y Terra), es una invalorable herramienta

para cuantificar la productividad de la vegetación y detectar los cambios estacionales a lo largo del tiempo.

El inicio y el fin de las estaciones de crecimiento de los sitios F y C presentan mayor frecuencia, respectivamente en septiembre y agosto, mientras que el sitio M lo hace, respectivamente, en diciembre y mayo. En este sentido, la diferencia estaría relacionada con las mayores precipitaciones ocurridas en el sitio M. Sin embargo, Tiedemann (2011) y Tiedemann et al. (2012) obtuvieron diferentes resultados al determinar que el inicio y fin de la estación de crecimiento del BCHS del Dpto. Moreno, se producen con mayor frecuencia, respectivamente, en octubre y en agosto. De acuerdo a Bradley et al. (2007) las fases fenológicas, inicio y fin son fuertemente afectadas, en corto término, por fluctuaciones en las precipitaciones. Adicionalmente, y de acuerdo a Boletta et al. (2006) el gradiente de precipitaciones estacionales en la provincia desciende desde el Este (650 mm) al Oeste (450 mm).

Los puntos medios del NDVI del bosque de los tres sectores en todo el periodo se concentraron en febrero/marzo (fin de verano e inicio de otoño). No se encontraron diferencias significativas entre el NDVI de los PM de los tres sectores en todo el periodo (R^2 = 0,55; p = 0,05). Zerda y Tiedemann (2010), Tiedemann (2011) y Tiedemann et al. (2012) determinaron que los puntos medios del BCHS en el Dpto. Moreno se producen en otoño.

La base media de los tres sitios fue similar en todo el periodo (0,41), sin embargo, el modelo del ANAVA tuvo bajo poder explicativo (R^2 = 0,00; p > 0,05). De acuerdo a Jonson y Eklundh (2004) y a Heumann et al. (2007) la base de las estaciones de crecimiento depende de los valores mínimos de NDVI en el inicio y fin de las mismas. En este sentido, Tiedemann (2011) determinó que las estaciones de crecimiento del BCHS en periodos húmedos tuvieron mayor base que en periodos secos, esto se debe mayor disponibilidad de humedad edáfica, por

cuanto, el NDVI mínimo del inicio y fin de las estaciones de crecimiento del periodo húmedo alcanza valores más elevados que en el periodo seco, los cuales, al ser promediados, generan una base media mayor. Es importante destacar que la vegetación natural en el semiárido responde de manera inmediata a la disponibilidad de humedad.

No fueron encontradas diferencias significativas entre la Amplitud de las estaciones de crecimiento de los tres sectores para todo el periodo (R^2 = 0,60; p = 0,05). De acuerdo a Jönsson y Eklundh (2004) y a Heumann et al. (2007) la amplitud de las estaciones de crecimiento, es un parámetro dependiente de los valores alcanzados por la base y el NDVI del PM de cada curva estacional. Debido a que el NDVI del PM del bosque fue similar en ambos períodos, la amplitud media fue directamente influenciada por la base media.

No fueron encontradas diferencias significativas (R^2 = 0,18; p = 0,05) entre la estacionalidad integrada del NDVI (SI-NDVI) o de la productividad de la vegetación fotosintéticamente activa del BCHS entre sectores.

Se destaca las fuertes relaciones directas encontradas entre la SI-NDVI de los sectores F y M con las precipitaciones de los trimestres SON, OND, NDE, evidenciando la fuerte dependencia del BCHS de esos sectores con las precipitaciones de inicio y pico máximo de las precipitaciones estacionales. La SI-NDVI del sector C tuvo fuertes relaciones directas con las precipitaciones del trimestre DEF, evidenciando la fuerte dependencia de las precipitaciones estacionales máximas de ese trimestre.

Los resultados son consistentes, y similares a los obtenidos por Tiedemann (2011) y Tiedemann et al. (2012). Estos autores al analizar la variación de los parámetros fenológicos del bosque Chaqueño semiárido en un período húmedo y otro seco en la Provincia de Santiago del Estero, mediante series temporales NDVI, determinaron que el inicio de las EC fue en octubre en ambos periodos. Ellos encontraron las mejores relaciones

entre el NDVI del bosque de octubre y noviembre de ambos períodos, con las precipitaciones de esos mismos meses, con un R^2 que osciló, respectivamente, entre 0,96 y 0,98 ($p < 0,01$). Las fuertes relaciones directas evidencian la gran influencia de las precipitaciones de octubre y especialmente las de noviembre en el inicio de la estación de crecimiento del BCHS. En este sentido, Tiedemann (2011) concluyo que las precipitaciones de noviembre definen la productividad de biomasa verde total de toda la estación de crecimiento del BCHS. Sin embargo, es importante resaltar los diferentes resultados obtenidos en (Tiedemann y Moreira, 2023; Gasparri y Baldi, 2013) quienes comunicaron que no encontraron relaciones significativas entre la productividad primaria neta aérea estacional (kg ms ha-1) con las precipitaciones estacionales.

5. Conclusión

Las series temporales $NDVI_{MODIS}$ y los Sistemas de Información Geográfica posibilitaron delimitar y modelar la estacionalidad, determinar los parámetros fenológicos y cuantificar la productividad de biomasa estacional del bosque chaqueño semiárido en los Dptos. Moreno y Figueroa, en el periodo 2000-2020.

Las fuertes relaciones directas obtenidas entre la SI-NDVI y las precipitaciones mensuales evidencian la fuerte dependencia del BCHS a las precipitaciones estacionales de los tres trimestres analizados

La estacionalidad, los parámetros fenológicos y la productividad de la vegetación estacionalmente activa del BCHS se convierten en valores de referencia para los sitios analizados en los Dptos. Moreno y Figueroa

Referencias

Baldassini, P. (2018). *Provisión de Servicios Ecosistémicos en el Chaco Semiárido: efectos de los cambios en el uso del suelo y la variabilidad climática sobre la dinámica del carbono.* Tesis Doctoral, IFEVA, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 214p. Disponible en: http://surl.li/imacw

Baldassini, P y Paruelo, J. (2020). *Sistemas agrícolas y silvopastoriles en el Chaco Semiárido. Impactos sobre la productividad primaria*. Ecología Austral 30:045-062. DOI: 10.25260/EA.20.30.1.0.961

Boletta P.E., Ravelo C.A., Planchuelo A.M. y M. Grilli. (2006). *Assessing deforestation in the Argentine Chaco*. Forest Ecology and Management 228:108–114. DOI:10.1016/j.foreco.2006.02.045

Bradley B.A., Jacob R.W., Hermance J.F. & Mustard J.F. (2007). *A curve fitting procedure to derive inter-annual phenologies from time series of noisy satellite NDVI data.* Remote Sensing of Environment 106:137–145.

Brown M.E., de Beurs K.M. & Marshall M. (2012). *Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years.* Remote Sensing of Environment 126:174–183.

De Beurs, K. M., y Henebry G. M. (2010). *Spatio-temporal statistical methods for modeling land surface phenology, in Phenological Research-Methods for Environmental and Climate Change Analysis*, edited by I. L. Hudson and M. R. Keatley, pp. 177–208, Spring, New York.

Di Rienzo J., Casanoves F., González L., Tablada M., Robledo C. & Balzarini M. (2022). Infostat. Software Estadístico. v2022. Grupo InfoStat / FCA / Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. http://www.infostat.com.ar.

EOS, Land Viewer (2022). *Earth Observing System.* Disponible en: https://eos.com

Fensholt R. Sandholt I., Schultz Rasmussen M., Stisen S. y Diouf A. (2006). *Evaluation of satellite based primary production*

modelling in the semi-arid Sahel. Remote Sensing of Environment 105:173–188

Field C.B., Randerson J.T. & Malmstriik C.M. (1995). *Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing.* Remote Sensing Environment 51: 74-88.

Gasparri N.I y G. Baldi. (2013). *Regional patterns and controls of biomass in semiarid woodlands: lessons from the Northern Argentina Dry Chaco.* Regional Environmental Change. online version of this article: DOI 10.1007/s10113-013-0422-x.

Gillespie T.W., Ostermann-Kelm S., Donga CH, Willis K.S, Okina G.S., y G.M. MacDonald. (2018). *Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California*. Ecological Indicators 88:485–494

Heumann B.W., Seaquist J.W., Eklundh L. & Jonsson P. (2007). *AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982–2005*. Remote Sensing of Environment 108:385-392.

Jonson P. & Eklundh L. (2004). *TIMESAT— a program for analyzing time-series of satellite sensor data.* Computers & Geosciences 30:833-845.

Kumar L. y O. Mutanga. (2017). *Remote Sensing of Above-Ground Biomass.* Remote Sens. 9, 935; Disponible en: https://www.mdpi.com/2072-4292/9/9/935.

Le Houérou H.N., Bingham R.L. & Skerbek W. 1988. *Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands.* Journal of Arid Environments, 15(1): 1-18. DOI: 10.1016/S0140-1963(18)31001-2.

Monteith, J.L. (1972). *Solar radiation and productivity in tropical ecosystems.* Journal of Applied Ecology 9:747-766 https://doi.org/10.2307/2401901.

Noy-Meir I. (1973). *Desert ecosystems: environment and producers.* Annual Review of Ecology and Systematics, 4: 25-51. DOI: 10.1146/annurev.es.04.110173.000325.

Reed B.C. y Brown J.F. (2005). *Trend Analysis of Time- series Phenology Derived from Satellite Data*, IEEE Xplore Librery digital

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. y Deering D.W. (1973). *Mo-*

nitoring vegetation systems in the Great plains with ERTS, Third RTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.

SATVeg (2018). *Sistema de Análisis Temporal da Vegetación. EMBRAPA*, Brasil en: https://www.satveg.cnptia.embrapa.br

Tiedemann, J.L. (2011). *Dinámica espacial y temporal del Índice de Vegetación de Diferencia normalizada en Santiago del Estero.* Tesis Doctoral, Escuela de Graduados Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 157p

Tiedemann, J.L., Zerda H.R., Grilli M. & Ravelo A. C. (2012). *Variabilidad fenológica del bosque y del pastizal nativo en el Chaco Semiárido de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina*. Ambiência 8:47-60.

Tiedemann J.L y A. Moreira. (2023). *Above-ground net primary productivity and rain use efficiency of Chaco Semi-arid Forest in 1 Copo National Park, Santiago del Estero, Argentina*. Revista de la Facultad de Agronomía 122 (1):120. DOI: 10.24215/16699513e120

White A.M., Thornton E.P. & Running W.S. (1997). *A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability*. Global Biogeochemical Cycles, 2:217-234.

Zerda H. R & Tiedemann J. L. (2010). *Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina,* Ambiencia, 6:13-24.

Zhang W., Brandt M., Tong X., Tian Q. & Fensholt R. (2018). *Impacts of the seasonal distribution of rainfall on vegetation productivity across the Sahel.* Biogeosciences, 15(1): 319-330. DOI: 10.5194/bg-15-319-2018.

Zhang T., Yu G., Chen Z., Hu Z., Jiao C., Yang M., Fu Z., Zhang W., Han L., Fan M., Zhang R., Sun Z., Gao Y. & Li W. (2020). *Patterns and controls of vegetation productivity and precipitation-use efficiency across Eurasian grasslands*. Science of The Total Environment, 741: 140204:1-9. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140204

III. ÁREA TEMÁTICA: ECONOMÍA DEL CONOCIMIENTO

TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS ACCESIBLES E INCLUSIVAS

Susana Herrera[1], Sergio Rocabado[1], Federico Rosenzvaig[1], Federico Romano Paz[1], Rosa Palavecino[1], Adriana Jimenez[1], Adriana Macedo[1], Marcelo Zampar[1], Marina Nasif[1], María Morales[1], Marilena Maldonado[1], Paula Barrera Nicholson[1], Maximiliano Budan[1], Pablo Divi, Patricia Gómez[1]

Resumen

En este capítulo se presentan los avances del proyecto de investigación *Sistemas móviles, accesibles e inteligentes para una sociedad inclusiva*, financiado por el CICyT-UNSE, que tiene por objetivo estudiar métodos y herramientas informáticas orientadas a satisfacer necesidades de personas vulnerables, tales como las personas con discapacidad, las que pertenecen al grupo LGBTI+ y habitantes de regiones aisladas. El grupo de investigación está integrado por informáticos, matemáticos, médicos y pedagogos; interdisciplinariedad que permite

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IIISI). Santiago del Estero, Argentina

abordar las problemáticas y sus alternativas de solución desde un punto de vista sistémico e integrado. En el campo de la Ingeniería del Software, se abocan a la optimización del desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma, usando tecnologías como realidad aumentada y localización. En cuanto a la calidad del software, se estudia principalmente la variable accesibilidad, en cuanto variable vinculada a la discapacidad. Se destacan trabajos sobre tecnologías para educación de niños y jóvenes hipoacúsicos y para niños ciegos, así como también el estudio de metodologías de accesibilidad de sitios educativos, aplicaciones para entrenamiento vocal de mujeres trans. Está pendiente para los últimos años del proyecto el agregado de inteligencia a las soluciones y modelos trabajados hasta ahora.

Palabras clave: accesibilidad, tecnologías informáticas inclusivas, aplicaciones móviles, educación inclusiva

1. Introducción

El proyecto de investigación *Sistemas móviles, accesibles e inteligentes para una sociedad inclusiva* inició en el año 2021 y tiene previsto culminar en diciembre de 2024, constituye una continuación de los proyectos sobre Computación Móvil que el mismo grupo ha desarrollado desde 2012, en los cuales se lograron resultados vinculados a la eficiencia de aplicaciones móviles, el aprendizaje basado en dispositivos móviles (*m-learning*), realidad aumentada (RA), tecnologías para discapacidad y herramientas y métodos para el desarrollo móvil multiplataforma.

Actualmente, se continúa con dichas líneas de investigación, llevando adelante una investigación aplicada sobre métodos y herramientas para el desarrollo/mantenimiento de aplicaciones móviles accesibles e inteligentes, orientadas a resolver problemáticas en los siguientes dominios: aprendizaje,

personas con discapacidad, personas del colectivo LGBT+ y otros colectivos vulnerables.

El equipo de investigación es interdisciplinario; está integrado por informáticos, médicos, sociólogos, fonoaudiólogos como también profesionales de la Matemática y de Idiomas. La investigación se realiza en colaboración con el Ministerio de Salud de la Provincia de Santiago del Estero y cuenta con el asesoramiento de investigadores de UNLP, UNSa y Universidad Paris 8.

El objetivo general de la investigación consiste en optimizar la accesibilidad e inteligencia de las aplicaciones móviles, mediante el estudio de métodos y tecnologías innovadoras de desarrollo y de interacción. Las principales variables que se abordan son la inteligencia y la accesibilidad de aplicaciones móviles y de otras tecnologías informáticas.

Este capítulo contiene una síntesis de los resultados parciales obtenidos hasta el año 2022. El capítulo está organizado de la siguiente manera. En el apartado 2 se presenta un marco referencial sobre Computación Móvil, que da sustento a los avances logrados en el desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma, núcleo fundamental del proyecto. En el apartado 3 se describen las aplicaciones móviles educativas inclusivas desarrolladas en el marco del proyecto*: Matemática & Sonidos, VozTrans y AlgeRA*. En el apartado 4 se abordan otras tecnologías educativas inclusivas desarrolladas en el proyecto relativas a: accesibilidad web y móvil, enseñanza de inglés a niños con discapacidad visual, aprendizaje de jóvenes sordos en nivel superior, modelo de red sostenible para educación en regiones aisladas. En el apartado 5 se presenta la aplicación PicudoApp, desarrollada para el INTA Quimilí usando las tecnologías bajo estudio. En el apartado 6 se plantea la discusión sobre los resultados preliminares.

2. Marco referencial en Computación Móvil

Este proyecto se centra en la disciplina Ingeniería del Software; más precisamente, el grupo de investigación viene trabajando desde el año 2012 en el área de Computación Móvil. La Computación Móvil es el entorno de computación que atiende la movilidad física. En este entorno, los usuarios pueden acceder a datos, información o cualquier otro objeto lógico desde cualquier dispositivo mediante cualquier red mientras se va moviendo (Talukder, Ahmed y Yavagal, 2010). La proliferación natural de dispositivos móviles, ha llevado a un crecimiento lógico en el desarrollo de aplicaciones móviles. La necesidad de tratar con diversas plataformas, estándares, protocolos y tecnologías de red; las capacidades limitadas de los dispositivos y las exigencias de tiempo del mercado son solo algunos de los problemas que se estudian dentro de esta área. El reto para todo desarrollador es que su aplicación pueda ser usada en la mayor cantidad de dispositivos posibles y es por ello que este grupo estudia métodos y herramientas para el desarrollo óptimo de este tipo de aplicaciones, atendiendo asimismo la variable accesibilidad.

Desarrollar aplicaciones nativas para cada SO móvil (Android, iOS), significa poder utilizar el máximo potencial de los recursos de hardware del dispositivo, pero, a su vez, desarrollar aplicaciones para cada plataforma implica un gran costo, como también su mantenimiento y futuras actualizaciones. Es por ello que surgió como alternativa, desarrollar aplicaciones que puedan ejecutarse en cualquier plataforma, es decir, que sean multiplataforma. El reto consiste en un desarrollo eficiente en función de la optimización del tiempo de desarrollo y de la cantidad de desarrolladores afectados (Fennema et al, 2018).

Estas aplicaciones multiplataforma pueden ser clasificadas, según Delía (2017), de la siguiente manera:

- *Aplicaciones Web móviles*: diseñadas para ejecutar-

se dentro de un navegador, se desarrollan con tecnología web estándar (HTML, CSS y JavaScript). Sin embargo, sus tiempos de respuesta decaen debido a la interacción cliente-servidor, son menos atractivas que las aplicaciones nativas ya que no se encuentran instaladas en el dispositivo, lo que implica acceder previamente a un navegador. Además, las restricciones de seguridad impuestas a la ejecución de código por medio de un navegador limitan el acceso a todas las capacidades del dispositivo.

- *Aplicaciones híbridas*: utilizan tecnologías web (HTML, Javascript y CSS) pero no son ejecutadas por un navegador. En su lugar, se ejecutan en un contenedor web (webview), como parte de una aplicación nativa, la cual está instalada en el dispositivo móvil. Las aplicaciones híbridas permiten la reutilización de código en las distintas plataformas, el acceso al hardware del dispositivo, y la distribución a través de las tiendas de aplicaciones. Respecto de las nativas, poseen las siguientes desventajas: i) la experiencia de usuario se ve perjudicada al no utilizar componentes nativos en la interfaz, y ii) la ejecución se ve ralentizada por la carga asociada al contenedor web. Existe una diversidad de *frameworks* que permiten desarrollar aplicaciones híbridas: PhoneGap1, Apache Cordova (Wargo, 2015), CocoonJS, Ionic2, SenchaTouch.
- *Aplicaciones interpretadas*: son implementadas utilizando un lenguaje base, el cual se traduce en su mayor parte a código nativo, mientras el resto es interpretado en tiempo de ejecución. Estas aplicaciones son implementadas de manera independiente de las plataformas utilizando diversas tecnologías y lenguajes, tales como Javascript, Java, Ruby y XML, entre otros. Una de las principales ventajas de este tipo de aplicaciones es que se obtienen interfaces de usuario totalmente nativas. Sin embargo, los desa-

rrolladores experimentan una dependencia total con el entorno de desarrollo elegido. Los *frameworks* más conocidos para generar estas aplicaciones son Appacelerator Titanium y NativeScript.

- *Aplicaciones generadas por compilación cruzada*. Estas aplicaciones se compilan de manera nativa creando una versión específica de alto rendimiento para cada plataforma de destino. Ejemplos de entornos de desarrollo para generar aplicaciones por compilación cruzada son Applause, Xamarin, QT, Embarcadero Delphi 10 Seattle y RubyMotion.

Luego de trabajos comparativos y ensayos (Herrera et al., 2021), el grupo eligió una de las tecnologías multiplataforma para sus desarrollos (actualmente vigente): Xamarin. Ésta es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles de Microsoft que utiliza C# como lenguaje de programación y permite crear aplicaciones para iOS, Android y Windows. En el apartado 3, se introducen las aplicaciones que se desarrollaron usando este Xamarin.

Es importante resaltar que, a partir del año 2022, Xamarin.Forms evolucionó a MAUI (Multi-platform App UI) un framework de interfaz de usuario de código abierto para crear aplicaciones multiplataforma para dispositivos móviles, tabletas y escritorio, proporcionando una experiencia de usuario nativa para cada plataforma. Actualmente, dicho *framework* se encuentra en estudio.

Por otra parte, el elevado uso de aplicaciones nativas ha modificado totalmente la manera de utilizar la web. Un nuevo concepto ha surgido en los últimos años, denominado Aplicaciones Web Progresivas (PWA por sus siglas en inglés). Una PWA es una aplicación web que utiliza las últimas tecnologías disponibles en los navegadores para ofrecer en dispositivos móviles una experiencia lo más parecida posible a la de una aplicación nativa. Los objetivos que persiguen las PWA son: lograr el mayor rendimiento posible en dispositivos móviles, que

la aplicación cargue de manera casi instantánea, que la interfaz de usuario se parezca lo máximo posible a una nativa, que se pueda trabajar sin conexión (*offline first*) y que se puedan enviar notificaciones a los usuarios, como en una aplicación nativa (Thomas et al, 2018).

Las PWA están a medio camino entre las páginas web y las apps nativas, utilizando lo mejor de estos dos conceptos que les permiten alcanzar rendimientos increíbles. Es por ello que, actualmente, en el grupo de investigación se llevan a cabo estudios y aplicaciones PWA, las cuales se caracterizan porque deben ser:

- Progresiva: funcionar para todos los usuarios, cualquier sea el navegador utilizado.
- Responsiva: adaptarse a todos los tipos de pantallas (computadora de escritorio, smartphone, tableta, etc.).
- Independiente de la red: funcionar si no hay conexión a Internet o si la conexión es de mala calidad.
- *App like*: proporcionar la misma experiencia que una aplicación nativa.
- Actualizada: proporcionar contenido siempre actualizado gracias al proceso de actualización de los *service workers*.
- Segura: funcionar con HTTPS para asegurar que los intercambios entre el cliente y el servidor no estén alterados.
- Disponible: disponible en los motores de búsqueda y su cualificación de aplicación por estos mismos gracias al manifiesto JSON.
- Comprometedora: facilitar el compromiso de los usuarios gracias a funcionamientos como las notificaciones *push*.
- Descargable: descarga en las pantallas iniciales de los usuarios interesados, sin tener que pasar por una tienda de aplicaciones.
- Fácil de promover: mediante una simple URL, sin necesitar una instalación compleja.

Las PWA están desarrolladas a partir de lenguajes web cliente, que van a permitir gestionar la interfaz de usuario de cada página. En el apartado 6 se describe la aplicación Picudo App desarrollada en el marco de este proyecto de investigación como respuesta a necesidades del INTA Quimilí (Santiago del Estero).

3. Aplicaciones móviles educativas inclusivas

En este apartado se presentan las aplicaciones móviles desarrolladas (o en desarrollo) en el marco del proyecto de investigación, que atienden necesidades de personas con discapacidad y personas del colectivo LGBTI+. Las mismas responden al paradigma multiplataforma, apoyándose en los sustentos teóricos vertidos en el apartado anterior. Las aplicaciones son: *Matemática & Sonidos*, *VozTrans* y *AlgeRA* (http://algera.com.ar/).

3.1. *Matemática & Sonidos*

La aplicación *Matemática & Sonidos* fue diseñada para el entrenamiento auditivo y educación en matemática de niños en edad preescolar con implantes cocleares. Fue diseñada en función de los hallazgos de este grupo de investigación en colaboración con un grupo de investigadores de la Universidad de las Islas Baleares (Herrera, Manresa-Yee & Sanz, 2021).

El desarrollo del lenguaje a una edad temprana en estos niños permite su incorporación en las escuelas ordinarias (Kelman y Branco, 2009). Sin embargo, el éxito de la inserción de estos niños depende de su rehabilitación auditiva (De Raeve, 2010; Archbold y Mayer, 2012). *Matemática y Sonidos* es una aplicación móvil multiplataforma que utiliza recursos visuales (algunos con realidad aumentada en 2D y 3D) para ofrecer actividades de aprendizaje de Matemática combinadas con actividades de entrenamiento auditivo. La propuesta se sustenta

sobre el siguiente marco referencial:

- Las tecnologías móviles tienen ventajas en el aprendizaje (Sung, et al., 2016; Pachler et al., 2010): bajo coste, ubicuidad, fácil conectividad, aprendizaje situado, motivación.
- La RA permite añadir información contextualizada de una escena del mundo real en aplicaciones de aprendizaje móvil (Arici et al., 2019). Favorece la atención y la motivación (Brezovszky et al., 2019; Sakkal y Martin, 2019). Los niños con deficiencias auditivas tienen un sentido de la vista más desarrollado, que mejora su atención visual (Trezek y Wang, 2006; Dye y Bavelier, 2010).
- Principales respuestas auditivas para la percepción del habla: detección, discriminación, identificación y comprensión (Erber, 1982).
- Principales temas matemáticos para los preescolares: series numéricas, números hasta el 10, localización (adelante-atrás, arriba-abajo, derecha-izquierda), formas y medidas (grande-pequeño, curvo-recto, redondo, cuadrado).

La aplicación contiene un conjunto de actividades de entrenamiento auditivo de detección, identificación, discriminación; así como también el test de Ling y la opción *Libro con Realidad Aumentada* (ver Figura 1).

Dado que se trata de actividades lúdicas, están animadas por un avatar, denominado Mate, que fue diseñado (color, nombre, textura, forma, movimiento) especialmente para niños de 2 a 5 años con problemas de hipoacusia (ver Figura 2). La aplicación prevé que el niño utilice la App con la asistencia de personas adultas que pertenecen a su entorno cercano (padres, hermanos, educadores, asistentes).

Las actividades de entrenamiento auditivo se combinan con los contenidos de Matemática. Por ejemplo, en la Figura 1, se

muestra una práctica de detección de sonido combinada con el concepto matemático "grande-pequeño".

La App se encuentra en la etapa de codificación y prueba. Esta última se realiza junto a especialistas en audición del Programa de Hipoacusia de la Provincia de Santiago del Estero. Cabe resaltar que la App fue incluida por UNESCO en el Compendio de iniciativas para la Educación Inclusiva 2020 basadas en Inteligencia Artificial y otras tecnologías innovadoras (Herrera, 2020).



Figura 1. Menú principal y pantalla de la actividad de detección del sonido.



Figura 2. Avatar de Matemática y Sonidos.

3.2. Aplicación para entrenamiento vocal *VozTrans*

Uno de los subgrupos de Ingeniería del Software está trabajando en el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil para el entrenamiento de la voz del género con el que se auto percibe una mujer trans. La aplicación debe cumplir las condiciones de: bajo costo, multiplataforma y compatible con dispositivos móviles de uso cotidiano.

Lo que una persona trans busca principalmente es modificar los caracteres sexuales secundarios: la contextura física, la distribución de masa muscular y grasa corporal, la distribución pilosa, los rasgos faciales y la voz. A excepción de esta última, tanto los tratamientos hormonales como las cirugías corporales y genitales están pautados en la reglamentación de la Ley Nº26.743 sobre el Derecho a la Identidad de Género (2014), que habla del acceso integral a la salud. A esa lista de procedimientos quirúrgicos (Congreso de la Nación Argentina, 2015), es pertinente sumarle el entrenamiento de la voz, que es una problemática que se presenta principalmente en mujeres trans. En la población santiagueña evaluada por el Consultorio Inclusivo del Hospital Independencia de la ciudad de Santiago del Estero, la prevalencia de mujeres trans sobre varones es en una relación de 2:1. Es por ello que crear acceso a este tipo de terapias sería de gran utilidad para mejorar la calidad de vida de una población históricamente estigmatizada. Lo que motiva a proponer esta solución es el arduo y costoso proceso de entrenamiento vocal que deberían realizarse las mujeres trans con el acompañamiento de profesionales de la salud, como fonoaudiólogos y psicólogos, a los que no tienen acceso debido a la discriminación a la que habitualmente son sometidas por su condición de género (Gómez Raya, 2018).

Se están investigando cuestiones referidas al desarrollo de aplicaciones móviles, desarrollo multiplataforma (Delía, 2017), herramientas que se usan para el entrenamiento vocal (biblio-

tecas de funciones que permiten la emisión de voz desde aplicaciones móviles), qué tecnologías innovadoras existen, tales como sintetizadores de voz y qué arquitecturas, herramientas, *frameworks* o lenguajes son más adecuados para el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil que permita lograr la aplicación mencionada (Fennema et al., 2018; Zurita Núñez, 2021).

El diseño y desarrollo de la aplicación móvil multiplataforma *VozTrans* se hará utilizando sintetizadores de voz y bases de datos relacionales que permitirán la recomendación de diferentes ejercicios definidos por especialistas en el área; además ofrecerá retroalimentación visual para una mejor comprensión de los mismos.

Se realizarán diferentes tipos de pruebas sobre el prototipo y como última instancia se realizarán pruebas de aceptación con mujeres transgénero; se analizarán los resultados obtenidos en conjunto con el equipo interdisciplinario (fonoaudiólogos y psicólogos) para, posteriormente, realizar las correcciones pertinentes.

En el equipo de trabajo se destaca la participación de una médica ginecóloga especialista en la temática. Actualmente se ha profundizado en la problemática y en las herramientas mencionadas. Se prevé terminar el prototipo en 2024.

3.3 Implementación de *AlgeRA*

Con el objeto de favorecer el aprendizaje del Álgebra Lineal, se diseñó una práctica de *m-learning*, empleando la metodología *MADE mlearn* (Herrera et al., 2013). Para esto, se desarrolló la aplicación *AlgeRA* que usa realidad aumentada (RA) para ejemplificación y posee herramientas para el relevamiento de datos que permitan la modelización matemática de problemas reales (Morales et al., 2018). La práctica tiene por objetivo desarrollar en el alumno la capacidad de representar situaciones cotidianas mediante sistemas de ecuaciones lineales y se divide en 2

actividades: la primera se lleva a cabo en forma individual y su función es la de ejemplificar; la segunda, en forma grupal, responde a un trabajo de campo para la modelización.

En el año 2022 se implementó la primera actividad de esta práctica, en la asignatura Álgebra Lineal de las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la UNSE. Consistió en entregar a cada alumno un papel con un patrón para ser leído usando el celular. La RA les permitió observar un objeto 3D que, en forma dinámica, mostraba el comportamiento de un sistema de riego por aspersión. Conforme al movimiento del celular, pudieron ver la red desplegada en el césped y las ecuaciones que representan a dicho sistema. Por último, respondieron ciertos interrogantes, sobre la red ejemplificada, desplegados en una pantalla de *AlgeRA*. (Figura 3).



Figura 3. Imágenes de los alumnos en la práctica con AlgeRA.

Al finalizar, se entregó a los alumnos una encuesta con fin de indagar sobre el grado de motivación que les proporcionó esta práctica. De su análisis surge que: en un alto porcentaje los alumnos se sintieron muy motivados al emplear *AlgeRA*, aumentando su interés en el tema; también se destaca que la RA los ayudó a interpretar mejor el problema y les permitió relacionar los sistemas de ecuaciones lineales con problemas

del mundo real.

De la implementación de *AlgeRA*, se pudo observar su carácter motivador y posibilitador de la resolución de problemas de una manera diferente, más vinculada a la realidad, siendo la RA un elemento fundamental para ello.

4. Otras tecnologías para una educación inclusiva

Además de los estudios sobre el desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma, el grupo trabaja en el estudio de otras tecnologías informáticas accesibles que contribuyen a la educación inclusiva. Se destacan las siguientes tecnologías: métodos y herramientas para la evaluación de la accesibilidad web y móvil, métodos y herramientas para la enseñanza de inglés a niños con discapacidad visual, modelo para aprendizaje de jóvenes sordos en nivel superior, modelo para educación en regiones aisladas, modelo para educación en cárceles (Diaz et al., 2022). En el siguiente apartado se presentan algunas de estas tecnologías.

4.1. Análisis de accesibilidad web

Desde 2020 se ha venido trabajando en la optimización de métodos para la evaluación de la accesibilidad web y móvil en Argentina, orientado al sector Educación. En (Barrera Nicholson et al., 2020), se presentaron los resultados de un estudio comparativo de la evolución de la regulación de la accesibilidad en Argentina y en Europa, tomando como referencia la normativa francesa y considerando como ejemplos algunos casos de universidades argentinas. Los estándares mundiales de accesibilidad web están administrados por la iniciativa WAI de la W3C. Se destacan las reglas WCAG 2.0 (https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/) y WAI-ARIA para pá-

ginas dinámicas (https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/aria/). En Argentina, la primera normativa que se sancionó sobre la accesibilidad digital es la Ley 26.653, del año 2010, denominada "Accesibilidad de la Información en las páginas web", establece que la Oficina Nacional de Tecnologías de la Información (ONTI) es la responsable de definir las normas y requisitos de accesibilidad. La Disposición 6/19 de la ONTI establece como normativas para Argentina la WCGA 2.0. Las pautas establecen guías basándose en los principios de perceptibilidad, operabilidad, compresibilidad y robustez. Asimismo, fija los diferentes niveles de los requisitos de conformidad: niveles A (mínimo), AA y AAA (máximo). Es importante resaltar que esta Disposición establece que el nivel mínimo de conformidad a ser cumplimentado por las organizaciones deberá ser de 20 criterios para el primer año de vigencia de esta disposición y de 30 para períodos subsiguientes (del total de 38 criterios). Se puede ver más información de accesibilidad web en Argentina en: https://www.argentina.gob.ar/jefatura/innovacion-publica/onti/accesibilidad-web .

También cabe mencionar que, en general, existen tres enfoques de evaluación de la accesibilidad web: basado 1) en herramientas automáticas, 2) en expertos y 3) en usuarios.

Existen diversos métodos para evaluar la accesibilidad, el grupo optó trabajar con la metodología *Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology* (WCAG-EM), propuesta por la W3C, la cual evalúa qué tan bien los sitios web respetan las normativas de accesibilidad WCAG 2.0. Proporciona buenas prácticas para: definir el alcance de la evaluación, explorar el sitio web objetivo, seleccionar muestras representativas de sitios web en los que no es posible evaluar todo el contenido, auditar las muestras seleccionadas y comunicar los resultados de la evaluación. No especifica tecnologías web concretas, herramientas de evaluación, navegadores web, tecnologías de asistencia u otro software que deba utilizarse para la evalua-

ción. Se puede utilizar en diferentes contextos de evaluación, incluida la autoevaluación y la evaluación por parte de terceros. Este método propone las siguientes etapas: 1) Definición del alcance, 2) Exploración del sitio web, 3) Selección de una muestra representativa, 4) Auditoría de la muestra, 5) Informar los hallazgos.

En el año 2021 la Comisión de Accesibilidad de la UNSE encomendó al grupo de investigación la realización de un diagnóstico de accesibilidad del sitio web y micrositios de la UNSE (servicio aprobado por Res. HCD FCEyT 32/22). Siguiendo la metodología WCAG-EM.

Se armó un grupo de trabajo compuesto por ocho informáticos, más una psicopedagoga y dos profesoras con experiencia en accesibilidad y discapacidad; todos integrantes del proyecto de investigación.

Se realizaron los pasos uno y dos. Posteriormente, se realizó un muestro de los sitios y micrositios de todas las áreas dependientes de Rectorado y de las facultades. Se seleccionaron catorce áreas, nueve de Rectorado más las cinco facultades. Del total, seis sitios estaban a cargo del servicio interno de la universidad, quienes usaban principalmente Joomla y Wordpress; mientras que los restantes ocho sitios estaban a cargo de servicios de desarrollo externo.

La etapa más ardua y compleja es la de auditoría de los sitios seleccionados. De cada uno de ellos, se consideraron principalmente aquellas páginas que otorgan información a alumnos y a la comunidad en general. Se decidió, dada el gran tamaño de la muestra, que predominara la evaluación automática (realizada por profesional informático), acompañado de evaluación experta y de usuarios sólo en los casos en que sean necesarios según los resultados de la evaluación automática. Para la evaluación automática se utilizaron las herramientas WAVE (para entorno Windows) y LightHome de Chrome (para Mac y Android).

Si bien aún se transita la etapa de sistematización de resul-

tados de la auditoría automática, a continuación, se presentan algunos resultados preliminares.

El análisis automático realizado en 2022 sobre las páginas muestreadas permitió determinar si el contenido de las mismas cumple con los estándares de accesibilidad, dado que las herramientas automáticas permitieron obtener datos cuantitativos e identificar problemas a gran escala. Según los resultados obtenidos hasta ahora, el número promedio de fallas de accesibilidad en páginas de inicio de los sitios es 35.4. La cantidad de elementos en las páginas de inicio contrastadas con los errores por página, indican que los usuarios podrían detectar errores en uno de cada seis elementos. Las páginas de inicio presentan por lo general errores recurrentes: el texto alternativo de la imagen no está presente, enlaces vacíos o links que no contienen texto, falta el idioma o no es válido, texto de bajo contraste, entre otros.

El nivel de accesibilidad promedio del análisis realizado es bajo. Es necesario que se mejore el nivel de accesibilidad para permitir que personas o usuarios con discapacidad puedan hacer uso de estos sitios, de manera que puedan entender, percibir, navegar e interactuar con la Web.

Siguiendo la metodología mencionada anteriormente, el estudio se completará con una evaluación por parte de expertos en accesibilidad web y por usuarios con discapacidad motora, visual y auditiva.

Se espera elaborar el informe final del diagnóstico en el segundo semestre de 2023.

4.2. Enseñanza de inglés para niñas y niños ciegos

Respecto a tecnologías informáticas para personas con discapacidad visual, se trabaja desde 2022 en el diseño de un modelo para la enseñanza de inglés, mediada por tecnologías, para niños con discapacidad visual. El estudio se lleva adelante en

el marco de una tesis de maestría de tecnología y educación.

La vista constituye un sentido muy importante dado que el 80% de la información exterior ingresa por los ojos. Los seres humanos desarrollan habilidades, conocimientos y aprenden a realizar diferentes actividades útiles para su vida, desarrollo personal y en pos de su autonomía en gran medida debido a la información visual (ONCE, 2022). En ese sentido, la discapacidad visual, en particular la ceguera, representa una barrera para el proceso de aprendizaje y el desarrollo del individuo.

En la República Argentina, la educación obligatoria incluye la enseñanza y el aprendizaje del inglés como lengua extranjera. Desde el principio de inclusión que versa en la Ley de Educación Nacional Nº26.206 (2006) y a partir de la adhesión de Argentina a la Convención de los Derechos Humanos de las Personas con Discapacidad, las aulas de las escuelas comunes son diversas y muchas veces incluyen a niños y jóvenes con ceguera que encuentran en los procesos tradicionales de enseñanza del inglés barreras para el aprendizaje. Las tecnologías representan herramientas potentes que posibilitan el acceso a la información y facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta lengua extranjera.

En relación a esto, en el Reporte para la UNSECO Inclusión y Educación, Hersh (2020) resalta el *inmenso potencial que tienen las tecnologías de promover mayores oportunidades educativas y fomentar la inclusión educativa si estas son usadas desde una pedagogía adecuada*. El término tecnologías es abarcativo e incluye tanto a las tecnologías de la información y la comunicación, así como a las tecnologías asistivas. En cuanto a los procesos formativos de las personas con discapacidad, se destaca en dicho reporte que las TIC proveen múltiples formas de presentar, representar y expresar el conocimiento, pueden acrecentar la diversión y la motivación (Hersh, 2020). Las tecnologías que pueden facilitar y optimizar el proceso formativo del inglés de un niño o joven con ceguera son varias y

de diversos tipos; es decir, no existe una aplicación tecnológica o una herramienta asistiva que por sí sola les asegure a los estudiantes con ceguera el acceso al conocimiento y el desarrollo de las habilidades en la lengua extranjera. Algunas tecnologías que podrían ser útiles en este proceso son: Google lens, los lectores de pantalla, el sitio web text 2 Mp3, los grabadores y/o editores de voz como Audacity, los procesadores de texto, las impresoras 3D, las máquinas de escribir Braille, las impresoras Braille, la aplicación Braille Recognition. Muchas de estas tecnologías requieren ser usadas en conjunto con otras, desde un diseño tecno-pedagógico (Onrubia, 2005) y una aplicación didáctica acorde guiada por un profesional.

El estudio se encuentra en etapa inicial de relevamiento de información, tomando como muestra los profesores y alumnos de la Escuela de Educación Especial Nº 50 de Santiago del Estero, situada en dicha ciudad.

4.3. Tecnología para la educación de jóvenes sordos

En relación a tecnologías informáticas para personas con discapacidad auditiva, se trabaja desde 2020 en el diseño de un modelo para mejorar la comprensión escrita de jóvenes sordos que estudian en el nivel superior. El modelo se basa en la inclusión de métodos y herramientas para personas hipoacúsicas en los Entornos Virtuales de Enseñanza Aprendizaje (EVEA). El estudio se lleva adelante en el marco de una tesis de Doctorado en Ciencias Informáticas de la Universidad Nacional de La Plata, que tiene como principal antecedente los hallazgos del doctorando en su tesis de maestría referidos a la Logogenia como método para mejorar la comprensión escrita de personas sordas (Zampar, 2019).

En la educación de personas hipoacúsicas es necesario que la clase del profesor pueda ser comunicada en lenguaje escrito. Y, para ello, las instituciones y los docentes requieren tener

acceso a sistemas de reconocimiento automático de voz, que convierten el audio en texto. En este contexto, se realizó una revisión sistemática de literatura con el objetivo de analizar cómo estos sistemas mejoran la comprensión lingüística del sordo. La misma incluyó 171 artículos que fueron analizados teniendo en cuenta aspectos tecnológicos, pedagógicos y auditivos.

Si bien los resultados completos fueron presentados en Zampar y Herrera (2022), es relevante tener en cuenta que todos ellos consideran el lenguaje escrito como la vía para optimizar el aprendizaje del lenguaje. En este sentido, Glaser (2019) tuvo en cuenta que el sujeto también puede generar texto a partir de su voz, aunque con una tasa de error mayor. En otra aplicación, Kosuke et al. (2017) tuvieron en cuenta el sonido ambiental además del habla como estrategia de aprendizaje para el sordo. Otra vía alternativa al habla se consideró en Batista (2017) con *chatbots*, en donde la comunicación docente y estudiante es todo sobre lenguaje escrito, sin necesidad de conversión, pero con mucho potencial para el sordo en el aprendizaje de la comprensión lingüística. En otro artículo se ha combinado el habla con algoritmos de extracción de características faciales o la sincronización de los labios con la voz (Kheir yKheir Way, 2006).

El trabajo de sistematización de antecedentes que se llevó a cabo referida al uso de tecnologías en la educación superior por personas con discapacidad auditiva permite avanzar a paso firme y sobre fundamentos robustos en el diseño de un modelo para el desarrollo de competencias lingüísticas escritas en EVEAs para personas sordas.

4.4. Modelo para educación en regiones aisladas

Santiago del Estero es una provincia argentina de gran superficie y de baja densidad de población, con un porcentaje de población rural del 32 %; posee, por lo tanto, regiones aisladas o remotas

a las cuales no llegan las redes convencionales de distribución de energía eléctrica y de comunicación. En algunos casos, estas regiones remotas tienen paneles solares que permiten que los pobladores tengan un servicio limitado de energía y de datos. Sin embargo, tanto la condición de ausencia como la de limitación a estos recursos, impiden el desarrollo normal de procesos básicos del ser humano, como el proceso de aprendizaje. Es por ello que este grupo de investigación ha venido trabajando en el diseño de modelos de redes de comunicación alternativos, viables y sostenibles, para la educación en estas regiones; así como también en la definición de estrategias eficaces de aprendizaje basado en dispositivos móviles (o *m-learning*).

Con el propósito de contribuir a una educación inclusiva, que no deje de lado a las personas que habitan en zonas remotas, el grupo de investigación ha diseñado un modelo de red de comunicación (intranet) de bajo consumo energético para *m-learning* en zonas rurales aisladas. La intranet está integrada principalmente por un servidor de servicios y de recursos educativos digitales, al cual acceden los actores del proceso de aprendizaje (docentes y alumnos) a través de sus dispositivos móviles, utilizando tecnologías de comunicación inalámbricas wifi o bluetooth (ver Figura 4). El servidor es una computadora de placa simple (Raspberry Pi). Tanto el servidor como los dispositivos móviles son de bajo consumo y se alimentan de paneles solares portátiles.

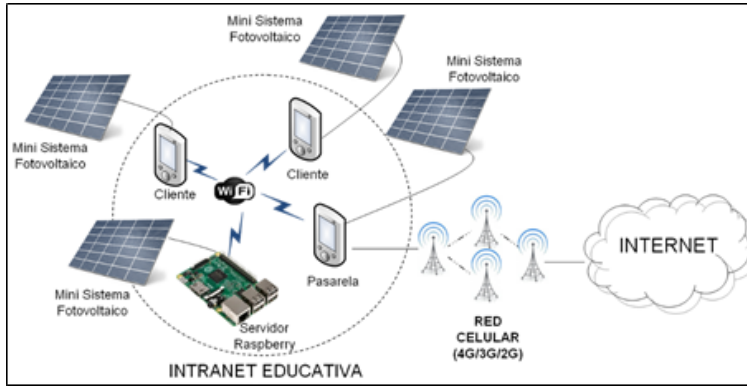


Figura 4. Modelo de red de bajo consumo para educación en zonas remotas (Rocabado, 2020).

Para conectar los dispositivos móviles a Internet, se utiliza un escenario de comunicaciones, en el cual uno de los celulares actúa como pasarela de comunicaciones (entre la Intranet y la red celular) y el resto de los dispositivos se conecta a Internet a través del mismo.

La propuesta completa -el modelo de red más el procedimiento de trabajo para los educadores- requiere financiamiento para la implementación y validación en centros educativos de zonas aisladas de la provincia de Santiago del Estero. Está previsto el diseño de prácticas de *m-learning* específicas, para diferentes áreas curriculares, usando el marco MADE-mlearn (Herrera et al., 2013). En algunas de las prácticas, se usarán las aplicaciones desarrolladas en UNSE: ImaColab (https://imacolab.com/) y AlgeRA (http://algera.com.ar/).

5. Otras aplicaciones móviles para Santiago del Estero

Como se mencionó en el apartado 1, algunos investigadores del proyecto se encuentran trabajando con Progressive Weba-

pps, desarrollando al mismo tiempo aplicaciones concretas y evaluando los resultados. A continuación, se presenta la aplicación Picudo App, desarrollada para el INTA.

Picudo App es una Progressive Web App desarrollada en Typescript y Angular. Angular es un *framework* desarrollado por Google que proporciona a los desarrolladores las herramientas para concebir experiencias de usuarios web comparables a las de las apps nativas. El backend se desarrolló utilizando la API Platform de Symfony, *framework* de PHP.

La Figura 5 contiene muestra algunas de las interfaces de la PWA desarrolladas. La aplicación permite registrar, usando un teléfono celular, mediciones sobre capturas de picudos del algodonero en trampas colocadas en lotes de algodón y desmotadoras. Permite sistematizar la información y ponerla a disposición de integrantes de la cadena algodonera (productores, asesores, desmotadoras, etc.), con el fin de que les sirva para la toma de decisiones sobre el manejo de la plaga.

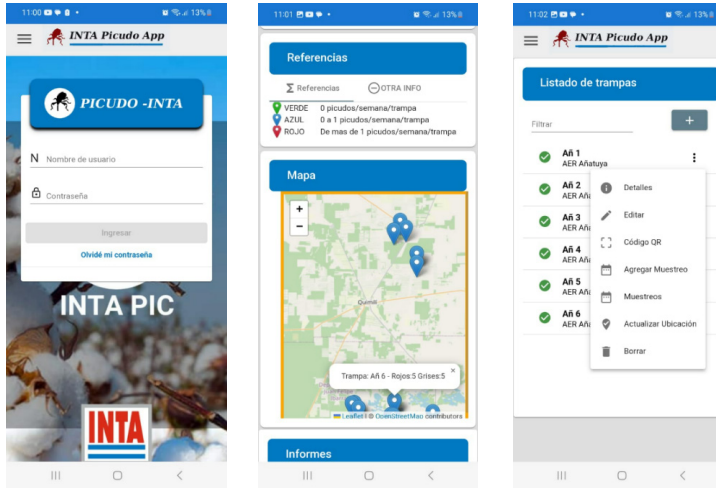


Figura 5. Progressive Web App desarrollada para el INTA: Picudo App.

La aplicación está siendo utilizada en la actualidad. Se están realizando estudios comparativos en relación a las variables de Ingeniería del Software. Si bien no se trata de un sistema educativo, la aplicación fue construida con el propósito de beneficiar a la comunidad de la provincia de Santiago del Estero, promoviendo el desarrollo productivo de la misma.

6. Discusión de resultados preliminares

Como se mencionó en la introducción, esta investigación, a través de sus diferentes sublíneas, aborda las variables accesibilidad e inteligencia de aplicaciones, además de las variables que se vienen trabajando desde 2012, que son movilidad, eficiencia del desarrollo e interoperabilidad (multiplataforma). Cuatro de ellas pertenecen al campo de la Ingeniería del Software y otra al campo de la Inteligencia Artificial.

Lo presentado en los apartados 3, 4 y 5, dan cuenta de que, en la primera mitad de ejecución del proyecto, se han realizado grandes avances en lo referido al desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma; es decir, en lo referido a las variables movilidad, eficiencia, interoperabilidad y, principalmente, accesibilidad.

Dentro de los métodos, cabe destacar que para el desarrollo se utiliza la metodología propuesta por el mismo grupo de desarrollo, denominado MobileRA y publicada en (Herrera et al., 2021). En cuanto a los paradigmas para el desarrollo multiplataforma, se utiliza tanto la compilación cruzada (AlgeRA, Matemática & Sonidos) como las PWA (Picudo App). La comparación de los resultados del desarrollo con ambas está en proceso de sistematización.

Resulta importante resaltar que el estudio de estos temas permite la actualización permanente del equipo de trabajo, facilitando el desarrollo de servicios a terceros para la construcción de aplicaciones útiles para el desarrollo productivo de la provincia.

En cuanto a los avances en *m-learning*, una de las líneas que aborda el grupo de investigación desde el año 2012, es relevante que se haya podido concretar, luego de la pandemia, la práctica con AlgeRA, en alumnos de Ingeniería de la UNSE, con resultados satisfactorios. Esto demuestra el beneficio de prácticas educativas con herramientas que contienen RA, permitiendo conectar el mundo abstracto del Algebra Lineal con situaciones concretas del mundo real.

Además del desarrollo multiplataforma, el equipo de investigación se aboca al diseño de otras soluciones integrales inclusivas que utilizan tecnologías ya desarrolladas y disponibles en la comunidad. En ese sentido, están en desarrollo: el modelo para la evaluación de accesibilidad web y móvil de sitios educativos, el modelo de enseñanza de inglés para niños con discapacidad visual, el modelo de aprendizaje para jóvenes sordos del nivel superior y el modelo de enseñanza en zonas aisladas (propios de provincias con alto porcentaje de población rural y baja densidad de población). Una vez que los mismos estén concluidos, se medirán sus resultados con la metodología propia de cada uno de dichos subproyectos.

Conjuntamente, la investigación que lleva adelante este equipo tiene un gran impacto sobre la educación inclusiva. En este sentido, junto a otro grupo de investigación del IIISI-UNSE, se publicaron resultados en (Duran et al., 2023), donde se hizo un análisis de la educación inclusiva en Argentina, mencionando los ejemplos desarrollados por estos grupos.

Por otra parte, en cuanto a los estudios sobre inteligencia, se avanzaron en estudios en colaboración con Laboratorio de Inteligencia Humana y Artificial de la Universidad Paris 8, abordando principalmente técnicas y herramientas con agentes inteligentes para optimizar la interacción de las máquinas con personas ciegas (Hanine et al., 2021). Se tiene previsto avanzar con más énfasis en estos aspectos en la segunda mitad de ejecución del proyecto.

Referencias

Archbold, S., y Mayer, C. (2012). Deaf education: the impact of cochlear implantation? *Deafness and Education International*, 14(1), 2–15.http://dx.doi.org/10.1179/1557069X12Y.0000000003

Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, S., y Yilmaz, R. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education,* 142(3), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103647

Barrera Nicholson, P., Herrera, S., Macedo, A., Trutner, G. y Diorio, G. (2020). Accessibility in Argentina. Initial comparison with the French domain. *Conference Handicap 2020*. ISBN 978-2-9571218-0-9. Paris. https://ifrath.fr/wp-content/uploads/2022/03/proceedings_handicap2020_paper.pdf

Batista, A. (2017). Uso de chatbots como apoyo para la comunicación en el Aula. Un asistente virtual 24x7x365 colaborando con el curso. *IV Jornadas de TIC e Innovación en el Aula.* La Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63541

Brezovszky, B., McMullen, J., Veermans, K., Hannula-Sormunen, M., Rodríguez-Aflecht, G., Pongsakdi, N., Laakkonen, E, y Lehtinen, E. (2019). Effects of a mathematics game-based learning environment on primary school students' adaptive number knowledge. *Computers & Education,* 128(1), 63-74. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.011

Congreso de la Nación Argentina (2010). Ley N°26.653, Acceso a la Información Pública. http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/175000-179999/175694/norma.htm

Congreso de la Nación Argentina (2015). Ley N°26.743 sobre el Derecho a la Identidad de Género. https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-903-2015-247367/texto

De Raeve, L. (2010). Education and Rehabilitation of Deaf Children with Cochlear Implants: A Multidisciplinary Task. *Cochlear Implants International,* 11(1), 7–14. https://doi.org/10.1179/146701010X12671178390717

Delía, L. N. (2017). *Desarrollo de aplicaciones móviles multi-*

plataforma. [Tesis de Especialización, Universidad Nacional de La Plata]. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60497

Diaz, A., Lazo, F., Rocabado, S., y Herrera, S. (2022). Modelo de Red seguro para M-Learning en cárceles del sistema penitenciario de Argentina. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología,* 32(1) 54-65. https://doi.org/10.24215/18509959.32.e6

Durán, E.B., Herrera, S.I., Fernández, P.M., Alvarez, M.M. y Zampar, M. (2023). ICT to Support Inclusive Education in the Republic of Argentina. *In: Rioux, M.H., Viera, J., Buettgen, A., Zubrow, E. (eds) Handbook of Disability.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1278-7_64-1

Dye, M. y Bavelier, D. (2010). Attentional enhancements and deficits in deaf populations: an integrative review. *Restorative Neurology and Neuroscience,* 28(2), 181-192. doi: 10.3233/RNN-2010-0501

Erber, N. (1982). *Auditory Training.* Washington, D.C.: A.G. Bell Association for the Deaf.

Fennema, M. C., Herrera, S. I., Palavecino, R. A., Najar Ruiz, P. J., Budan, P. D., Rosenzvaig, F., Carranza, A. J., y Saavedra, E. (2018). Aproximaciones para el desarrollo multiplataforma de Aplicaciones Móviles. *XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.* La Plata.

Glaser, A. (2019). *Automatic Speech Recognition_Services Deaf and Hard-of-Hearing Usability.* https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.02853

Gomez Raya, A. (2018). Intervención logopédica en la feminización de la voz en transexuales: revisión bibliográfica. *Revista de Investigación en Logopedia,* 8(1), 21-42. https://doi.org/10.5209/RLOG.59528

Hanine, M., Herrera, S., Chene, D. y Uzan, G. (2021). Agent virtuel pour l'utilisation effective du web par des aveugles. Colloque « Jeunes Chercheuses, Jeunes Chercheurs » : Handicap, Vieillissement, Autonomie, Insertion, Technologies. IFRATH. ISBN 978-2-9571218-1-6. https://ifrath.fr/jcjc2021/ Paris.

Herrera, S.I., Manresa-Yee, C. y Sanz, C.V. (2021). Mobile learning for hearing-impaired children: Review and analysis. Univ Access Inf Soc . https://doi.org/10.1007/s10209-021-00841-z

Herrera, S. I., Budan, P. D., Rosenzvaig, F., Ruiz, P. J., Morales, M. I., Maldonado, M. D., y Sánchez, C. A. (2021). Developing Augmented Reality Multi-Platform Mobile Applications. In F. Cipolla-Ficarra (Ed.), Handbook of Research on Software Quality Innovation in Interactive Systems (pp. 371-390). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7010-4.ch016

Herrera, S., Sanz, C. y Fennema, C. (2013). MADE-mlearn: un marco para el análisis, diseño y evaluación de experiencias de m-learning en el nivel de postgrado. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 10(1), 7-15. La Plata.

Herrera, S. (2020). Mobile Learning with Augmented Reality to Improve Inclusion of Hearing-Impaired Children. *Mobile Learning Week.* UNESCO. Paris.

Hersh, M. (2020). *Technology for inclusion.* UNESCO Digital Library. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373655

Kelman, C.A. y Branco, A.U. (2009). (Meta) Communication strategies in inclusive classes for deaf students. *American Annals of the Deaf,* 154(4), 371-381.doi: 10.1353/aad.0.0112

Kheir, R. y Way, T. (2006). Improving speech recognition to assist real time classroom note taking. *Proc. Rehabilitation Eng. and Assistive Technology Soc. of North America Conf.* (RESNA). https://www.researchgate.net/publication/228493123_Improving_speech_recognition_to_assist_real-time_classroom_note_taking

Kosuke, A., Seiichi, S., y Yuhki, K. (2017). Voice Recognition and Information Transmission-System for Hearing Impaired People. *5th Intl Conf on Applied Computing and Information Technology.* Hamamatsu, Japón. doi: 10.1109/ACIT-CSII-BCD.2017.66

Ley de Educación Nacional Nº26.206. Publicada en el *Boletín Oficial*, 28 de diciembre de 2006. Argentina.

Ley Nº26.378. Convención de los Derechos Humanos de las

Personas con Discapacidad. Art 24. *Aprobado por el congreso Argentino,* 13 de diciembre de 2006.

Ley Nº26.743. Identidad de género. - 1a ed. (2014). Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación. Secretaría de Derechos Humanos. http://www.jus.gob.ar/media/3108867/ley_26743_identidad_de_genero.pdf

Morales, M., Herrera, S., Maldonado, M., Budán, P. y Rosenzvaig, F. (2018). M-learning con Realidad Aumentada para el aprendizaje significativo en Álgebra Lineal. *Revista Tecnologias na Educação,* 10(24), 1-13. http://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2018/06/Art7-vol.24-Edi%C3%A7%C3%A3o-Tem%C3%A1tica-VII-Junho-2018.pdf

Onrubia, J. (2005) Aprender y enseñar en entornos virtuales: actividad conjunta, ayuda pedagógica y construcción del conocimiento. RED: *Revista de Educación a Distancia,* número monográfico II.

Organización Nacional de Ciegos de España. (2022). La discapacidad visual. ONCE. https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual

Pachler, N., Bachmair, B. y Cook, J. (2010). *Mobile learning: structures, agency, practices.* Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-0585-7

Sakkal, A., y Martin, L. (2019). Learning to rock: The role of prior experience and explicit instruction on learning and transfer in a music videogame. *Computers & Education,* 128(1), 389-397. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.007

Sung, Y., Chang, K., y Liu, T. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education,* 94(1), 252-275. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.008

Talukder, A., Ahmed, H. y Yavagal, R. (2010) *Mobile Computing, Technology, Applications, and Service Creation.* Tata McGraw-Hill Education Private Limited.

Thomas, P., Delia, L., Corbalán, L., Cáseres, G., Fernandez Sosa, J., Tesone, F., Cuitiño, A., & Pesado, P. (2018). Tendencias

en el desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles. *XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.* Corrientes, Argentina. http://wicc2018.unne.edu.ar/wicc2018librodeactas.pdf

Trezek, B. J., y Wang, Y. (2006). Implications of utilizing a phonics-based reading curriculum with children who are deaf or hard of hearing. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education,* 11(2), 202– 213. https://doi.org/10.1093/deafed/enj031

Wargo, J. (2015) *Apache Cordova 4 Programming*. Addison-Wesley Professional.

World Wide Web Consortium (2020). Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG). https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/es

Zampar, M. y Herrera, S. (2022). Tecnologías de reconocimiento automático de voz en contextos educativos: una revisión sistemática de literatura. *XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2022.* ISBN: 978-987-1364-31-2. Pp. 207-216. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149582 . La Rioja.

Zampar, M. (2019). Estrategias de estudios con principio de logogenia en software. Tesis de Maestría UNLP. https://doi.org/10.35537/10915/85977 La Plata.

Zurita Núñez, K. S. (2021). *Frameworks para el desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma compiladas de forma nativa – estudio comparativo y ejemplos prácticos.* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/19736

IV. ÁREA TEMÁTICA: SALUD, EDUCACIÓN Y SOCIEDAD

ESTRUCTURA SOCIAL Y ECONÓMICA, TRANSFORMACIÓN Y DESIGUALDAD EN LA PERIFERIA. EL CASO DE SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA, 1994-2010

Jorge L. Silveti[1], Noelia Gurmendi[2], Rita G. Salvatierra[3]

Resumen

La presente contribución es sucinto resultado del proyecto de investigación de la Facultad de Humanidades, Cs. Sociales y de la Salud, UNSE. El mismo propone analizar el particular sendero que recorrió la sociedad de Santiago del Estero en el periodo 1994-2010. En relación a sus estructuras productivas, de empleo y la distribución funcional del ingreso. La hipótesis formula que se produjeron cambios estructurales con modifi-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Humanidades Ciencias Sociales y de la Salud. Santiago del Estero-CEDEP. Argentina.
2 Instituto de Estudios para el Desarrollo Social. CONICET. Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Humanidades Ciencias Sociales y de la Salud- CEDEP. Santiago del Estero, Argentina.

caciones del rumbo de política económica, pero sin embargo no se logró generar un escenario de crecimiento estable, con sostenibilidad económica, social y ambiental y mayor igualdad. La investigación persigue como objetivo la identificación de factores macroeconómicos y estructurales relevantes, en relación a explicar los obstáculos que presenta la economía santiagueña para enfrentar el desafío del desarrollo, en sus dimensiones cardinales de crecimiento, estabilidad, sostenibilidad, cambio estructural e igualdad. El método de estadística regresiva y econometría conocido como *test de Chow*; la técnica de regresiones segmentadas del software estadístico *Joinpoint 04* y la fórmula de Fabricant se presentan como los procedimientos metodológicos adoptados.

Palabras clave: desarrollo social y económico, cambio estructural, estabilidad, igualdad

1- Introducción

El recorrido que se presenta en esta ocasión se vincula a los resultados de investigación del proyecto que estuvo centrado en el estudio de la particular evolución económica y social de las regiones subcapitalizadas de la periferia capitalista. Espacialmente se ubica en los vastos territorios latinoamericanos que nunca lograron un adecuado nivel de acumulación de capital y, sin embargo, sufrieron transiciones que modificaron sus estructuras productivas y del empleo.

Para ello se toma como caso particular de estudio a la provincia Santiago del Estero, en un recorte de su sociedad y su economía vinculados al desarrollo, con foco en las dimensiones tanto de la igualdad como del cambio estructural, en el periodo seleccionado. La cuestión por lo tanto se enmarca en la problemática que enfrentan las sociedades subcapitalizadas

insertas en regiones periféricas del capitalismo global, en relación a sus dificultades para promover el cambio estructural con igualdad, engranaje central del desarrollo.

Una de las características principales de las regiones marginales del capitalismo periférico, como Santiago del Estero, es su dificultad para generar empleo productivo derivado de la incapacidad de alcanzar niveles adecuados de formación de capital. La debilidad del sector industrial, en la estructura productiva y del empleo, trasciende justamente en una deficiente demanda de mano de obra que, junto a la imposibilidad del sector rural de retener su fuerza de trabajo, conduce a la población excedente a buscar refugio en el sector servicios, dando lugar al proceso que en el presente documento se ha dado en llamar: *terciarización forzada*[4].

La estructura productiva de Santiago del Estero se caracteriza por sostener un importante sector agropecuario (que actualmente puede ser calificado de tipo dual o de estructura heterogénea), con una reducida productividad de la mano de obra y como se acaba de expresar, incapaz de retener a su población. Esta particular configuración posee cierta semejanza con las sociedades tradicionales en las etapas tempranas de la transición hacia la modernidad. Pero contrario sensu también se observa un significativo sector terciario, propio de las sociedades posindustriales. ¿Cómo se explica esta aparente contradicción?

En la transición hacia el desarrollo, la expansión del sector servicios se origina como complemento del crecimiento

4 Refiere según Silveti, JL (2019) a la población excedente, proveniente de la economía familiar de subsistencia del sector rural, genera su propio trabajo en el sector urbano, pero sin modificar el signo de subsistencia del cual partieron, si bien encuentran otro tipo de beneficios, como el acceso a bienes públicos y redes sociales de contención.

del sector manufacturero. A medida que el sector industrial se consolida aumenta su necesidad de servicios: educativos, de capacitación, de seguridad social, bancarios, tecnológicos, de conocimiento, de servicios básicos, de salud, inmobiliarios, esparcimiento, etc. En oposición, en las regiones rezagadas, la población proveniente del sector rural se refugia en el sector servicios, principalmente en empleos precarios, al no encontrar cabida en el empleo privado formal. El cambio estructural devenido de este tipo de transición (denominada como *degenerativa*) no logra mejorar la productividad, ni el nivel de bienestar social generando con su cronicidad espacios neutrales de equilibrios de bajo nivel[5].

En función de lo señalado, importa mencionar que Santiago del Estero presenta una estructura productiva y de empleo particular. No constituye una economía tradicional o agrícola, pero tampoco pudo alcanzar un mínimo desarrollo industrial y no existen en este sector enclaves tecnológicos de alta productividad. Sin embargo, puede observarse que se produjeron en el período bajo análisis ciertas transformaciones basadas primordialmente en la transferencia de recursos del sector primario a los sectores de construcción y de servicios de baja productividad y se establecieron empresas de mayor envergadura vinculadas a determinados servicios (farmacias, alimentos, electrodomésticos, turismo) como también, en las últimas dos décadas, un importante desarrollo dentro del sector agropecuario en forma de enclave. A su vez, una tardía transición demográfica dejó sus huellas con características tales como migración, bajas tasas de mortalidad, aumento en las de natalidad y concentración espacial de la población con notorias desigualdades territoriales.

5 Según Gurmendi(2022), sostiene que este modelo se manifestaba en bajas tasa de actividad, altos niveles de subocupación y desempleo oculto.

Lo cierto es que la incapacidad de absorber empleo, producto de una débil estructura productiva, se presenta como un rasgo insoslayable para comprender la realidad social y política de la provincia de Santiago del Estero. Debido a la escasa formación de capital, el sector servicios emerge como el receptor del empleo excedente, pero en ocupaciones de baja productividad, institucionalidad y remuneraciones. Esta terciarización se ubica lejos de ser "virtuosa", ya que no responde a la demanda de los sectores dinámicos de alta productividad, sino que es una terciarización "forzada", que sirve de refugio al excedente de oferta laboral proveniente del sector rural.

Ante la fragilidad en la absorción sostenible y productiva de mano de obra, propia de la debilidad del sector manufacturero, la mano de obra excedente tuvo dos destinos: migrar buscando horizontes laborales que la provincia no ofrecía o la inserción forzada en el sector terciario en condiciones de baja productividad y elevada precariedad.

Lo cierto es que la estructura productiva en Santiago del Estero ha sido incapaz de absorber empleo para mantener el mercado de trabajo tenso adecuado al crecimiento de la PEA. El estudio de este tipo de sociedades no ha sido abordado, como objeto particular, por ninguna escuela de pensamiento. Incluso el Neoestructuralismo Latinoamericano, principal corpus teórico-metodológico en este trabajo -debido a su mayor proximidad a la problemática-, se enfoca en sociedades periféricas con despegue tardío e industrialización truncada. Santiago del Estero no representa una economía tradicional o agrícola, pero tampoco pudo generar las condiciones necesarias para el despegue en términos de estándares de modernidad, con la crónica debilidad de su sector industrial.

El período fue seleccionado en virtud de que permite examinar la situación actual con perspectiva histórica, dado que las raíces que llevaron al país y sus regiones al estancamiento secular, el bajo nivel de acumulación y el consecuente atasco

de la productividad y por ende de los salarios y de la generación de empleo, comienza a mediados de la década del setenta coincidiendo con el auge de la globalización como fenómeno a nivel mundial. El periodo analizado puede caracterizarse en el país como el de continuos choques institucionalizados, crisis inflacionarias, déficit fiscal, creciente pobreza, desigualdad, precariedad laboral y desindustrialización. La falta de un proyecto de desarrollo, de una visión de largo plazo, la inexistencia de una macroeconomía sostenible que permitiera evitar el sendero del modelo *stop & go*, sino agravarlo y conducirlo al caracterizado por el *go & crash*, situación que se ajusta más al presente de la economía argentina.

A partir de la década de 1970 en el país se agudiza el proceso de fragmentación social, violencia y anomia social. Acompañando ello, el abandono del proceso de industrialización tanto por sustitución de importaciones (ISI) como de exportaciones (ISE) que habían logrado que la industria lograra su mayor participación dentro del PBI con el 27% y que las exportaciones industriales constituyeran el 50% de la balanza comercial a mediados de la década del setenta.

En el país comienza a diluirse la aplicación de la planificación central y las estrategias de desarrollo industrialistas, siendo gobernados en las primeras dos décadas por militares y radicales y en los últimas tres por el peronismo. En Santiago del Estero la etapa se encuentra marcada por dos caudillismos, o más precisamente dos regímenes noepatrimonialistas[6], bajo las figuras de Carlos Arturo Juárez hasta principios del presente siglo y de Gerardo Zamora en las últimas dos décadas.

6 Entendido como modelos de gobierno en los cuales el poder político y la toma de decisiones están fuertemente influenciados por intereses personales y redes de clientelismo.

2. Métodos y fuentes

La metodología adoptada para el estudio es cuantitativa, con principal base en funciones generales de la estadística descriptiva e inferencial bajo la utilización particular de las siguientes herramientas: el *software Rstudio*, el procedimiento de estadística regresiva y econometría conocido como *test Chow*; la técnica de regresiones segmentadas que provee el software estadístico *Joinpoint 04*[7] y la fórmula de *Fabricant*. El período esconde una gran riqueza para el análisis y existen datos relevantes que cubren estos años, si bien se presentan en series discontinuas y las fuentes se encuentran dispersas. Los informes del Producto Bruto Geográfico[8] (PBG), los Censos Nacionales (CN) y la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) junto a otros censos como el Económico y la Encuesta Industrial básicamente brindan información –con diferencias de cobertura y método- a partir de la década de 1994 a 2010.

Vale mencionar que al Producto Bruto Geográfico (PBG) provincial en sus dos mediciones periódicas 1994/2007 y 2008/2012, se procedió a desdoblar el valor agregado (VA) en sus dos valores básicos: precio y cantidad o volumen físico, con el fin de establecer la naturaleza nominal y/o real de los cambios, lo cual permite observar el comportamiento de la estructura productiva y del empleo. Para ello se aplicaron instrumentos de la estadística descriptiva tales como análisis de frecuencia, medidas de centralidad y dispersión. Y se trabajó bajo métodos estadísticos también inferenciales.

7 Interpreta una serie de tiempo, identifica la tasa de crecimiento de cada tendencia, ubica el o los posibles puntos de quiebre de tendencias y la robustez de las diferentes estimaciones.

8 Representa el valor de los bienes y servicios producidos en una región en un período de tiempo, generalmente un año.

3. Principales contribuciones teóricas al problema

Las principales dimensiones generales enfocadas en la investigación: crecimiento, estabilidad, sostenibilidad, igualdad y los vínculos existentes entre ellas, han sido objeto de numerosos estudios algunos de los cuales abordados por las principales escuelas teóricas tanto ortodoxas como heterodoxas. Sería propio de un extenso análisis nombrar los enfoques que las analizan, desde Adam Smith en adelante.

Antecedentes teóricos acerca del tema del crecimiento económico remontan a los economistas clásicos. Según Smith (1987), el crecimiento se produce en virtud de un círculo virtuoso que surge en la división y especialización del trabajo. Esta diversificación es posible gracias a la acumulación que lleva incorporada nueva tecnología, asumiendo al progreso técnico como un proceso natural y sostenido. Según este autor, la división del trabajo implica mayor productividad y salarios; lo cual origina el aumento de la producción y el ingreso e impulsa el consumo, generando una nueva ola de inversión para satisfacerlo con su añadida innovación (Ekelund y Hébert, 1992).

Otro autor clásico David Ricardo mantenía fuera del circuito de acumulación al progreso técnico, y argüía que el estadio final del crecimiento era el estancamiento o "*stationary state*", dado que genera tensiones en los precios debido a que el factor tierra es heterogéneo. Esto produce que los salarios monetarios suban ya que el salario real se mantiene al nivel de subsistencia. El impacto será la reducción de beneficios y por lo tanto de la inversión, con productividades en baja, arribando al estado estacionario con acumulación cero (Ricardo, 1817).

Desde la perspectiva abierta por la argumentación de Ricardo es posible entender la convergencia "natural" entre países pobres (agrícolas) y ricos (industriales), ya que la expansión de la demanda junto a la heterogeneidad de la tierra y la homogeneidad de los demás factores, genera una continua transfe-

rencia de ingresos y recursos hacia las actividades intensivas en tierra (recurso escaso).

El economista austríaco Joseph Schumpeter elaboró la teoría conocida como la "*Creative Destruction*". Ésta revela y destaca el rol del empresario, cuya acción fundamental en la evolución del sistema es innovar, a diferencia de los capitalistas, terratenientes y banqueros. La innovación puede representar tanto el descubrimiento de un nuevo producto como un método de producción más eficiente, pasando por una mejor organización de la producción, o simplemente plantearse a partir del hallazgo de nuevos insumos o mercados. Sea cual fuere el origen y causa, se traduce en la modificación de la función de producción, convirtiéndola en más compleja y diversificada (Schumpeter, 1963).

En virtud del cambio tecnológico, la economía comienza un ciclo expansivo rompiendo de este modo el circuito económico walrasiano de equilibrio. A medida que la nueva tecnología se difunde, surgen las innovaciones secundarias de soporte, pero luego de alcanzar el punto de auge, sus efectos se irán difuminando y el crecimiento se irá desacelerando, hasta desembocar en una nueva situación de equilibrio, con tendencia al estancamiento debido a las tasas marginales decrecientes de la productividad del capital. Esta argumentación teórica sirve también para dar sustento a los ciclos económicos capitalistas (Schumpeter, 2002).

El tema del crecimiento aplicado a los países periféricos surge con la denominada "Teoría del Desarrollo" a mediados del siglo pasado, cuando un grupo variado de economistas, preocupados por el aumento de la brecha en los niveles de crecimiento entre países, comienzan a analizar a las economías atrasadas. Autores como Prebisch, Hirschmann, Myrdal, Nurske, Rostow y Lewis, integran este destacado elenco. Posturas que analizan el crecimiento de los países rezagados y descubren tendencias que condicionan este proceso, resal-

tando aspectos y patrones en dichas economías, tales como el equilibrio de bajo nivel, la lenta difusión -y apropiación asimétrica- del cambio tecnológico, la heterogeneidad estructural y segmentación en los mercados de trabajo, la especialización en productos de baja elasticidad ingreso, las deficiencias en la planificación central, el insuficiente ahorro interno, el crecimiento poblacional y el bajo nivel educativo (Moncayo, 2001).

En el ámbito de la región, la Teoría Estructuralista que nació en el seno de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Naciones Unidas, bajo el influjo del notorio economista Raúl Prebisch también realizó sus importantes aportes sobre la problemática aquí planteada. El Estructuralismo concibe al desarrollo latinoamericano como un proceso de cambio estructural (con el surgimiento de desigualdades sectoriales y transferencia de recursos de la agricultura a la industria) hacia formas más complejas, con encadenamientos verticales y horizontales (aglomeraciones) y productividad creciente.

En estas sociedades el rol del Estado es fundamental para romper con la "heterogeneidad estructural". En el tejido productivo de las economías latinoamericanas conviven núcleos industriales de alta productividad, por un lado, con una extendida profusión de empresas pequeñas intensivas en trabajo, aunque de baja productividad, por el otro. Si bien la relación entre ambos resulta escasa, los primeros se encuentran vinculados fuertemente al exterior (tanto en su capital constitutivo, como por su incorporación de tecnología y en su comercio). Las segundas, es decir las empresas pequeñas, no desaparecen por dos motivos, uno endógeno y otro funcional al sistema. Su carácter informal y artesanal, flexible y adaptable les permite filtrarse en las grietas del mercado. Por otro lado, su escasa productividad las obliga a presionar continuamente los salarios a la baja; salarios que son comunes a todo el sistema y que genera externalidades positivas a las grandes corporaciones, induciendo a beneficios extraordinarios asimilables a la *cuasi*

renta del trabajo barato. Esta situación les permite a las corporaciones obtener importantes márgenes, los cuales son girados a sus casas matrices.

Este tipo de estructura productiva se asocia a excedentes elevados propios de una mayor concentración patrimonial. Por lo tanto, el mismo espíritu capitalista arroja a los agentes tras las rentas de mercados imperfectos, y su requisa se constituye en un nuevo eslabón de la espiral concentradora.

Cuando la economía crece, dado que el salario medio no aumenta en la misma medida que la productividad, las asimetrías se acrecientan y condicionan las posibilidades del desarrollo sostenido. La acción del Estado en tales circunstancias es indispensable, centrada fundamentalmente en estrategias que propicien la convergencia (Di Filippo, 2009).

A partir de la década de 1960 comienza a discutirse con creciente intensidad en el ambiente académico, la teoría neoclásica matizada del modelo de Solow (1956). Responde a un modelo de equilibrio general, de un sector, con tecnología como factor exógeno, rendimientos constantes a escala y acumulación de factores homogéneos. La economía crece con mayores inversiones, pero cada nuevo aporte de capital reduce los beneficios, debido a la ley de los rendimientos decrecientes y en el largo plazo conduce al estancamiento. La hegemonía de esta concepción provocó en esos años, un descuido por el progreso técnico y los cambios estructurales, y una preocupación por la calidad institucional (llámese "imperio del mercado") y el respeto a la propiedad privada y a los diversos contratos sociales.

Autores como Romer y Lucas actualizaron la teoría neoclásica, agregando la innovación como factor endógeno y modificaron el supuesto de economías constantes a escala, por crecientes a escala. La tecnología emerge como factor fundamental del desarrollo, lo cual implica mayor diversificación de las funciones de producción y complejidad tecnológica, con especialización creciente del trabajo (CEPAL, 2007).

Dentro de las corrientes contemporáneas surgidas a partir de finales del siglo pasado, se destaca la denominada "Nueva Teoría del Crecimiento" con Krugman y Stiglitz como abanderados, como también el pensamiento renovado de los institucionalistas. Los "nuevos keynesianos de la información imperfecta", como se conoce a la corriente encabezada por Stiglitz, definen el desarrollo como un proceso de cambio organizacional.

De modos tradicionales de enfocar la salud, la educación y la producción hacia enfoques más modernos, situando bajo la lupa a las instituciones, la distribución, la historia, la ecología. El análisis se vincula a reconstruir los ámbitos del Estado y del mercado. El rol del Estado pasa por la promoción de la educación y la salud; el apoyo al cambio tecnológico y al sistema financiero; la construcción de infraestructura: caminos y comunicaciones y el cuidado del medio ambiente.

La Escuela Neoinstitucionalista liderada por North, sostiene que la diferencia entre países ricos y pobres se basa en que los primeros mantienen la supremacía de la ley y las normas, con especial cuidado en la protección de la propiedad privada. Con contratos y garantías, registro de marcas, leyes e instituciones que legislan y las hacen cumplir. Los países pobres, en oposición, se caracterizan por la anomia y fragilidad institucional y la rapacidad del poder económico y político, convirtiendo sus instituciones en verdaderas amenazas para el progreso (Guillén Romo, 2005).

Insertos en esta corriente, Daron Acemoglu y James Robinson proveen información referida a las causas del progreso de las naciones. Partiendo de darle un lugar central a las instituciones y políticas gubernamentales como categorías explicativas de las diferencias del ingreso *per cápita* entre países, intentan desentrañar las causas de las diferencias entre instituciones de países ricos y pobres. Mediante un modelo econométrico muestran como los colonizadores propiciaron instituciones inclusivas o extractivas, de acuerdo a condiciones exógenas

como la tasa de mortalidad. Y a su vez, cómo aquellas instituciones originarias influyen en las actuales y condicionan los diversos desempeños de los países (Acemoglu et a., 2005).

Por último, cabe nombrar a la corriente surgida en Europa, especialmente en Italia y Francia, cuya categoría básica se ubica en torno a la acumulación flexible -y alcanzaron a influir de manera notable en la política pública para el desarrollo en Argentina durante el presente siglo-. En ella se analiza el nivel mesoeconómico referido no a los sistemas productivos regionales, sino a un sector industrial y sus vinculaciones circulares: competencia, emulación y cooperación. Comprende los sistemas de producción, la política macroeconómica y las instituciones sociales.

El colapso de viejos centros industriales y el éxito de pequeñas regiones surgidas a partir de distritos industriales representa el eje de esta nueva teoría, que explica las causas del deterioro industrial, poniendo el énfasis, no ya en políticas erradas, sino en el agotamiento del planteo fordista. La propuesta es el retorno a las pequeñas empresas flexibles, innovadoras, artesanales, de baja participación de capital fijo y elevada diferenciación.

La teoría es seguida con interés, debido a que permite saltar por encima de los condicionamientos impuestos por el crecimiento desigual y las asimetrías emergentes de mercados imperfectos y, a partir de políticas activas propias, de baja exigencia financiera y procesos tecnológicos locales, se puede lograr insertar un territorio competitivamente en el mundo, evitando desplazar trabajo por capital. Los aspectos relevantes de esta postura se basan en cuestiones sociales e institucionales, en la eficiencia colectiva, en la formación de redes y el aprovechamiento de las externalidades de la innovación. Lipietz, Aydalat, Benko, Boyer, Veltz y Laborgne en Francia; Becattini, Garogolo, Bagnasco en Italia, Cuadrado Roura y Vásquez en España y Scott, Fisher, Sakernian y Markusen en EEUU, son autores prolíficos dentro de esta corriente.

La vinculación entre crecimiento y desigualdad también ha

sido objeto de numerosos estudios. La problemática del efecto de la desigualdad respecto del crecimiento comienza con Nicholas Kaldor, en la década de 1950. Sus argumentaciones fueron la base de la primacía del pensamiento del *trade-off* entre eficiencia y equidad y del denominado Estado del Bienestar.

Este enfoque teórico parte del modelo keynesiano de Harrod-Domar, pero supone la sociedad dividida en dos clases: capitalistas y trabajadores, quienes perciben el total del ingreso nacional en forma de beneficios y salarios, mientras que los primeros poseen una menor propensión marginal a consumir. Utilizando su modelo se concluye que, en caso de pleno empleo, la economía crecerá a una tasa "natural". Pero en cambio, si existen recursos ociosos y los beneficios aumentan, entonces el ahorro crecerá impulsando un mayor nivel de crecimiento. La tarea de la política económica ya no pasaba por la asignación de recursos como enseñaban los neoclásicos, sino por balancear crecimiento con equidad (Estado del Bienestar).

Solow comparte la conclusión de Kaldor. En su modelo neoclásico de oferta, se llega al corolario que una mayor desigualdad traerá aparejado un nivel más alto de ingreso.

En la misma línea, la experiencia del comunismo ruso en su primera fase y la aplicación de recetas keynesianas durante la 2da Guerra Mundial, que impulsaron la inversión a costa del consumo con protagonismo estatal, tuvieron un impacto favorable sobre el crecimiento, y fueron factores importantes en elevar el consenso existente respecto al *trade-off* entre eficiencia y equidad.

En su origen, la especulación referida al vínculo negativo entre crecimiento e igualdad, proviene de la Escuela Anglosajona del Desarrollo, que luego Kaldor proyectaría. Esta escuela concibe el crecimiento como un proceso que requiere de fuertes inversiones iniciales, constituyendo la concentración de las riquezas un elemento favorable para tal fin, al menos en la etapa que Rostow denominó "despegue". El modelo de

Lewis permite advertir que la transición de lo tradicional a lo moderno genera asimetrías sociales crecientes, hasta el punto en el cual la mitad de los recursos del sector tradicional a la industria se haya efectuado (Guillén Romo, 2005).

Un aporte empírico respecto a los efectos del crecimiento sobre la desigualdad lo brinda la curva de Kuznets, que refleja una relación directa entre ambas variables cuando el ingreso o PBI *per cápita* es bajo, pero luego equidad y crecimiento se conjugan, en etapas de ingresos altos. Es importante aclarar que estos resultados son estadísticamente no significativos, debido al tamaño de la muestra recogida por Kusnetz, de solo 5 países. El verdadero aporte de este autor al análisis económico fue mostrar que el crecimiento implica desplazamientos que afectan la distribución de los ingresos. Posteriores estudios demostraron la endeblez de la pretendida vinculación basada en una regularidad empírica.

Un estudio con una importante casuística es el elaborado por el Banco Mundial (1996) (coordinado por Deininger y Squire), en el cual se observa que en el 80% de los casos no existe una relación estadística significativa.

Estudios científicos posteriores terminaron con este debate: la relación planteada entre crecimiento e igualdad es compleja e indeterminada. Se demostró que no existe una vinculación precisa entre crecimiento y desigualdad. Es relativa al espacio y al tiempo y en varios casos es inexistente.

Importa señalar, por último, el pensamiento de la CEPAL respecto al modo de lograr avances en torno a la igualdad. Indica que la institucionalidad, como principal método de ejecución estatal para lograr una mayor igualdad, representa un argumento insuficiente y de corto plazo. Para que la igualdad sea un objetivo sostenible, se debe apoyar en estrategias que transformen el mundo del trabajo, el cual es concebido como "la llave maestra" para lograr una mayor igualdad. Procede de la estructura productiva y condiciona el sistema social, a modo

de bisagra entre la economía y las condiciones de vida. Una estructura productiva asentada sobre ramas dinámicas competitivas generará un mercado de trabajo con las condiciones ajustadas al trabajo decente, ocasionando un mayor bienestar social. (CEPAL, 2014).

Respecto a la vinculación entre crecimiento y empleo los estudios y planteos teóricos se han enfocado a intentar determinar cuánto debería crecer una economía para disminuir el desempleo, o para mantener el nivel de pleno empleo. Estos esfuerzos no han llegado a la fecha, a conclusiones definitivas. La discusión referida al impacto de cambios en el producto sobre el nivel empleo, continúa abierta en cuanto a construcciones especulativas e hipótesis.

El antecedente teórico primigenio de esta discusión se encuentra en la denominada "Ley de Okun" en honor al economista norteamericano Arthur Okun. En 1962 publicó el artículo "*Potential GNP: Its Measurement and Significance*", en el cual relaciona la tasa de actividad con el desempleo. Con datos recogidos de la economía de su propio país para la década de 1950, descubre la regularidad empírica -incorrectamente denominada ley-, que a posteriori pasaría a constituirse en una de las escasas reglas de oro de la economía. Revelaba el estudio que, ante un nivel de desempleo con rango de 3% a 7,5%, la elasticidad producto del empleo (EPE) se ubicaba en el orden del 0,33 al 0,40. Traducido en objetivo de política: para reducir el desempleo en un punto era necesario elevar el producto entre un 2,5% al 3% anual (Okun, 1962).

Algunas teorías apoyan la hipótesis de que la desigualdad es causa de estancamiento. Es posible nombrar las actuales elaboraciones de Joseph Stiglitz con la "Teoría de la regulación" (2010) como también la del "Votante mediano" (Krugman y Wells, 2007).

Antes de referirnos a los estudios sobre Santiago del Estero,

cabe mencionar aquellos estudios que hacen referencia a las diferencias regionales que caracterizan la Argentina y su región NOA. Estas investigaciones, indican que la mayor parte de la producción de bienes y servicios del país, y de su población, se concentraron en la región Pampeana. Por el contrario, muestran que el Norte argentino experimentó un significativo declive económico y una pérdida de participación en la población total, conservando durante un largo período un peso marginal en la producción de bienes y servicios de la Argentina, fruto de tener una estructura productiva débil y rezagada (Bunge, 1984; Manzanal y Rofman, 1989; Rofman y Romero, 1997; Ferrer, 2008; Gomez Lende y Velásquez, 2008).

Una serie de trabajos analizan las transformaciones socioeconómicas que afectaron en las últimas décadas del siglo XX distintas economías del interior del país, caracterizando como regresivos los cambios que impuso la política de ajuste estructural que se inició con la última dictadura militar y se consolidó en la década de 1990. Estas investigaciones señalan, entre los cambios relevantes, el avance de las producciones orientadas al mercado externo, la crisis de las economías regionales cuyas producciones se caracterizaban por ser de baja productividad y destinadas al mercado interno, el proceso de desindustrialización y el mayor peso del sector terciario, la desaparición de los pequeños y medianos productores. A su vez, señalan el impacto regresivo que tales transformaciones productivas ocasionaron en los mercados de trabajo y en las condiciones de vida de las poblaciones, describiendo la situación del norte argentino como la de mayor gravedad en el país (Manzanal y Rofman, 1989; Rofman y Romero, 1997; Velásquez, 2001; Velásquez, 2008; Longhi y Osatinsky, 2016).

De importancia son también un conjunto de investigaciones compiladas en Bolsi y Paolasso (2009), que vinculan las transformaciones económicas y la pobreza que afectaba a las distintas poblaciones del Norte Grande Argentino en la década

de 1990 y a comienzos del siglo XXI. Estos trabajos describen distintos aspectos del deterioro social y la pobreza, vinculando esa realidad social con el proceso de territorialización experimentado por las poblaciones de la región.

Respecto a estudios que analizan la economía santiagueña de las últimas dos décadas, existe una mayoría que se centra en el crecimiento del PBP y diversos aspectos de los ciclos económicos, observando las fluctuaciones cíclicas, la dinámica espacial y temporal de las actividades económicas, los flujos ascendentes y descendentes de las actividades productivas y las causas que lo producen (CFI, 2010; 2012). Algunos de estos trabajos indagan, además, respecto a la existencia tanto de cambio estructural como de tendencia y de puntos de inflexión a partir de 1990 (Lo Cascio y Martínez, 2015; CFI, 2014).

La estructura y especialización productiva y el análisis de sectores y ramas, es un tema abordado por el CFI (2010; 2007a). Dentro de esta temática, el desarrollo local y el análisis de ramas estratégicas, o sea aquellas que por su competitividad conviene promover, es tratado en informes del mismo CFI (2009; 2012; 2007a) y todas conducen en la dirección que son las actividades primarias o extractivas las que poseen ventajas competitivas. Otros escritos analizan la evolución del sector industrial y coinciden en el diagnóstico del escaso tamaño del sector y su situación de estancamiento secular (Lo Cascio y Martínez, 2015; Zurita, 1999).

Tanto los factores socioeconómicos y la productividad de los factores son evaluados por sendos informes del CFI (2012; CFI, UCSE, 2011. Este mismo documento trata sobre el tema de la desigualdad.

Se encuentran también otros artículos, pero ya desde la disciplina de la historia, con referencias sobre aspectos económicos de la provincia a partir de 1990 (Salas, 2005; Tenti, 2005).

Respecto al tema del mercado de trabajo de la provincia

en el período, existen escasos artículos entre los cuales vale nombrar el de Díaz (2015), que trata sobre la capacidad de absorción de empleo de calidad por ramas de actividad, tomando como fuente de información la EPH.

También y desde el ámbito de la demografía Gómez (2004) se dedica a la cuestión. Asimismo, aspectos demográficos y estructurales del mercado de trabajo son abordados por Zurita (1997).

Existen diversos trabajos enfocados en la economía provincial y de la región en el período transcurrido entre fines del siglo XX y principios del XXI. El análisis de la estructura productiva y del empleo; la evaluación de la tasa de crecimiento y el examen de la dinámica de acuerdo a las fases del ciclo; la situación respecto a los factores socioeconómicos y sus indicadores; la detección de posibles puntos de cambio de tendencia; la medición de la desigualdad en la distribución del ingreso, de las brechas remunerativas y del empleo por condición de ocupación, entre otros temas, han atraído la atención de los investigadores sociales.

De tal modo que existen documentos cuyo objetivo consiste en analizar la economía, los cambios y características que experimentó el mercado de trabajo y la población activa de la provincia en el período. Sin embargo, son escasas aún las publicaciones referidas a realizar estudios comparados entre las transformaciones productivas en el largo plazo, relacionados a su vez, con los cambios en el mercado de trabajo y la distribución del ingreso.

4. Comentarios del análisis empírico y resultados

En los últimos 20 años en la provincia se produjo un cambio estructural en el año 2004 de acuerdo con las pruebas estadísticas. Se puede observar en las tablas *ut-infra* cómo se

modifican las variables más importantes abordadas antes y después del cambio estructural.

Años /variables	1994-2004	2004-2007
Regresión: cambio porcentual anual PBG	1,97%	11,69%
Creación puestos de trabajo (tasa anual)	6.541 (0,8%)	13.916 (1,3%)
Aumento de precios (acumulado)	33%	55%
Fuente: Elaboración propia con base en Consejo Federal de Inversiones. Producto Bruto Geográfico (PBG, 200/2012).		

Tabla 1. Tasas de Crecimiento del producto, Empleo y Precios. Santiago del Estero

Variables	Año 2004	Año 2007
Excedente bruto de explotación en el ingreso provincia	42%	46%
Retribución trabajo asalariado en el ingreso provincia	40%	38%
Retribución trabajo asalariado en el ingreso promedio nacional	33%	39%
Asalariados no registrados. Tasa de crecimiento anual	1,34%	1,50%
Remuneración promedio anual asalariados registrados	$14.413	$22.482
Remuneración promedio anual asalariados no registrados	$2.918	$4.275
Índice del Salario de la provincia respecto al de nación		
- Sector rural	28%	24%
- Sector industrial	46%	44%

- Sector servicios	22%	19%
- Sector infraestructura	22%	23%
Fuente: Elaboración propia con base en Consejo Federal de Inversiones. Producto Bruto Geográfico (PBG, 200/2012).		

Tabla 2. Distribución funcional del ingreso. Santiago del Estero

Variable de medición	Sectores de la actividad económica Sgo del Estero	2004	2007
Cambios relevantes en la participación en el PBP a precios constantes	Sector construcción	6%	9%
	Sector público	19%	16%
	Sector comercio	19%	20%
	Sector industrial	8%	7%
Participación en el PBP industrial	Rama "alimentos y bebidas"	48%	54%
	Ramas dinámicas	5%	5%
Participación sectorial en el empleo total	Sector primario	24%	21%
	Sector industrial	9%	7%
	Sector infraestructura	9%	15%
	Sector servicios	58%	57%
Cantidad de puestos de trabajo	Sector infraestructura	21.108	44.977
	Sector industria	22.102	20.198
Participación en el aumento del empleo	Sector infraestructura	Variación 2004-2007	43%
	Sector servicios		52%
Participación en el aumento de los asalariados registrados	Sector infraestructura		20%
Fuente: Elaboración propia con base en Consejo Federal de Inversiones. Producto Bruto Geográfico (PBG, 200/2012).			

Tabla 3. Estructura productiva y mercado de trabajo. Santiago del Estero

Sectores	Asalariados registrados/no registrados promedio anual 94-07		Remuneración promedio anual 94-07		RTA línea de tendencia 1994-2007			
					Crecimiento anual en pesos		Ordenada al origen	
	Participación en puestos de trabajo en %	Participación en la RTA en %	Asalariados registrados (Ar)	Asalariados no registr. (Anr)	Asalariados registrados (Ar)	Asalariados no registrados (Anr)	Asalariados registrados (Ar)	Asalariados no registr. (Anr)
Primario	26 / 74	52 /48	6.296	2.012	558	174	2.108	707
Industrial	40 / 60	65 / 35	14.651	4.912	1.009	4	7.081	4.884
servicios	58 / 42	88 / 12	14.397	2.599	162	51	13.182	2.219
Infra-estructura	33 / 67	64 / 36	15.022	4.110	568	-109	10.760	4.929
Total			13.762	2.841	259	60	11.824	2.388

Fuente: Elaboración propia en base al 3º Informe e Informe Final del PBG, Cuenta Generación del Ingreso, CFI (2008).

Tabla 4. Puestos de trabajo y remuneraciones Santiago del Estero. Promedio anual 1994-2007.

Lo sucedido en la economía provincial en los últimos 20 años con la delicada situación social marcada por la insuficiente demanda de trabajo decente, se tradujo en un masivo ingreso al sector público de agentes en condiciones de precariedad, en gastos en obra pública e infraestructura y en subsidios y transferencias. A partir de 2005, los contratos de locación de servicios proliferaron como exclusiva puerta de entrada al sector público. Con foco en los grupos "vulnerables", se registraron aumentos remunerativos y políticas que incentivaron el empleo, con fuerte impacto en los niveles de actividad, en virtud a la propensión a consumir de dichos grupos, cercana a la unidad.

Así es que luego del 2004, los salarios se recuperaron rápidamente, como producto de los convenios colectivos en las discusiones paritarias a nivel nacional. Sin embargo, la brecha salarial entre los sectores formal e informal persistió. Es impor-

tante apuntar que el sistema de convenios colectivos nacionales, profundizan la segmentación del empleo a nivel de ciertas regiones descapitalizadas, dadas las condiciones de trabajo y los aumentos salariales que se establecen. De allí que los mercados alternativos, al margen de la ley cobren relevancia. El sector informal o la economía en "negro" resulta incapaz de alcanzar los altos salarios y abonar los aportes y contribuciones establecidos por convenio.

Ahora bien, el contexto de mayor crecimiento que se dio en la provincia a partir de 2004 (originado por el cambio de política, la mejora en los términos de intercambio y los adelantos tecnológicos en relación con la soja) brindó un escenario macroeconómico de crecimiento con estabilidad, propicio para el desarrollo. Sin embargo, las políticas "proexpansivas", que "inflaron" el gasto, descuidaron el cambio estructural regido por la política industrial.

5. Consideraciones finales

Una estrategia de diversificación de los productos de exportación con agregado de valor a largo plazo requiere de una macroeconomía que garantice un sendero de crecimiento sostenible, eliminando los comportamientos "proexpansionistas" (o procíclicos en la expansión).

Puede decirse que Santiago del Estero se encontraba, frente a este crecimiento estable de 2004, en adecuadas condiciones para plantear una estrategia de largo plazo, en base al cambio estructural asentado en actividades no tradicionales. Esto se veía apoyado en la presencia de rentas de los recursos naturales o "renta ricardiana" a raíz de los favorables términos de intercambio, de las mejoras tecnológicas en la soja y de un tipo de cambio elevado.

La desigualdad en la distribución del ingreso, la situación de

bajos salarios y elevada precarización, fruto de una débil estructura productiva, podría ser aprovechada para sostener el crecimiento basado en la *cuasirenta* del trabajo abundante[9]. Sin embargo, la instancia de una propuesta de cambio estructural que privilegiara al sector industrial, en sus ramas dinámicas, no se produjo. La provincia se adhirió "apresuradamente" a las políticas "proexpansivas" nacionales, descuidando el entorno de largo plazo, necesario para la formación de capital.

Los rasgos seculares de subcapitalización y atraso en la estructura productiva, concomitante con un mercado de trabajo heterogéneo, imbricados con equilibrios de bajo nivel y trampas de pobreza, exigen repensar el desarrollo no solo en términos de crecimiento, sino recreando la institucionalidad y promoviendo el cambio estructural. Estrategias de largo plazo, que presten atención a las dificultades que encierra la transición en sus aspectos económicos, sociales y ambientales.

El objetivo del desarrollo implica la visión de un futuro deseado. De allí que el desarrollo implique una posición comunitaria a partir de un Estado deliberativo, neutralizando el poder de las elites. Resulta necesario transitar el cambio a largo plazo, importante para alcanzar el crecimiento estable, con cambio estructural endógeno, igualitario y sostenible, como condiciones concomitantes y no como resultados esperados.

9 De hecho, Santiago del Estero figura como la provincia con el salario más bajo. (INDEC, del *"Informe sobre la evolución de la distribución funcional del ingreso durante el primer trimestre del 2010"*, realizado sobre las remuneraciones que los diversos sectores productivos abonan a sus empleados). En línea: https://www.indec.gob.ar/informesdeprensa_anteriores.asp. Entrada: día 31/05/07 a las 11,31.

Referencias

Acemoglu, D.; Johnson, S. y Robinson, J. (2005). *Revista de Economía Institucional. Vol. 7, N° 13*. Recuperado el 2 de 12 de 2012, de Los orígenes coloniales del desarrollo comparativo: una investigación empírica: http://www.economiainstitucional.com/pdf/no13/dacemoglu13.

Banco Mundial. (1996). "A new data set measuring income inequallity". *Revista económica*, 565-591.

Banco Mundial. (2006). *Argentina. A la búsqueda de un crecimiento sostenido con equidad social*. Banco Mundial.

Bárcena, A. (22 de agosto de 2014). La trilogía de la igualdad. Santiago , Chile: CEPAL.

Bolsi, A. y Paolasso, P. (2009). *Geografía de la pobreza en el Norte Grande Argentino.* San Miguel de Tucumán: PNUD, UNT y CONICET.

Bunge, A. E. (1984). *Una nueva Argentina.* España: Hyspamérica.

Centro de estudios de las finanzas públicas. (2009). *Pronósticos de la recuadación del IVA. Análisis de estabilidad paramétrica.* Méjico: Palacio legislativo de San Lázaro.

CEPAL. (1949). *El desarrollo de América Latina. Algunos de sus principales problemas*. CEPAL: CEPAL.

CEPAL. (1987). *Raúl Prebisch: un aporte al estudio de su pensamiento.* Santiago, Chile: CEPAL.

CEPAL. (1990). *Transformación productiva con equidad*. Santiago de Chile: CEPAL.

CEPAL. (1996). *Transformación productiva con equidad. La tarea prioritaria de América Latina y el Caribe en los años noventa*. Santiago, Chile: CEPAL.

CEPAL. (1998). Hacia una nueva política comercial en pro dell desarrollo. En CEPAL, *Cincuenta años de pensamiento* (págs. 349-398). Santiago Chile: CEPAL.

CEPAL. (2007). *Progreso técnico y cambio estructural en América Latina.* Santiago, Chile: Naciones Unidas.

CEPAL. (2007). *Progreso técnico y cambio estructural en América Latina.* Santiago de Chile.: CEPAL, Documento de trabajo,

Nº 136 (LC/W.136).
CEPAL. (2009). *Crisis, volatilidad, ciclo y política fiscal en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL.
CEPAL. (2010). *La Hora de la Igualdad*. Santiago, Chile: CEPAL.
CEPAL. (2012). *Cambio estructural para la igualdad*. Santiago, Chile: CEPAL.
CEPAL. (2014). *Pactos para la igualda*d. Chile: CEPAL NU.
CEPAL. (2014). *Pactos para la igualdad. Hacia un futuro sostenible*. Lima: CEPAL.
CEPAL. (2015a). Una coyuntura propicia para reflexionar sobre los espacios. En A. y. Bárcena, *Neoestructuralismo y corrientes heterodoxas para el debate y el diálogo entre el (neo)estructuralismo y las corrientes heterodoxas* (págs. 33-93). Santiago, Chile: CEPAL.
CEPAL. (2015b). *El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina*. Santiago Chile: CEPAL.
CFI. (2007a). *Lineamientos estratégicos para el desarrollo productivo de Santiago del Estero*. Buenos Aires: CFI.
CFI. (2007b). *Producto Bruto Provincial de la Provincia de Santiago del Estero: 1993-2005.* CABA: Consejo Federal de Inversiones.
CFI. (2008a). *PBP Santiago del Estero, 1994/2007*. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones.
CFI. (2008b). *Producto Bruto Provincial. Informe Final. Santiago del Estero: 1994/2007.* CABA: Consejo Federal de Inversiones.
CFI. (2008c). *Producto Bruto Provincial. Santiago del Estero: 1994/2007. 3er informe 2da etapa.* CABA: Consejo Federal de Inversiones.
CFI. (2009). *Desarrollo local y crecimiento económico. Provincia de Santiago del Estero*. Consejo Federal de Inversiones.
CFI. (2010). *Indicadores de análisis regional 1994-2004 provincia de Santiago del Estero.* CFI.
CFI. (2012). *Análisis de sectores productivos para el fomento de las inversiones. Santiago del Estero*. Buenos Aires: CFI.
CFI. (2014). *Indicador compuesto de actividades económicas*

de Santiago del Estero. Buenos Aires: CFI.

CFI, UCSE. (2011). *Competitividad de la economía de Santiago del Estero por sector de actividad económica*. Buenos Aires: CFI.

Chow, G. (1960). *Tests of equality between sets coefficients in two linear regressions*. Econometrica 28, 591-605.

de Dios, R. (2006). *Expansión agrícola y desarrollo local.* En M. E. Ludueña, & A. N. y Giannuzzo, *Santiago del Estero, una mirada ambiental*. Santiago del Estero: Brujas.

DGIEyC. (1982). *Anuario estadístico de la provincia de Santiago del Estero. Santiago del Estero*: Dirección General de Investigaciones , Estadísticas y Censos.

DGIEyC. (1983). A*nuario Estadístico de Santiago del Estero. Santiago del Estero:* Dirección General de Investigaciones, Estadística y Censos del Ministerio de Economía de Santiago del Estero.

Di Filippo, A. (2009). E*structuralismo latinoamericano y teoría económica*. Revista de la CEPAL N° 98.

Di Lullo, O. (1999). *El bosque sin leyenda. Ensayo económico y social*. Santiago del Estero: Universidad Católica de Santiago del Estero.

Díaz, R. (2015). Dinámica de la generación y calidad del empleo y su distribución por ramas de actividad, en Santiago del Estero-La Banda, 2003-2010. T*rabajo y sociedad*(24), 131-145.

Dougherty, C. (2007). *Introduction to Econometrics*. Oxfordshire, Inglaterra: Oxford University.

Easterly, W. (2001). *En busca del crecimiento*. Barcelona: Ántoni Bosch.

Ekelund, R., y Hébert, R. (1992). *Historia de la teoría económica y su método.* 3° Edición. . Madird: Interamericana de España.

Escaith, H. (octubre de 2006). Industrialización truncada y terciarización sustitutiva en América Latina. (U. N. Méjico, Ed.) *Problemas del desarrollo.Revista latinoamericana de economía*, 37(147), 45-80.

Escaith, H. (octubre de 2006). Industrialización truncada y terciarización sustitutiva en América Latina. (U. N. Méjico, Ed.) *Problemas del desarrollo.Revista latinoamericana de*

economía, 37(147), 45-80.
Fajnzylber, F. (1983). *La industrilización trunca en América Latina*. Santiago, Chile: CEPAL.
Ferraro, C., & Rojo, S. (2018). *Las MIPYMES en América Latina y el Caribe: Una agenda integrada para promover la productividad y la formalización.* Ginebra: OIT.
Ferrer, A. (1963). *La economía argentina. Las etapas de su desarrollo y problemas actuale*s. Argentina: Fondo de Cultura Económica.
Ferrer, A. (2008). *Desarrollo y globalización en el estructuralismo latinoamericano: el rol central del conocimiento y la innovación*. Puenteeuropa.
Ferrer, A. (2008). *La economía argentina. Desde sus orígenes hasta principios del siglo XXI.* Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
Ferullo, H. D. (2000). *El malestar en las economías modernas de mercado*. Buenos Aires: Macchi.
Flores, M. (1980). De la sustitución de importaciones a la sustitución de exportaciones. *Nueva sociedad, Nº 50, setiembre-octubre*, 147-155.
Forni, F., Benencia, R., & Neiman, G. (1991). E*mpleo, estrategias de vida y reproducción. Hogares rurales en Santiago del Estero.* Buenos Aires: Centro editor de América Latina.
Fromm, E. (2006). *¿Tener o ser?* Buenos Aires: Fondo de cultura económica.
Gomez Lende, S. y Velásquez, G. (2008). Etapas de modernización y diferenciación sociterritorial en la Argentina. En G. Velásquez, *Geografía y binestar. Situación local, regional y global de la Argentina luego del censo 2001.* (págs. 37-74). Buenos Aires: EUDEBA.
Gómez, N. (2004). *Recortes de población en la página del siglo*. Santiago del Estero: El Liberal.
Guillén Romo, H. (2005). Auge, declinación y renacimiento de la economía anglosajonaestándar del desarrollo. *Mundo Siglo XXI*, 18-28.
Gujarati, D. (2007). *Econometría básica*. Nueva Delhi: McGraw-Hill.

Gurmendi, N. (2014). Caracterización del sector formal del empleo de la salud pública en Santiago del Estero. En *Investigaciones en la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud* (págs. 21-33). Santiago del Estero: Bellas Alas.

Gurmendi, N (2022) Segmentación y desigualdad en el mercado de trabajo: un análisis del empleo en la administración pública, sector público de la salud y enseñanza en Santiago del Estero. período 2000-2010. Revista Breves Contribuciones del I.E.G. -Nº 32-Año 2021 -ISSN 2250-4176.

Hirschman, A. O. (2013). *El Hirschman esencial*. Princeton: Princeton University.

INDEC. (1999). E*stadísticas básicas. Los municipios de Santiago del Estero.* CABA: INDEC.

INDEC. (2015). CENSO. *Sistema Georeferencial*. CABA, Argentina: INDEC.

Jauretche, A. (1995).*Manual de zonceras argentina*s. Corregidor.

Kaldor, N. (1957). A Model of Economic Growth. *The Economic Journal.*

Krugman, P. (1997). *Desarrollo, geografía y teoría económica*. Barcelona: Antoni Bosch.

Krugman, P., y Wells, R. (2007). *Microeconomía*. Barcelona, España: Reverté SA.

Kuznets, S. (1975). *Crecimiento económico y estructura económica*. Demos.

Lewis, W. A. (1954). E*conomic development with unlimited supplies of labour.* The Manchester School of Economic and Social Studies.

Lewis, W. A. (1958). *Teoría del desarrollo económico*. Méjico: Fondo de Cultura Económica.

Lo Cascio, J., y Martínez, R. (2015). Fluctuaciones cíclicas de la economía de santiagueña (Argentina) . En 1. J. (ARESNOA) (Ed.). I*SBN 978-987-33-8591-9*. San Salvador de Jujuy: Anales ARESNOA 2015.

Longhi, F. y Osatinsky, A. (2016). Estructura productiva, pobreza y problemas de empleo en las provincias pampeanas y

norteñas de Argentina en los primeros años del siglo XXI. *Cuadernos de Geografía* 26 (1), 77-99.

Maddison, A. (1952). Productivity in an expanding economy. *Economic Journal*, 584-594.

Manzanal, M. y Rofman, A. B. (1989). *Las economías regionales de la Argentina. Crisis y políticas de desarrollo*. Buenos Aires: Centro editor de América Latina y Centro de estudios urbanos y regionales.

Moncayo, E. (2001). Evolución de los paradigmas y modelos interpretativos del desarrollo territorial. *Gestión pública*(13), 13-38.

Okun, A. M. (1962). *Potential GNP, its measurement and significance.* EEUU: Cowles fundation, Yale University.

Prebisch, R. (1921). *Anotaciones sobre nuestro medio circulante. A propósito del último libro del Dr. Norberto Piñero*. Buenos Aires: Revista de Ciencias Económicas, N° 9, serie 2.

Prebisch, R. (1987). *Cinco etapas en mi pensamiento sobre el desarrollo*. Méjico: Revista Comercio Exterior, Vol. 37, N° 5.

Ricardo, D. (1817). *Principios de economía política y tributación*, 1era edición. Londres.

Rofman, A. B. y Romero, L. A. (1997). *Sistema socioeconómico y estructura regional en la Argentina.* Buenos Aires: Amorrortu.

Salas, N. (2005). *Carlos Juarez. Poder, política y clientela en Santiago del Estero a fines del siglo XX*. Santiago del Estero: Senkat SRL.

Sánchez, P. A. (2008). Cambios estrcuturales en series de tiempo: una revisión del estado del arte. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 115-140.

Schumpeter, J. A. (1963). *Teoría del desenvolvimiento económico 3° edición*. Méjico: Fondo de Cultura Económica.

Schumpeter, J. A. (2002). *Ciclos económicos.* Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Smith, A. (1987). *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Valissar del mar. España: Oikos Tau.

Solow, R. (1969). *La teoría del crecimiento: una exposición*. Méjico: Fondo de Cultura Económica.

Solow, R. M. (febrero de 1956). *A contribution to the Theory of*

Economicf Grrowth. Quarterly journal of economics, 70(1).
Stigler, G. J. (1971). The theory of economic regulation. *The bell journal of economics and management science*, 3-21.
Stiglitz, J. (2010). Regulación y fallas. *Economía Institucional*.
Subsecretaría de Programación Técnica y Estudios Laborales. Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. (2004). Empleo y patrón de crecimiento económico. *Trabajo, educación y empleo*. Serie Estudios 1, 113-128.
Tenti, M. M. (2005). *La reforma del estado santiagueño.* Santiago del Estero: Universidad Católica.
UIA. (1940-1944). Memorias UIA. *Memorias*. Buenos Aires: Unión Industrial Argentina.
UNCTAD. (1964). *Hacia una nueva política comercial en pro del desarrollo*. Nueva York: UNCTAD.
Velásquez, G. A. (2001). El proceso de diferenciación socio-espacial en la Argentina. En G. A. Velásquez, *Geografía, calidad de vida y fragmentación en la Argentina de los noventa. Análisis regional y departamental utilizando SIG´s*. Tandil, Buenos Aires: Centro de investigaciones geográficas de la UN del Centr de la Provincia de Buenos Aires, Tandil.
Velásquez, G. A. (2008). La calidad de vida en los noventa y en 2001: análisis global. En G. A. Velásquez, G*eografía y bienestar. Situación local, regional y global en la Argentina luego del censo 2001*. (págs. 201-243). Buenos Aires: EUDEBA.
Zurita, C. V. (1997). El trabajo en un área tradicional de Argentina. Marcos demográficos, estructura del empleo y subutilización en Santiago del Estero. *Estudios Sociológicos, 44*.
Zurita, C. V. (1999). *El trabajo en una sociedad tradicional. Estudios sobre Santiago del Estero*. Santiago del Estero: CICyT. UNSE.

PROYECTOS TECNOLÓGICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA

Mario F. Soria[1], Fidol Parra[1], Gustavo Salcedo[2], Vladimiro Tkachuk[1], Lurdes López[2], Eve L. Coronel[2], Sandra L. Martínez[2]

Resumen.

La enseñanza de la Ingeniería ha sufrido en estos últimos años diferentes retos surgidos ante la necesidad de formar profesionales competentes para un mundo con demandas sociales, económicas y ambientales crecientes y cambiantes, caracterizado además por vertiginosos adelantos en el campo científico tecnológico, que hace se requieran profesionales permanentemente actualizados y capacitados para el autoaprendizaje. Es así, que se espera la formación les aporte competencias tecnológicas, políticas, sociales y actitudinales. La enseñanza de la

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y hTecnologías. Laboratorio de Electrónica. Santiago del Estero, Argentina.
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTA). Santiago del Estero. Argentina.

ingeniería basada en proyectos tecnológicos desarrollados en ambientes interdisciplinarios se propone como una estrategia pedagógica para la formación del ingeniero del siglo XXI.

Palabras clave: Competencias en ingeniería. Enseñanza Basada en Proyectos. Educación Superior

1. Introducción

En el marco de la Tercera Conferencia Mundial de Educación Superior celebrada en Barcelona, España en mayo de 2022 se advirtió sobre la necesidad de favorecer en la Educación Superior (ES) enfoques más transdisciplinarios, flexibles y sostenibles del aprendizaje y el conocimiento, que respondan a las necesidades de la sociedad, y que pongan la tecnología al servicio de la eficacia, el aprendizaje y la investigación. En este sentido, la UNESCO subrayó el papel clave que desempeñan las universidades en la creación de un nuevo contrato social para la educación y el fomento de la sostenibilidad (WHEC, 2022). También, el Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior en América Latina y el Caribe resalta que la ES debe ir a la vanguardia en pos de instaurar la sociedad del conocimiento, esto implica que debe ser capaz de promover cambios fundamentales en sus modelos de formación, de aprendizaje y de innovación, para el logro de este objetivo (IESELAC, 2008).

El rumbo que en Argentina siguieron las carreras de ingeniería, desde el año 2000, ha sido establecido por el CONFEDI, a través de los estándares de acreditación. También, con el objetivo de potenciar la ingeniería iberoamericana y definir acuerdos de formación, el CONFEDI y la Universidad Politécnica de Madrid propusieron, en diciembre de 1997, la creación de la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza

de Ingeniería (ASIBEI), que incluye instituciones pertenecientes a trece países de Iberoamérica. A principios del año 2005, el CONFEDI declaraba:

"Hay consenso en cuanto que el ingeniero no sólo debe saber, sino también saber hacer. El saber hacer 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 que requiere ser reconocida expresamente en el proceso de aprendizaje para que la propuesta pedagógica incluya las actividades que permitan su desarrollo".

Ante la necesidad de definir lineamientos que contribuyan a caracterizar al Ingeniero Iberoamericano y a orientar a las facultades de la región en el proceso de formación, en noviembre de 2013, en la ciudad de Valparaíso, Chile, la Asamblea General de la ASIBEI adoptó como propia la síntesis de competencias genéricas de egreso acordadas por el CONFEDI, dando lugar a la "Declaración de Valparaíso" sobre Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Iberoamericano. En ese mismo sentido, y también en el año 2013, en el marco del Proyecto Visión 2025 de Formación Científica e Ingenierías de las Américas, la Organización de Estados Americanos OEA las adopta y establece como metas esperadas en la formación del ingeniero americano.

Lo expuesto, muestra como las Competencias Genéricas del Ingeniero Argentino propuestas por el CONFEDI se constituyeron en orientativas para la formación de ingenieros en los procesos de desarrollo de competencias a nivel regional y continental, buscando un graduado que sepa hacer y sepa ser, con competencias tecnológicas, políticas, sociales y actitudinales.

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" del CONFEDI, se constituyó en 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 que se esperan del graduado.

Lo antes descripto constituyó el marco conceptual base del desarrollo del proyecto "Proyectos Interdisciplinarios como Herramienta para la Enseñanza de las Ingenierías" y de los programas "Aportes para el Desarrollo Productivo Regional con compromiso Social basado en la Conjugación de Competencias del Ingeniero" y "Desarrollo de competencias ingenieriles basadas en Proyectos Tecnológicos y en Sistemas Productivos Pecuarios Regionales", este último aún en ejecución, financiados por la SECYT - UNSE y desarrollados en la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias y en los Laboratorios de Electromecánica y Electrónica, de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, instalaciones localizadas en el Parque Industrial de la provincia de Santiago del Estero, pertenecientes a la Universidad Nacional de Santiago del Estero, parte de cuyos desarrollos se presentan en este capítulo de libro.

2. Marco Conceptual

2.1 Educación superior, ciencia, tecnología y competencias

La vertiginosa transformación social y productiva de las últimas décadas, ha obligado a la educación universitaria a realizar ajustes en los procesos formativos para afrontar los nuevos desafíos y demandas profesionales. Ante lo cual, la universidad debió cambiar el paradigma de enseñanza, y pasar de las clases magistrales, modelo tradicional centrado en el contenido, a otro centrado en el aprendizaje, en donde el estudiante es el actor principal (Morales Bueno, 2018).

A la enseñanza tradicional del conocimiento científico cir-

cunscripta a la presentación de conceptos teóricos, refrendados a través de prácticas de laboratorio, se le exigió dar respuesta a demandas concretas de la sociedad (Cepeda Rodríguez, 2016). En este escenario cada vez más demandante, la enseñanza e internalización de los conceptos científicos y tecnológicos resultan una necesidad apremiante a la hora de formar ciudadanos responsables e informados, para la toma de decisiones relacionadas con el uso de la tecnología para la solución de problemas en contexto (Angarita et al., 2011; Sepúlveda Chaverra y Riaño, 2016). En este punto es necesario acordar que se entiende por conocimiento científico y que por tecnología, se podría describir al uso del conocimiento científico como ciencia aplicada, y tecnología al mecanismo a través del cual se llevan a cabo estas aplicaciones. De tal forma que la enseñanza de la ciencia, al igual que la tecnología, se deben centrar en la manipulación de los fenómenos a través de la experimentación. Siendo importante destacar que la enseñanza de conceptos científicos y tecnológicos, independientemente del modelo pedagógico que se utilice, debe permitir la interacción de los estudiantes con el concepto o fenómeno bajo estudio, para que los estudiantes reconozcan que el conocimiento científico es una aproximación a la realidad y no la realidad misma (Molina et al., 2016; Zuluaga Duque, 2017).

La aplicación del modelo centrado en el estudiante pone la mira en las competencias que este debe esgrimir a la hora de su egreso, lo que implica cambios en los métodos de aprender y de enseñar, significa movilizar varios recursos cognitivos, conocimientos, habilidades y actitudes, que repercuten sobre la formación y el actuar profesional del futuro egresado. Asimismo, impone el ofrecimiento de nuevas herramientas, para una formación profesional mucho más experimental y vivencial, que les permitan adecuarse para dar respuestas a las cambiantes demandas de la sociedad. Estos modelos requieren la

participación activa de los estudiantes y la formación docente (Ortega, 2010; Lizitza y Sheepshanks, 2020). Es así, que a través de un proceso de enseñanza aprendizaje basado en competencias, el estudiante emprende su proceso de aprendizaje de forma activa, planteándose preguntas, investigando, seleccionando información, sacando conclusiones, entre otras tareas formativas (Rekalde et al., 2012).

2.2 Proyectos interdisciplinarios, transversales y pedagogía del proyecto en la Enseñanza de la Ingeniería

La enseñanza de la ingeniería desde su surgimiento ha estado condicionada por diferentes cambios que la han hecho evolucionar y a la vez enriquecerse. Constituye una preocupación de todos los tiempos la formación de un ingeniero acorde con las necesidades del entorno en que vive y se desenvuelve y la manera en que debe enfrentar las problemáticas emergentes. Para lograr este propósito es necesario que la formación del profesional supere el paradigma de la adquisición y transmisión de conocimientos y se asuma uno nuevo, orientado a generar nuevas formas de pensamiento y acción, más adecuadas a las características de la actualidad, que permita formar profesionales que sean capaces de lograr un aprendizaje continuo o permanente, lo cual demanda una organización del proceso docente educativo centrado en el estudiante, desarrollado de manera interactiva y colaborativa y que le permita adquirir al estudiante un aprendizaje para toda la vida (Capote et al., 2016).

El actual sistema universitario enfrentado al reto de formar estudiantes capacitados para adaptarse y dar respuesta a un contexto demográfico y socioeconómico en constante cambio, encuentra sustancial el desarrollo de las competencias transversales y resultan ser los equipos interdisciplinares escenarios propicios para su logro (Ugalde et al. Ugalde, 2020; Martínez et al, 2014). Las competencias denominadas genéricas o transversales

son claves para capacitar al futuro profesional, siendo necesario para ello, crear un ambiente interdisciplinario para propender al desarrollo de la capacidad de investigación, el tratamiento de la información, la transferencia del conocimiento, el razonamiento crítico, la gestión de conflictos y el trabajo en equipo (Aristizabal et al., 2015; Rodríguez et al., 2018). También, para favorecer la empatía y el compromiso social resulta necesario e interesante familiarizarlos e involucrarlos con el desarrollo socio productivo regional (González, Rodríguez y Martínez, 2016). Una de las estrategias posibles de emplear para alcanzar el desarrollo de competencias transversales es el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) (Gairín, 2011; Moreno, 2012). Vallejo Bautista et al., (2017), destacan que las propuestas didácticas sustentadas en ABP para el logro de las "competencias para el éxito" se deben centrar en la resolución de problemas y preguntas complejas, la creación de hábitos intelectuales y el desarrollo de cualidades personales tales como la perseverancia, creatividad, trabajo autónomo y en equipo. Esta metodología supone el proporcionar a los estudiantes situaciones de aprendizaje contextualizadas, cercanas a problemáticas reales, donde la resolución del problema le impongan desarrollar sus capacidades para hacer uso del contenido disciplinar que hasta ese momento hayan adquirido (Fernández, 2006). A su vez, si se analizan las distintas prácticas de ABP se comprueba que durante la ejecución de esta metodología los alumnos llevan a cabo un amplio y exhaustivo proceso de investigación para responder a una pregunta compleja o resolver un problema concreto (Bender, 2012). Otro aspecto relevante de la metodología del ABP es que si las actividades se diseñan y resuelven de forma creativa, permite convertir los contenidos curriculares en proyectos, de manera que los alumnos sean capaces, aplicando sus conocimientos, no solo de responder preguntas complejas, sino además de crear recursos y productos innovadores y de calidad (González, Rodríguez y Martínez, 2016; Morales Castro y Torres Balcázar, 2015).

Si bien, existen una gran cantidad de modelos educativos,

cada uno de ellos presentan a la hora de su aplicación puntos a favor, pero también, inconvenientes, por lo cual la existencia de esa gran variedad no garantiza el éxito en la enseñanza. Tampoco la pedagogía del proyecto es la respuesta a todos los problemas de enseñanza aprendizaje. Sin embargo, esta metodología es altamente positiva para la generación de ideas, el desarrollo de la creatividad, el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la adquisición del conocimiento, a la vez que permite trabajar en forma activa sobre los contenidos curriculares (González et al., 2016; Morales Castro y Torres Balcázar, 2015). Esto se debe a que a la hora de resolver el problema se movilizan complejas estructuras del conocimiento, habilidades y destrezas, que a la vez de poner en acto las competencias tecnológicas, les permiten adquirir e incorporar las sociales, políticas y actitudinales. Lineamientos estos, que se establecieron, en la Declaración de Valparaíso para el Ingeniero Iberoamericano, a las que el CONFEDI adhirió, y sugirió para el Ingeniero Argentino y en los que la CONEAU trabaja para traducirlos como obligatorios de ostentar, a la hora de acreditar las carreras de ingeniería.

Durante el ABP los estudiantes tienen autonomía y capacidad de decisión en el desarrollo de los proyectos. Sin embargo, estos tienen que ser planeados, diseñados y elaborados para conseguir las metas del aprendizaje de los alumnos, para que aprendan los contenidos básicos, trabajen importantes competencias durante la resolución de los problemas, y creen productos y presentaciones de calidad, donde demuestren fundamentalmente su capacidad de comunicación (Heydrich et al., 2012; Morales Castro y Torres Balcázar, 2015). La metodología centrada en el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). Es una alternativa atractiva para ejecutar los cambios en los modelos educativos de la educación superior, en particular porque su entorno de aprendizaje es propicio para el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior. Sin embargo, este

proceso no ocurre de manera natural, es necesario considerar los aspectos del modelo que pueden influir en el nivel de logro de la incorporación de habilidades de pensamiento crítico (Morales Bueno, 2018).

Preeti et al. (2013) consideran que el planteo del problema o asunto a resolver es uno de los factores más importantes, y debe resultar para el estudiante un desafío interesante de llevar a cabo. Lograr esta motivación es vital por cuanto, es el punto de partida para el desarrollo del ABP. Jensen (1997) y Jensen y Simovska (2005) remarcan que, en el modelo, ABP todos los docentes investigadores involucrados tienen el rol de responsables facilitadores de las actividades del proyecto, con las tareas de inspirar, apoyar y presentar continuos desafíos al estudiante (Jensen, 1997; Nordin, 2016). El proyecto debe estar inmerso en marcos de trabajo en donde las preguntas sean habituales, las reflexiones permanentes y los interrogantes que promuevan intentos de respuesta constantes de tal forma que promuevan el pensamiento profundo, auto dirigido, reflexivo y sistemático, favoreciendo el cambio de una conciencia pasiva, a una conciencia crítica (Ochoa, 2013; Camargo y Useche Figueredo, 2015).

Otro aspecto importante resulta ser la orientación hacia el producto, para que pueda expresar lo que ha aprendido y comprendido y exteriorice lo que piensa acerca del desarrollo, de manera que lo pueda compartir con otros (Bilgin et al., 2015). El proceso del ABP es tan importante en términos de aprendizaje como el producto final, propiamente dicho, éste es la materialización de la aplicación de ideas y conocimientos, es la puesta en acto todo lo trabajado, a través de palabras, dibujos, mapas mentales, producción de materiales, dispositivos y/o equipamientos, siendo estas las diferentes maneras de expresar, presentar y representar la realidad, y evidenciar la capacidad de comunicación (Notari et al., 2014).

3. Objetivo de la investigación

Enseñar ingeniería a través del desarrollo de productos tecnológicos empleando como estrategia pedagógica la interdisciplinariedad, la que se despliega en el marco de un proyecto de investigación interdisciplinario y transversal, como espacio propicio para la generación de procesos de articulación de saberes, que permita a los estudiantes de ingeniería internalizar una metodología para producir saber (aprender a aprender), siendo premisa que el desarrollo posea pertinencia desde el punto social y económico (tecnología apropiable) y sea sustentable desde el punto de vista ético y ambiental, es el objetivo que se propuso el equipo de investigación que presenta este trabajo.

La enseñanza de ingeniería se ha cimentado fundamentalmente en el aprendizaje basado en la realización de clases teórico-prácticas, prácticas de talleres y laboratorios. Sin embargo, para que los estudiantes afiancen las competencias profesionales asociadas a la titulación en ingeniería, consideramos conveniente la articulación de proyectos de carácter técnico dirigidos al diseño y construcción de prototipos, de elementos, dispositivos o sistemas tecnológicos vinculados a la realidad contextual, llámese provincia, región o país. De esta manera los estudiantes se apropian de la experiencia dando una respuesta a las necesidades sociales del medio desde la universidad en la que cursan sus estudios.

Con esta motivación, en el seno de un proyecto de investigación interdisciplinario se desplegó una metodología educativa orientada a la concepción de un desarrollo tecnológico, que busca:

- Facilitar que los estudiantes tengan la oportunidad de percibirse ingenieros, incentivando la autoestima en el desempeño de su profesión, sintiéndose capaces de diseñar y construir productos tecnológicos.
- Propiciar en los estudiantes una visión integradora de las

distintas especialidades a través de su participación en un proyecto de investigación interdisciplinario cuyo objetivo es el diseño, construcción y ajustes de prototipos reales.
- Estimular, afrontando una situación real, la capacidad de resolver problemas, optimizar soluciones, pensar críticamente, hacer frente a dificultades, trabajar en equipo, tomar decisiones, recreando la compleja competitividad del mercado laboral actual.
- Afianzar competencias incrementando su empleabilidad y realización profesional.
- Preparar ingenieros con la formación necesaria para afrontar problemáticas y desplegar las potencialidades regionales.

4. Metodología

La conjugación de los conocimientos de ingenieros en alimentos, electrónicos, eléctricos y electromecánicos, para afrontar problemas de naturaleza interdisciplinaria y darles solución eficiente, lo que implica, desarrollos basados en el hombre y el cuidado del medio ambiente, es decir apuntando al desarrollo sostenido, fueron las premisas del trabajo.

La metodología contempló la creación de un ámbito de investigación interdisciplinario, conformado por docentes de ingeniería electromecánica (IEM), y electrónicos (IE) pertenecientes a las Facultades de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) y Licenciados en biotecnología; médicos veterinarios; Ingenieros agrónomos, zootecnistas y en alimentos (IA) pertenecientes a la Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA), ambas Facultades pertenecientes a la Universidad Nacional de Santiago del Estero. En el seno del equipo de investigación, se desarrollaron equipamientos por parte de estudiantes de ingeniería electromecánica y electrónica, como proyecto final de graduación, y/o Prácticas Profesionales Supervisadas, requisitos curriculares para la titulación.

La experiencia que se presenta se viene desarrollando desde el año 2012, en la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias y en el Laboratorio Taller de ingeniería electromecánica y en el recientemente creado Laboratorio Remoto de Electrónica I+D, ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Facultades pertenecientes a la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), instalaciones ubicadas en el Parque Industrial de la provincia de Santiago del Estero.

Es posible identificar cinco acciones operadas desde el surgimiento de la iniciativa hasta la concreción del producto tecnológico por parte de los estudiantes, a saber:

- Formación de los grupos. En primer lugar, se procedió a la formación de los grupos de estudiantes de acuerdo a su especialidad, bajo la tutela de un asesor.
- Definición de objetivos. Antes de comenzar con las actividades se fijaron para los grupos, las etapas del proyecto y sus objetivos en función de la finalidad buscada.
- Interiorización. Los estudiantes debieron integrar conocimientos acerca de fenómenos de transporte, operaciones unitarias, instrumentación y el control de procesos, para la materialización del desarrollo tecnológico.
- Captación de recursos. Iniciado el proyecto, bajo la supervisión de los investigadores, los estudiantes fueron los responsables de la selección y obtención de los materiales requeridos para la realización del desarrollo tecnológico, lo cual dependió de las soluciones adoptadas en las distintas etapas del proyecto.
- Desarrollo. En función de los objetivos siempre con el acompañamiento de los docentes investigadores, los estudiantes procedieron a completar las fases del proyecto.

La metodología, propiamente dicha, comprende la sucesión de diez etapas, que culminan con la obtención del producto tecnológico. La secuencia de las etapas que debieron

ser superadas por los estudiantes, se presenta en forma de un flujograma, el que se puede observar en la Figura1.

En este se consignan las actividades realizadas desde que se presenta la demanda del medio, y que culminan con la construcción del equipamiento requerido.

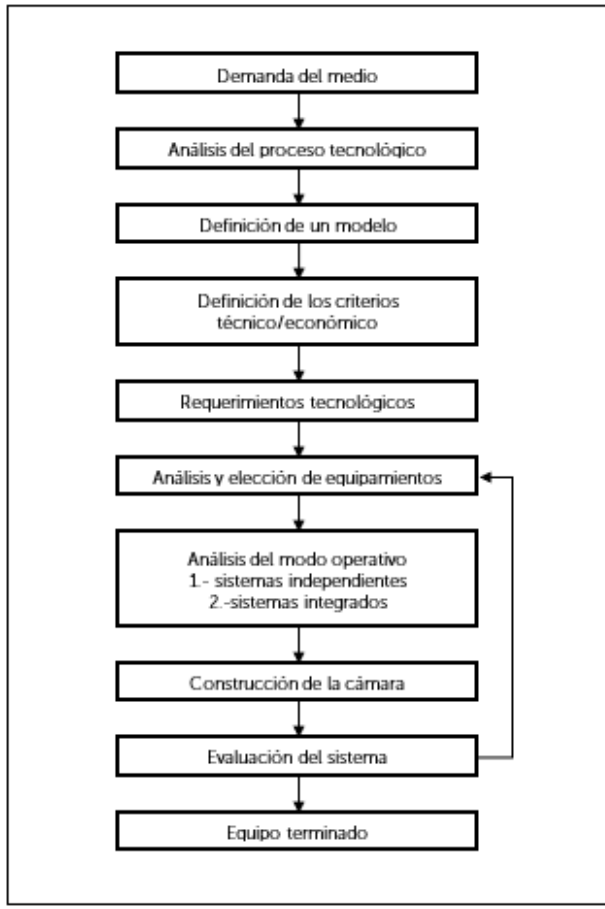


Figura 1. Flujograma de las actividades realizadas para la construcción del equipo.

5. Resultados y Discusiones

Los resultados obtenidos, de las actividades realizadas en cada etapa, y que debieron ser acabadamente cumplimentadas antes de pasar a la siguiente, fueron:

1ª- Demanda del medio: Se analizaron los requerimientos planteados por el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA) de la FAyA de contar con equipamientos confiables para la investigación en biotecnología aplicada a carne caprina (embutidos tipo salame) y a lácteos caprinos (quesos). En esta etapa es donde se verifica la transversalidad del proyecto, los estudiantes se interiorizan sobre las producciones primarias regionales y se solidarizan con los pequeños productores y sus problemáticas, asociadas estas a un sector de alta vulnerabilidad económica, no solo de la provincia sino de la región NOA. En este estudio los casos que se plantearon desarrollar fueron una cámara de maduración para fermentar embutidos elaborados con carne caprina y una cámara para madurar quesos caprinos.

2ª- Análisis del proceso tecnológico: Para realizar un sistema de control electrónico a medida de lo requerido, los estudiantes debieron introducirse en diversas áreas de la ingeniería. Esto es, desde la IA, sobre las condiciones de temperatura, humedad y duración de los procesos biotecnológicos a desarrollar. Además, de las necesidades de recirculación del aire y el recambio del aire con el exterior de las cámaras, fundamentales para el óptimo desarrollo de las bacterias lácticas responsables de las características organolépticas e higiénico sanitarias de los alimentos a producir. Desde la IEM, sobre el principio de funcionamiento de los sistemas de vapor, frío, calor y control.

3ª- Definición de un modelo: Se definió el modelo general, para determinar los componentes y los sistemas de control requeridos, según las demandas de cada proceso.

4ª- Definición de los criterios técnico económicos: El principio rector de la metodología empleada fue el garantizar la accesibilidad (es decir tener en cuenta los costos) a un módulo que permita el control y monitoreo de la marcha de la fermentación y maduración de embutidos por un lado y de quesos, por otro. Se priorizó emplear componentes en desuso que se encontraban en la planta piloto.
5ª- Requerimientos Tecnológicos: Los Ingenieros en Alimentos definieron los parámetros del proceso tecnológico. Establecieron para cada grupo, los valores y rangos de variación permitidos de temperatura y humedad. También la duración de los procesos de fermentación y maduración. Los Ingenieros Electromecánicos a su vez establecieron los equipamientos necesarios para generar frío, calor y vapor. Sistemas de recirculación y recambio de aire y los respectivos sensores para humedad, temperatura y velocidad de aire.
Los IEM a su vez demandaron: gabinetes aislados térmicamente; un equipo de frio convencional para producción de frio y secado; una resistencia eléctrica para la producción de calor; un generador de vapor para el aporte de humedad; y sistemas de recirculación y recambio de aire y los IE solicitaron sistemas de control inteligente provistos de sensores para humedad, temperatura y velocidad de aire.
6ª- Análisis y elección de equipamientos: Se realizaron trabajos de inspección de gabinetes en desuso, separándose los equipamientos susceptibles de ser aprovechados y refuncionalizados. Los que presentaban revestimiento en acero inoxidable que permiten su esterilización, de entre las cuales se escogió una cámara climática y una heladera. También, se escogieron los sistemas para dotar de frio, calor y humedad. Algunos pudieron ser reparados y otros se debieron comprar.
7ª- Análisis del modo operativo del equipo: Se analizó el

modo de operación del sistema e indagó el estado de servicio de los componentes (situación de partida). Primero estudiaron y probaron los sistemas componentes de los habitáculos seleccionados en forma independiente, para luego evaluar la operación de los sistemas en forma integrada.
8ª- Construcción del equipo: El diseño implicó desarrollar sistemas electromecánicos y electrónicos dotados del instrumental necesario, para el control de los parámetros y monitoreo de las variables, durante los procesos de fermentación y/o de maduración. Acondicionar las señales provenientes de sensores. Implementar una interface gráfica que permita visualizar el valor de las variables a controlar, en tiempo real. Establecer un sistema de adquisición y almacenamiento de datos, mediante una PC.
9ª- Evaluación del Sistema: En su estado inicial de funcionamiento, los sistemas presentaron una gran variación de humedad y temperatura, que no resultaba aceptable.
Luego de ajustar el funcionamiento de algunos componentes, se logró establecer el correcto manejo, manteniéndose las variables de interés, dentro de los límites establecidos.
10ª- Equipo Terminado: Los prototipos desarrollados, para fermentar y secar embutidos y para madurar quesos permiten que, una vez iniciado el ensayo y en un lapso menor a una hora, se produzcan las condiciones de temperatura y humedad requeridas. Durante todo el proceso y también una vez concluido este, se pueden transferir los datos almacenados en una memoria hacia la computadora. Un sistema de monitoreo permite visualizar en tiempo real, todas las variables involucradas.

5.1 Acciones y Competencias

En la Tabla 1 se describen acciones y competencias que desarrollaron los estudiantes durante la ejecución de cada una de las etapas que involucró el método desarrollado, en la misma es posible advertir la índole de tarea realizada, en lo que refiere a si la ejecución demandó trabajo físico o mental. A efectos de simplificar el análisis y conceptualizarlo se han diferenciado las etapas donde los estudiantes han realizado trabajos eminentemente mentales, de las que su ejecución implicó, además, labores prácticas. Asimismo, se han identificado las competencias que se verificaron durante esta ejecución. Un análisis preliminar de los resultados nos permite identificar algunas de las competencias y valores puestos en acción, que se muestran en la Tabla1.

5.2 Competencias puestas en acto

El CONFEDI (2007), identificó 10 competencias que se debieran desarrollar a través de la enseñanza de las ingenierías a manera de garantizar no solo el saber del ingeniero, sino la estructura del conocimiento, las habilidades y destrezas que requiere el saber hacer. En la Tabla 2, se detallan las referidas 10 competencias genéricas de la ingeniería y se identifican las etapas, en las que, según la propuesta metodológica presentada en este trabajo, se pusieron en acto.

Ejes		Etapas	Tipo de tarea		Acciones y competencias
Transversalidad	Interdisciplinariedad	Etapa 1	Trabajo	Mental	Incorpora nuevos conocimientos Integra conocimientos Resignifica conocimientos Realiza abstracciones mentales Aprende Investiga Innova Trabaja en equipo Se responsabiliza individual y colectivamente Se compromete Se sensibiliza con lo social
		Etapa 2			
		Etapa 3			
		Etapa 4			
		Etapa 5			
		Etapa 6	Tarea	Práctica	Relaciona teoría/práctica Pone en acto sus conocimientos Toma decisiones Experimenta Prueba Recalcula Busca nuevas soluciones Experimenta la realidad Presenta su desarrollo escrito argumenta Lo expone en congresos, comunica Aumenta su autoestima Desarrolla habilidades y valores: flexibilidad, confianza, paciencia, integración y apertura a la diversidad.
		Etapa 7			
		Etapa 8			
		Etapa 9			
		Etapa 10			

Tabla 1. Tipo de tarea que desarrolla el estudiante en cada etapa

En cuanto a la evaluación y acreditación de las competencias, se consideran evidenciadas a través del cumplimiento de la obligación curricular (Prácticas Profesionales Supervisada y Trabajo final de Graduación) que requiere del registro (escrito) y de la exposición (oral), pero fundamentalmente por haber

logrado un Producto Tecnológico que satisface la demanda del medio. Sin embargo, corresponde aclarar acerca de las competencias actitudinales (algunos autores consideran que no pueden medirse), resultaron de la visión del equipo interdisciplinario que en este particular, actuóo como observador.

Competencias tecnológicas		Etapas
1	Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería	I
2	Competencia para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería	II; III
3	Competencia para gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería	IV
4	Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de la ingeniería	II III
5	Competencia para contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas	VII VIII IX X
Competencias sociales, políticas y actitudinales		Etapas
6	Competencia para desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo	I a XI
7	Competencia para comunicarse con efectividad	V; XI
8	Competencia para actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global	I, II, IX y XI
9	Competencia para aprender en forma continua y autónoma	I a XI
10	Competencia para actuar con espíritu emprendedor	IV , VII y X

Tabla2. Competencias que se manifiestan a través del trabajo que desarrolla el estudiante

6. Conclusiones

El proceso metodológico como ya se ha indicado, se desarrolla y ensaya en el seno de un equipo de investigación, que basa sus producciones sobre dos ejes: la transversalidad y la interdisciplinariedad. La transversalidad, manifestada en la demanda del medio de contar con un equipamiento que permita elaborar alimentos, a partir de producciones locales, con agregado de valor. La interdisciplinariedad permitió que en los estudiantes se conjugaran los saberes de las otras disciplinas, para dar lugar a un nuevo conocimiento, que, con los conocimientos aislados de cada una de las ingenierías intervinientes, no se podría haber logrado.

A través de este estudio se ha podido conceptualizar y clasificar las etapas donde los estudiantes han realizado trabajos eminentemente mentales, de las que implicaron, además, labores prácticas para su ejecución. Asimismo, identificar competencias y valores puestos en acción a lo largo del desarrollo del proceso tecnológico.

Este análisis, de ninguna manera pretende se considere acabado, sino más bien, poner de manifiesto las bondades que la herramienta "construcción de prototipos", para la de enseñanza-aprendizaje de la ingeniería presenta, a saber:

- poner en acto las competencias en ingeniería de estudiantes de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías.
- desarrollar equipamientos susceptibles de ser usados para la investigación o de transferirse a pequeños productores de la región, ya que son apropiables, desde el punto de vista de su costo y operación.
- fomentar el espíritu emprendedor.
- avanzar hacia la sustitución de importaciones.

En este espacio de investigación donde se busca la sinergia y conjugan los conocimientos de biotecnólogos; médicos veterinarios; Ingenieros agrónomos, zootecnistas, en alimen-

tos, electrónicos, eléctricos y electromecánicos, se afrontan problemas de naturaleza interdisciplinaria y se les da solución eficiente, apuntando al desarrollo sostenido. Se propicia que los estudiantes relacionen los conocimientos adquiridos, para diseñar y construir equipamientos o sus prototipos, como así también, según la carrera de la cual provengan, conocer, estudiar y dar solución a problemáticas surgidas de los diversos sistemas productivos regionales, en un todo de acuerdo con los conceptos de Braidot (2023) quien señala, con el horizonte en la mejora permanente de la enseñanza, el CONFEDI para quienes estamos en la tarea de formar ingenieros se nos propone estándares para adecuarlas a los nuevos contextos cambiantes.

La organización del proceso docente educativo centrado en el estudiante, que desarrollamos en el seno del Programa que mencionamos, realizado de manera interactiva y colaborativa, favorece que el futuro profesional adquiera un aprendizaje para toda la vida, dando respuesta al reclamo de las necesidades y exigencias a la enseñanza de la ingeniería para lograr que el proceso de formación responda a las exigencias del contexto.

Referencias

Angarita Velandia, M. A., Fernández Morales, F. H., y Duarte, J. E. (2011). Utilización de material didáctico para la enseñanza de los conceptos de ciencia y tecnología en niños. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 2 (1), 35-43. Recuperado Julio-Diciembre 2011 de http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/investigacion_duitama/article/view/1307

Aristizabal, P., Rodríguez Fernández, A. Rodríguez Miñambres, P y Fernández Zabala, A. (2015). El desarrollo de las competencias transversales en segundo curso de los Grados de Educación Infantil y Primaria. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 18 (3), 25-37. http://dx.doi.org/10.6018/reifop.18.3.194391

Bender, W. N. (2012). *Project-Based Learning: Differentiating Instruction for the 21st Century*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press. p. 42. ISBN 978-1-4522-7927-5.

Bilgin, I., Karakuyu, Y. y Ay, Y. (2015). The Effects of Project Based Learning on Undergraduate Students' Achievement and Self-Efficacy Beliefs Towards Science Teaching. *Eurasia Journal of Mathematic*s, Science and Technology Education, 11(3), 469-477. https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1015a

Braidot, N. (2023). Desafíos de la ingeniería. CONFEDI. Recuperado 20 febrero de 2023 https://confedi.org.ar/desafios-de-la-ingenieria/

Camargo, L. y Useche Figueredo, J. de D (2015). Las preguntas como herramientas intelectuales para el desarrollo de un pensamiento crítico. REDHECS, V. 20, n. 2, p. 145-156

Capote León, G. E., Rizo Rabelo, N. y Bravo López, G. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria. *Revista Universidad y Sociedad* [seriada en línea], 8 (1). pp. 21-28. ISSN 2218-3620.Recuperado de http://rus.ucf.edu.cu/

Cepeda Rodríguez, R. (2016). Aprendizaje de conceptos químicos: una visión desde los trabajos prácticos y los estilos de aprendizaje. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(1), 63–76. https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n1.2016.4403

Fernández, M. (2006). Desarrollo profesional docente. Granada: Grupo editorial universitario. https://doi.org/10.15581/004.12.25402

González, Luis R., Rodríguez, René A., Martínez, Sandra L. (2017). Competencias: enfoques y evolución del concepto. XII Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA desarrolla en San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. Los días 10 y 11 de agosto de 2017.

Gairín, J. (2011). Formación de profesores basada en competencias. Bordón. *Revista de Pedagogía*, 63(1), 93-108. Recuperado de: https://core.ac.uk/download/pdf/78532495.pdf

Heydrich, M., Rojas, M. y Hernández, A. (2012). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista universidad EAFIT*, V. 46,N. 158, P. 11-21,2012.Recuperado a partir de https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/743

Jensen, B. B. (1997). A case of two paradigms within health education. Health education research, V. 12, N. 4, P. 419-428, 1997.DOI:10.1093/her/12.4.419

Jensen, B. B. y Simovska, V (2005). Involving students in learning and health promotion processes: clarifying why? What? And how? *International journal of health promotion and education*, n. 12, p. 150-156, 2005.DOI: 10.1177/10253823050120030114

Lizitza N. y Sheepshanks V. (2020). Educación por competencias cambio de paradigma del modelo de enseñanza-aprendizaje. *Revista Argentina de Educación Superior,* ISSN-e 1852-8171, Nº. 20, 2020, págs. 89-107.

Martínez Sandra, González Luis, Rodríguez René y Luis Aguilar (2014) Proyecto de Investigación: Un escenario propicio para valorizar y fortalecer competencias.

IV Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica CAIM 2014. 2 al 5 de Setiembre de 2014. Resistencia - Chaco. Argentina.

Molina, M.F., Palomeque, L.A. y Carriazo, J.G. (2016). Experiencias en la enseñanza de la química con el uso de kits de laboratorio. *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea]. 2016, vol.10, n.20, pp.76-81. ISSN 1909-8367

Morales Bueno, P. (2018). Aprendizaje basado en problemas (ABP) y habilidades de pensamiento crítico ¿una relación vinculante? *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado,* 21(2), 91–108. https://doi.org/10.6018/reifop.21.2.323371

Morales Castro, C. y Torres Balcázar, A. (2015). Aprendizaje Basado en Proyectos para el Desarrollo de Competencias. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa: Vol. 2 Núm. 3*: Enero - Junio 2015.ISSN 2007 - 8412

Moreno, T. (2012). La evaluación de competencias en educación. Sinéctica, *Revista Electrónica de Educación*, 39, 01-20. Recuperado de: https://sinectica.iteso.mx/index.php/SINECTICA/article/view/84/76

Nordin, L. L (2016). Implementing the health promoting school in Denmark: a case study. Health Education, V. 116, N. 1, P. 86-103.https://doi.org/10.1108/HE-06-2014-0074

Notari, M., Baumgartner, A. y Herzog, W. (2014). Social skills as predictors of communication, performance and quality of collaboration in project based learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, V. 30, N. 2, P. 132-147.doi:10.1111/jcal.12026

Ochoa, R. F. (2013). Estrategias de Enseñanza y Pedagogía. *Actualidades Pedagógicas*, N. 61, P. 15-26. https://doi.org/10.19052/ap.2328

Ortega, M. D. (2010). Competencias emergentes del docente ante las demandas del espacio europeo de educación superior. *Revista Española de Educación Comparada*, 16, 305-328.Recuperado a partir de https://revistas.uned.es/index.php/REEC/article/view/7534

Preeti, B., Ashish, A. y Shriram, G. (2013). Problem Based Learning (PBL)An effective Approach to Improve Learning Outcomes in Medical Teaching. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*: *JCDR*, V. 7, n. 12, p. 2896.DOI: 10.7860/JCDR/2013/7339.3787

Rekalde, I., Martínez, B. y Marko, J. I. (2012). Los proyectos interdisciplinares de módulo: Una experiencia innovadora en el Grado de Educación Social de la UPV/EHU.

REDU: *Revista de Docencia Universitaria*, 10(3), 209-237. https://doi.org/10.4995/redu.2012.6021

Rodríguez Gómez, G., Ibarra Saiz, M. S. y Cubero Ibáñez, J. (2018). Competencias básicas relacionadas con la evaluación. Un estudio sobre la percepción de los estudiantes universitarios. *Educación XX1*, 21(1), 181-207.doi: 10.5944/educXX1.14457

Sepúlveda Chaverra, J. D. y Riaño, N. M. (2016). Elementos sociales en los procesos de transferencia tecnológica de fuentes no convencionales de energía renovable FNCE-R en zonas no interconectadas en Colombia. *Revista Espacios,*37(23), 07. Recuperado de http://www.revistaespacios.com/a16v37n23/16372307.html

Ugalde, L., Bernaras Iturrioz, E., Rodríguez, M., Eider y Odria Tudanca, A. (2020). El Trabajo Interdisciplinar de Módulo como herramienta para el desarrollo de competencias transversales. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*. Universidad de Zaragoza2020, 34(1)ISSN 0213-8646|E-ISSN 2530-3791 https://doi.org/10.47553/rifop.v34i1.76567

Vallejo Bautista, J. M., Espigares Pinazo, M. J. y Hernández Carrera, R. M. (2017). Aprendizaje basado en proyectos (ABP) ante el reto de una nueva enseñanza de las ciencias. *Revista Brasileña de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología*. ISSN 1982.837X. DOI: 10.3895/rbect.v10n3.4454

WHEC (2022). Tercera Conferencia Mundial de Educación Superior. https://www.unesco.org/es/articles/la-conferencia-mundial-de-educacion-superior-de-la-unesco-hace-un-llamamiento-la-transformacion

Zuluaga Duque, J. F. (2017). Relación entre conocimientos, saberes y valores: un afán por legitimar los saberes más allá de las ciencias. *Revista investigación, desarrollo, innovación*, 8(1), 61-76.https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n1.2017.5973

V. ÁREA TEMÁTICA: SISTEMAS AGROALIMENTARIOS E INDUSTRIAS

APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPÍA RAMAN EN LA INDUSTRIA CÁRNICA

M. Sofía Castaño Ledesma[1], Claudio D. Borsarelli [1,2], Gustavo A. Palma[1,2], M. Sumampa Coria[1,2],*

Resumen

El interés por definir y caracterizar la calidad de la carne es creciente en la industria cárnica y los consumidores. El método más extendido para medir la percepción de calidad es a través de paneles sensoriales con consumidores, pero con las desventajas de ser costosos y laboriosos, insumiendo mucho tiempo. Como alternativa, se han probado una amplia gama de métodos físicos y químicos para obtener resultados similares. No obstante, estas metodologías empleadas requieren preparación previa de las muestras y son destructivas. En el contexto de mejoras instrumentales en las últimas décadas, la espectroscopía Raman (RS) surge como una herramienta versátil, no

1 Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC). Universidad Nacional de Santiago del Estero. CONICET. Santiago del Estero, Argentina

2 Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Santiago del Estero, Argentina

destructiva, de alto potencial para la caracterización de mezclas complejas, ya que proporciona información inequívoca sobre la estructura química de las moléculas. En este capítulo se incluye una breve descripción de los principios básicos de la RS, sus aplicaciones más importantes en la industria cárnica, como así también los resultados obtenidos recientemente en este campo de aplicación en el Instituto de Bionanotecnología del NOA (CONICET-UNSE).

Palabras clave: calidad de carne, bovinos, espectroscopia, Raman

1. Introducción

La carne es una de las principales fuentes de proteínas en la mayoría de las dietas, debido a su valor nutritivo. En este sentido, el consumo mundial de carne en el 2021 se duplicó respecto a los valores registrados en 1990, situándose por encima de los 328 millones de toneladas métricas y en Argentina, el consumo per cápita en el año 2022 fue de 47,5 kg (IPCVA, 2023).

En las últimas décadas, los conceptos de calidad de carne, carne de calidad, producto de calidad y garantía de calidad, entre otros, han ocupado el centro de la atención de los productores y consumidores, tanto en la investigación como en la producción animal. Desde el punto de vista del consumidor, se puede considerar la calidad de la carne en términos sensoriales (terneza, jugosidad, sabor, color), dietéticos (composición química), de imagen (raza, sistema de producción, marca, denominación, etc.), seguridad higiénico-sanitaria (control de patógenos, toxinas, residuos), o en aspectos tecnológicos (maduración, envasado) (Geay et al., 2001). Son cada vez más los consumidores que también consideran importantes otras cuestiones tales como el bienestar animal, el respeto al medioambiente o la trazabilidad del producto (Hocquette et

al., 2012). Por otro lado, la satisfacción de los consumidores está basada principalmente en la palatabilidad, es decir, en la combinación de sabor, jugosidad, textura y terneza, siendo esta última en la que más énfasis se ha hecho en las investigaciones internacionales (Ouali et al., 2013; Hunt et al., 2014).

El interés por definir y caracterizar la calidad de la carne obtenida bajo diferentes condiciones de producción es creciente en los principales mercados (Hocquette et al., 2012). El método más directo para medir la percepción de la calidad de carne es a través de paneles sensoriales con consumidores entrenados. Sin embargo, no es posible utilizar los paneles como un método rutinario de garantía en la producción de carne, ya que los mismos son costosos, subjetivos, laboriosos e insumen mucho tiempo (Lorenzen et al., 2003). Como alternativa, se han probado métodos mecánicos como la resistencia a la fuerza de corte con la cuchilla de Warner-Bratzler (WBSF), el cual está asociado con la dureza de la carne, la determinación de la capacidad de retención de agua, asociada con la jugosidad, entre otras (Jeremiah et al., 2003; Destefanis et al., 2008) además de cromatografía de líquidos y gases (Lehotay y Hajšlová, 2002) y la espectrometría de masas (Kuś y van Ruth, 2015). Para todas estas técnicas, el manejo de muestras es similar; primero se obtiene una muestra del músculo del animal faenado, se transporta a un laboratorio externo, se realiza un procesamiento de la muestra y se analiza utilizando alguno de los procesos citados anteriormente. Si bien los resultados obtenidos suelen ser precisos, son procedimientos complejos en los que las muestras analizadas requieren de una preparación previa y el tiempo para realizar el análisis es, elevado.

En este contexto, la espectroscopia Raman (RS) surge como una herramienta versátil y de alto potencial para la caracterización de mezclas complejas, ya que proporciona información en cuanto a la estructura química de las moléculas, independientemente del fenómeno de fluorescencia (Herrero et al.,

2019). En las últimas décadas, los avances tecnológicos en el desarrollo de láseres como fuente de excitación y de detectores de luz más sensibles, han permitido realizar numerosos estudios para evaluar el potencial de los dispositivos espectroscópicos Raman emergentes, sugiriendo que los mismos permiten predecir los atributos de la calidad de la carne sin necesidad de preparación de muestras (Jin et al., 2016; Pchelkina et al., 2022).

En este capítulo se incluye una breve descripción de los principios básicos de la espectroscopía Raman, las aplicaciones más importantes de esta tecnología en el análisis de calidad de carne, como así también resultados obtenidos recientemente en el Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC).

1.1 Principios de la espectroscopía Raman

El efecto o dispersión Raman fue descubierto en 1922 por el físico hindú C.V. Raman, quien fue laureado con el Premio Nobel en 1930 por este descubrimiento, y tiene relación con los cambios de energía vibracional de los enlaces moleculares de un material por interacción con la luz. Cuando un fotón incidente es absorbido por una molécula, se distorsiona la nube electrónica de los enlaces moleculares modificando la población de estados vibracionales formando un "nivel virtual" inestable, que relaja inmediatamente el exceso de energía vibracional al estado fundamental. Cuando la frecuencia o energía de la radiación dispersada coincide con la del fotón incidente, se dice que la dispersión es "elástica" y se la denomina dispersión tipo Rayleigh, Figura 1 (Skoog, 2013).

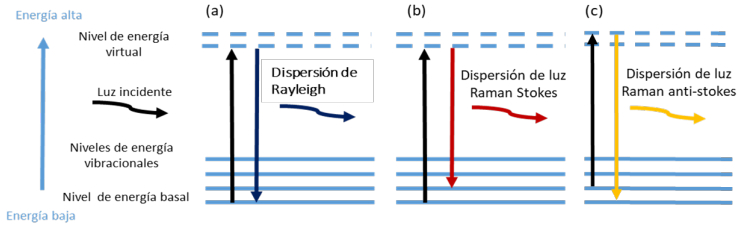


Figura 1: Diagrama de los procesos de dispersión de luz Rayleigh y Raman: (a) dispersión Rayleigh, (b) dispersión Raman Stokes y (c) dispersión Raman anti-Stokes

Por otro lado, cuando los fotones incidentes se relajan a un nivel de energía vibracional diferente al fundamental, se produce una dispersión "inelástica" de fotones de diferente energía (mayor o menor) a la incidente que es una característica única del tipo de enlace involucrado, permitiendo obtener una "huella digital" o *fingerprint* molecular que es traducida en información química de la muestra (Wang et al., 2018). Dependiendo del cambio de energía relativo, la dispersión Raman se puede dividir en dos tipos: dispersión Stokes o anti-Stokes Raman de Stokes. En la dispersión de Stokes Raman, los fotones se excitan desde el nivel de energía basal y se relajan a un nivel vibracional con energía mayor que el fundamental alto. Como resultado, la luz dispersada tiene una frecuencia menor que la luz incidente. En la dispersión Raman anti-Stokes, los fotones se excitan desde el nivel de energía inicial mayor al fundamental y se relajan a un nivel de energía más bajo. En este caso, la luz dispersada tiene una frecuencia mayor en comparación con la luz incidente (Wang et al., 2018).

En este contexto, cuando un enlace está fuertemente polarizado, un pequeño cambio en su longitud que ocurra durante la vibración tendrá solo un pequeño efecto sobre la polarización. Por lo tanto, las vibraciones asociadas con enlaces polares (por ejemplo, C-O, N-O, O-H) son dispersores Raman relativamente débiles. Por el contrario, los enlaces compara-

tivamente no polares (por ejemplo, C-C, C-H, C = C) experimentan mayores cambios en la polarizabilidad durante la vibración, pero no sobre el momento dipolar; por lo tanto, las vibraciones que involucran principalmente este tipo de enlaces son dispersiones Raman intensas (Salgueiro et al., 2021).

Se debe destacar que la RS ofrece ventajas significativas en el análisis de alimentos comparadas con otras espectroscopías, que incluyen la especificidad, ya que las bandas Raman tienen una buena relación señal-ruido y no se superponen; la compatibilidad con sistemas acuosos debido a que el espectro Raman del agua es débil y discreto; la rapidez, ya que la RS puede completar el análisis en segundos; y no requiere preparación especial de la muestra ni contacto con la muestra, ya que solo el láser se dirige a la muestra y los fotones dispersos se recolectan utilizando lentes en el equipo (Yang et al., 2011).

1.2. Aplicación en la industria cárnica

Como se mencionó previamente, en los últimos años la espectroscopia Raman recibió significativa atención en la industria cárnica (Kucha et al., 2018; Beganović et al., 2019; Logan et al., 2020). Los métodos espectroscópicos Raman brindan información estructural sobre los cambios en las proteínas y los lípidos de la carne, los cuales permiten estudiar alteraciones en la estructura de la matriz cárnica, predecir atributos sensoriales, identificar el origen de las carnes o su adulteración con otros productos, determinar la vida útil de la carne y sus derivados, como así también la identificación de productos nocivos para la salud (Pchelkina et al., 2022) (Figura 2).



Figura 2. Aplicaciones de la espectroscopía Raman en la industria cárnica

1.2.1. Asignación de bandas Raman en matrices cárnicas

Para la asignación de bandas se tiene en cuenta la composición de la matriz a estudiar. Los componentes principales de los músculos son las proteínas, los ácidos grasos y el tejido conectivo (Hui et al., 2006). La asignación de bandas Raman de las proteínas se basa en compuestos modelos como aminoácidos o péptidos cortos. En este contexto, las estructuras secundarias α-hélice, hoja-β, *random coil* o los giros de las proteínas, permiten identificar regiones características de estas estructuras: la Amida I (1645-1685 cm^{-1}) y la Amida III (1200-1350 cm^{-1}) (Beattie et al., 2004) (Figura 3). Por otro lado, es posible obtener información sobre la estructura terciaria de las proteínas mediante el análisis de las regiones asignadas al trip-

tófano (544, 577, 760, 879, 1014, 1340, 1363, 1553 y 1582 cm^{-1}), al doblete de tirosilo (855 y 828 cm^{-1}) y a residuos hidrofóbicos alifáticos asignados a 1450 cm-1 (flexión de CH_2 y CH_3) y a 2930 cm^{-1} (estiramiento C-H) (Herrero 2008) (tabla 1).

La carne, además de proteínas, está compuesta por lípidos, por lo cual es importante identificar las regiones asociadas a los mismos. Los ácidos grasos y lípidos, como así también su grado de saturación, determinan la intensidad y localización de las bandas en el espectro. En aceites y grasas, se identificaron bandas Raman cercanas a 1750, 1660, 1470, 1443, 1306 y 1269 cm^{-1} asignadas al estiramiento del C=O, C=C, flexión en tijera y giro del metileno y a la deformación del CH en el plano. A su vez, se ha descripto qué cambios en los lípidos están asociados a modificaciones en las vibraciones del estiramiento C-H, asignadas en la región comprendida entre 2800-3000 cm^{-1}.

A su vez, la RS permite obtener información sobre la estructura del agua en las fibras musculares. Es posible identificar una banda ancha en la región comprendida entre 3100 y 3500 cm^{-1}, atribuida a estiramientos del OH. Asimismo, por debajo de los 600 cm^{-1} es posible identificar una banda asociada al agua intramolecular (Herrero, 2008).

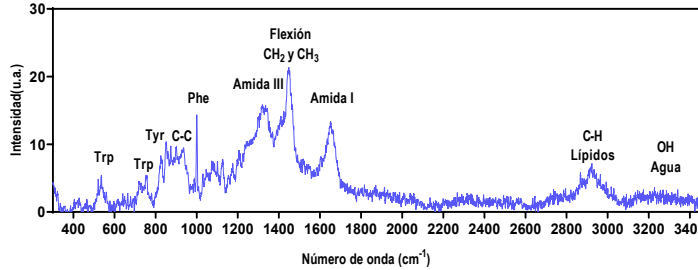


Figura 3. Asignación de bandas en un espectro característico de carne.

La identificación de todas estas regiones permitió múltiples investigaciones, en las cuales se destaca el potencial uso de

RS en la industria cárnica. A continuación, se mencionan los principales resultados obtenidos

Posición (cm^{-1})	Región	Asignacioness
3430	Agua	O-H
2800-2900	Ácidos grasos	C-H
1735-1746	Ácidos grasos	Triacilglicerol-gliceril esteres
		Hoja -β
1665-1680	Amida I	
1660-1665		Random coil
1645-1658		Hélice-α
1635	Agua	H-O-H
1610		Tirosina, Fenilalanina
1600		Fenilalanina, Arginina
1557		Triptófano
1540		Mioglobina
1447		Hélice - α
1446		CH_2
1360		Triptófano
1340		Mioglobina
1305	Amida III	Hélice-α-fibrosa
1265		Hélice-α-globular
1250-1255		Random coil
1225-1235		Hoja-β
1215		Tirosina, Fenilalanina, Hidroxiprolima

1126		Mioglobina
998-1006	Esqueleto	Hoja- β
999	C-C, N,O	Mioglobina
956		Random coil
920-950		Hélice - α
906		Hélice - α
885		Mioglobina
881		Triptófano
855		Tirosina
762		Triptófano
755-714		Mioglobina
640-720	v (S-S)	Metionina, Cisteína-Cisteína

Tabla 1. Asignación de bandas Raman en la industria cárnica.

1.1.1. Detección de origen y adulteración

Numerosos autores propusieron la RS como una herramienta útil para determinar el origen de las muestras, como así también detectar adulteraciones en procesados de carne (Ellis et al., 2005; Herrero, 2008; Al Ebrahim et al., 2013; Boyaci, Uysal, et al., 2014; Boyaci, Temiz, et al., 2014; Zajac et al. 2014; Tomasevic et al., 2016; Nunes et al. 2019; Logan et al., 2020; Robert et al., 2021)

En este sentido, Ellis et al. (2005) evaluaron el uso de RS para diferenciar carne de pavo y pollo, como así también los diferentes músculos (pechuga y pata) en estas especies, obteniendo espectros Raman característicos para cada especie y diferencias significativas entre músculos. Asimismo, Boyaci, Temiz, et al. (2014) y Zajac et al. (2014) emplearon la RS para identificar la adulteración de procesados de carnes bovinas con carne de caballo. En este

contexto, el uso de RS en conjunto con el análisis de componentes principales permitió la correcta identificación del origen cárnico en períodos muy cortos de análisis (30 s), determinando la presencia de adulteraciones con diferentes proporciones de carne de caballo en los productos elaborados a base de carne bovina. Del mismo modo, Al Ebrahim et al. (2013) evaluaron el uso de RS con un láser de 671 nm para diferenciar carne bovina de carne de caballo. Los autores identificaron regiones asociadas con el contenido de mioglobina que permiten la diferenciación del origen cárnico (1613 cm^{-1}, 1561 cm^{-1}, 1543 cm^{-1}, 1521 cm^{-1}, 1449 cm^{-1}, 1399 cm^{-1}, 1355 cm^{-1}, 1337 cm^{-1}, 1315 cm^{-1}, 1124 cm^{-1}, 1000 cm^{-1}, 949 cm^{-1}, 827 cm^{-1}, 850 cm^{-1} y 754 cm^{-1}).

A su vez, Boyaci et al. (2014) lograron determinar mediante RS el origen cárnico en muestras de chacinados como salame, calibrando el equipo con extractos de grasas de diferentes especies (oveja, cerdo, pescado, pavo, cabras, bovinos y búfalos). Resultados similares fueron descriptos por Robert et al. (2021), mediante análisis quimiométricos en la identificación de carnes rojas que permitieron la diferenciación de carne de cordero, venado y bovina.

Por su parte, Tomasevic et al. (2016) estudiaron la posibilidad de utilizar la RS para la identificación de carne bovina y porcina en salchichas tipo Frankfurt. Para ello, se investigaron cinco recetas diferentes de embutidos con ambas carnes. Se utilizó un análisis de discriminación lineal en combinación con el análisis de componentes principales para el análisis de datos. Los resultados mostraron alta sensibilidad (91,67 %) y especificidad (100 %) sugiriendo que la RS permite la autenticación rápida de salchichas.

A su vez, se analizó la calidad del jamón cocido ibérico curado en muestras de cerdos ibéricos de raza pura y mestizos alimentados con bellota o con cebo (Martín-Gómez et al., 2021). Los resultados presentados demuestran que la RS se puede utilizar como una herramienta de detección rápida para verificar la

calidad del jamón ibérico, la clasificación de los cerdos según la raza y el régimen de alimentación. Del mismo modo, se evaluó el uso de la RS para detectar el sistema productivo en bovinos para carne (Logan et al., 2020). Se obtuvieron diferencias en los espectros de la grasa proveniente de animales criados en sistemas intensivos y extensivos, identificándose regiones (1069 cm^{-1}, 1127 cm^{-1}, 1301 cm^{-1}, 1445 cm^{-1} y 1658 cm^{-1}) asociadas a los ácidos grasos saturados, presentes en mayor proporción en los animales criados en sistemas intensivos.

De igual manera, en un estudio reciente Nunes et al. (2019) determinaron la presencia de sales y polisacáridos utilizados para incrementar la capacidad de retención de agua (y con ello la jugosidad) en carnes. Los autores lograron identificar mediante RS la presencia de cloruro de sodio, tripolifosfato de sodio y carragenina en el exudado de carne bovina proveniente del ojo de bife (músculo *semitendinosus*). Los resultados son muy prometedores ya que pudieron identificar la presencia de estos compuestos de forma individual o en mezclas binarias o trinarias con bajas probabilidades de obtener resultados falsos.

1.2.3. Determinación de vida útil

Argyri et al. (2013) evaluaron la capacidad predictora de la RS en determinaciones microbiológicas y sensoriales de carne picada almacenada en condiciones aérobicas y en atmósferas modificadas a 5ºC, obteniendo buenos resultados en la predicción del recuento de viables totales (microorganismos presentes en un producto alimentario), bacterias del ácido láctico y enterobacterias. En un estudio similar, Yang et al. (2020) realizaron el recuento microbiano en carne bovina almacenada a 4 °C durante 21 días utilizando dos métodos de envasado diferentes: envasado al vacío y envasado en atmósfera modificada. Los resultados obtenidos por estos autores sugieren que la RS fue capaz de predecir el recuento de viables totales y de

bacterias del ácido láctico a los 21 días en ambos embalajes, demostrando la posibilidad de utilizar esta técnica para detectar el deterioro de la carne.

A su vez, Schmidt et al. (2010) diseñaron un dispositivo Raman portátil con un láser de 671 nm que permitió determinar contaminación microbiana en la superficie de la carne envasada o sin envasar. De forma similar, Sowoidnich et al. (2012) determinaron la presencia de bacterias en muestras almacenadas durante 3 semanas. El dispositivo portátil diseñado les permitió diferenciar carne fresca de contaminada y determinar un umbral de detección para unidades formadoras de colonias.

1.2.4 Asociación con atributos de calidad

Beattie et al. (2004) realizaron ensayos preliminares en muestras bovinas cocidas, evaluadas previamente por un panel sensorial. Los autores correlacionaron los datos Raman obtenidos con un láser de 785nm con las variables de resistencia a la fuerza de corte (inverso a la terneza), pérdidas por cocción (asociado con la jugosidad) y con las determinaciones obtenidas mediante el panel sensorial. El poder de predicción de la técnica fue superior para las variables textura, terneza y jugosidad, evaluadas por panel sensorial. A su vez, los resultados obtenidos sugieren que la proporción de las estructuras secundarias de las proteínas (α-hélice/hoja-β) y la hidrofobicidad del entorno miofibrilar son factores importantes que contribuyen a la textura y jugosidad de la carne.

Por su parte, Bauer et al. (2016) utilizaron un sistema Raman portátil con una longitud de onda de 671 nm para evaluar la terneza de carne bovina madurada durante 14 días. La correlación entre los espectros Raman y la resistencia a la fuerza de corte de Warner-Bratzler con el uso del análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales permitió distinguir muestras duras y tiernas con una precisión del 70 al 88 %. A su vez, Fowler et al. (2018)

estudiaron las características sensoriales (jugosidad y terneza) en el músculo *longissimus lumborum* de bovinos utilizando un espectro Raman portátil con una longitud de onda de 671 nm antes y después de la congelación, pudiendo determinar la jugosidad y la terneza. Por otro lado, Cama-Moncunill et al. (2020) investigaron el potencial de RS para predecir la resistencia a la fuerza de corte, el contenido de grasa intramuscular, pH, pérdidas por goteo y pérdidas por cocción en bovinos. Los modelos de regresión utilizados se desarrollaron basándose en los espectros registrados en músculo *longissimus thoracis* et *lumborum*. Con excepción de la variable pH, los modelos demostraron un desempeño pronunciado en la calibración y una capacidad predictiva prometedora. A su vez, se determinaron dos regiones del espectro Raman asociadas a la capacidad de retención de agua. Estas regiones están relacionadas con la conformación proteica (región 3128-3071 cm^{-1} asociada al estiramiento N-H de amidas primarias) y con la desnaturalización de proteínas (región 951-876 cm^{-1} asociada al estiramiento C-C).

En este sentido similar, Nian et al. (2017) utilizaron la RS para determinar las características físico-químicas de diferentes músculos de toros Holstein-Friesian almacenados durante catorce días. Se obtuvieron resultados significativos en la predicción de los atributos resistencia a la fuerza de corte y pérdidas por cocción. La capacidad de predicción de RS fue mejor en muestras maduradas 3 días. Por su parte, Zhao et al. (2018) obtuvieron correlaciones altas o moderadas utilizando la señal Raman entre 1300-2800 cm^{-1} en la predicción de características organolépticas de carne de toros.

Por otro lado, la capacidad de predicción de RS para varios atributos de calidad de carne en corderos, como la resistencia a la fuerza de corte, el color, las pérdidas por cocción y el pH, fueron evaluadas (Schmidt et al., 2013; Fowler et al., 2014; Fowler, Schmidt, et al., 2015; Fowler, Ponnampalam, et al., 2015). Se obtuvieron resultados prometedores al estudiar la resistencia

a la fuerza de corte. El poder de predicción de este atributo sensorial en las muestras del músculo *longissimus thoracis et lumborum* fue elevado en el estudio realizado por Schmidt et al. (2013), trabajo en el cual se obtuvieron coeficientes de determinación de 0,79 y 0,86 para esta característica. Sin embargo, los valores disminuyeron al predecir la fuerza de corte en el músculo *semimembranosus* en carne madurada durante 24 horas y 5 días (Fowler et al., 2014) y después de ciclos de congelación y descongelación (Fowler, Schmidt et al., 2015).

Wang et al. (2012) evaluaron la capacidad de predicción de RS para los atributos de calidad de carne cruda de cerdo. La técnica les permitió crear códigos de barras que permiten clasificar la carne como "buena" o "mala" en cuanto a la terneza y masticabilidad, sugiriendo que la espectroscopia es una herramienta rápida y eficaz para la determinación de estos parámetros en la industria de la carne porcina. Para la misma especie, Andersen et al. (2021) revelaron que la RS se puede utilizar para la detección de las pérdidas por goteo y pH en el músculo *longissimus lumborum*. Del mismo modo, Beattie et al. (2008) determinaron cambios en el espectro Raman de carne tierna y dura, atribuidos a la conformación y el ambiente de las proteínas miofibrilares. Estos autores demostraron también que la RS permite caracterizar la cocción de las carnes bovinas.

De igual manera, el uso de la dispersión Raman permite evaluar el contenido de ácidos grasos de manera rápida ya que no requiere procesos de extracción y purificación. Beattie et al. (2007) determinaron la capacidad de predicción de RS mediante un análisis multivariado, logrando una precisión del 96,7% al 99,6% en la clasificación de grasa aviar, bovina, ovina y porcina. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores utilizando el análisis de componentes principales para la clasificación de tejido graso (Saleem et al., 2021). Andersen et al. (2018) determinaron la capacidad de predicción para el análisis de la grasa intramuscular porcina (*longissimus lumborum*)

4–5 días después de la faena, obteniendo valores de predicción elevados (r= 0,73).

La espectroscopia Raman mostró buenos resultados en la medición de las concentraciones de los principales grupos de ácidos grasos, como ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), así como la grasa intramuscular (Olsen et al., 2007; Fowler et al., 2015). Por su parte, Lee et al. (2018) lograron clasificar diferentes grasas animales (bovina, porcina, aviar) usando espectroscopia Raman en combinación con un cálculo simple de las proporciones de intensidad de las señales Raman en los modos de vibración que correspondían a los ácidos grasos insaturados y los ácidos grasos totales. A su vez, Beattie et al. (2006) investigaron el uso de RS como alternativa a la cromatografía gaseosa en la determinación de ácidos grasos. Los resultados obtenidos sugieren que la espectroscopía es una buena herramienta para predecir la insaturación en muestras de carne bovina, ovina, porcina y aviar.

Las sustancias químicas, como el glucógeno, la glucosa, el lactato y el cortisol, son predictores de la calidad de la carne; pero su detección en la superficie de la carne por RS convencional está restringida debido a su baja concentración. Sin embargo, Ostovar Pour et al. (2019) utilizaron la espectroscopia Raman desplazada espacialmente (SORS) para detectar las bandas espectrales de gestos compuestos en el músculo (5 mm por debajo de la superficie) y posteriormente estudiaron el potencial de SORS en la discriminación entre cortes de carne bovina (Ostovar Pour et al. 2020). Los resultados obtenidos mostraron diferencias en las bandas sensibles a la estructura de las regiones amida I y III, cisteína, ácido glutámico y fenilalanina.

2. Resultados preliminares obtenidos en Santiago del Estero

Desde diciembre de 2019 se encuentra instalado y en funcionamiento en el laboratorio de Microscopías Avanzadas del INBIONATEC un microscopio confocal Raman modelo LabRAM HR Evolution, equipado con láseres de excitación a 532, 633, y 785 nm. Este instrumento permite obtener información espectroscópica seleccionando un punto de la muestra a analizar con el objetivo del microscopio, como determinar mapeos o imágenes 2D y 3D de composición química analizando la respuesta Raman en los planos X-Y y X-Y-Z, respectivamente (Figura 4).

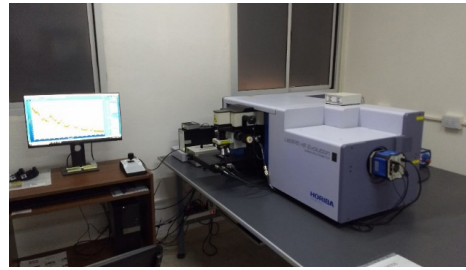


Figura 4. Microscopio acoplado a Espectroscopía Raman Horiba LabRam HR Evolution

Estudios recientes realizados con este equipo sugieren que el uso de la RS permitirá agregar valor a los productos cárnicos y contribuir a la certificación de la carne. En un ensayo preliminar, el Laboratorio de Producción y Reproducción Animal del INBIONATEC evaluó diferentes atributos de calidad de carne en novillos Braford mediante técnicas tradicionales y RS. Se analizaron 30 muestras del músculo *longissimus thoracis et lumborum*, y se determinó la terneza de las muestras mediante el análisis de perfil de textura, subdividiéndolas en dos grupos: carne con mayor terneza ("tierna") y carne con menor terneza ("dura"). No se obtuvieron diferencias en la masticabilidad, y el diámetro de la fibra entre ambos grupos de muestras, aunque

para las muestras del primer grupo se obtuvieron mayores valores de cohesividad y menores valores de capacidad de retención de agua, grasa intramuscular y longitud de sarcómero que para el grupo dos. La comparación de las medidas Raman junto con un análisis de componentes principales (PCA) permitió diferenciar las muestras de ambos grupos. La correlación entre los atributos sensoriales obtenidos de los espectros Raman y las mediciones físicas dio como resultado asociaciones entre el parámetro dureza con la señal Raman a 1003 cm^{-1}, asignada a la frecuencia de vibración simétrica del anillo de fenilalanina (Phe), sugiriendo que el contenido de este aminoácido podría explicar la diferencia entre grupos de muestras (Coria et al., 2023).

De igual manera, se evaluó la capacidad de predicción del estado oxidativo de la carne mediante RS durante el proceso de maduración *post mortem* (Castaño Ledesma et al., 2023). Se debe tener en cuenta que la carne es un alimento altamente degradable, debido a los procesos químicos y enzimáticos que ocurren post mortem. Estos provocan el desarrollo de malos olores, sabores, cambios de color y compuestos de posible toxicidad. De ese modo se afecta negativamente la calidad organoléptica de la carne, haciendo que el alimento no resulte atractivo para el consumidor y reduciendo su vida útil (Estévez et al., 2008; Bekhit et al., 2013).

En el ensayo se utilizaron muestras del mismo músculo almacenadas al vacío durante 2 y 21 días y se evaluó el contenido de antioxidantes por el método de polifenoles totales y la oxidación proteica monitoreando la presencia de grupos carbonilos por la técnica de 2,4- dinitrofenilhidrazina. Se determinó el estado antioxidante de la carne (MAS) como la proporción de los índices evaluados (antioxidantes/oxidación proteica). A su vez, se midieron los parámetros de color (L, a* y b*) y se determinaron los espectros Raman de las muestras. Las muestras maduradas durante 2 días presentaron valores mayores del índice MAS y mayores intensidades Raman que las muestras

maduradas durante 21 días. Sin embargo, no se observaron diferencias en los parámetros de color evaluados. El análisis de correlación permitió determinar asociaciones negativas entre MAS y la señal Raman a 1005 cm^{-1}, a 1221cm^{-1} (regiones asociadas con la estructura secundaria hoja-β) y con la señal a 1650 cm^{-1}, región asociada a la estructura α-hélice.

Por lo tanto, la implementación de esta técnica robusta y no invasiva podría resultar prometedora para el sistema productivo en la provincia, pero la misma debe validarse en diferentes condiciones de estudio (especie animal, alimentación, procesamiento, cocción y/o maduración de la carne, etc.).

3. Conclusiones

La RS provee información sobre la estructura del músculo *in situ*, la cual determina la calidad final de la carne. Es una técnica no invasiva, rápida, robusta, que requiere poco o nulo tratamiento previo de la muestra. La RS resulta de gran utilidad para entender mejor los procesos metabólicos que ocurren durante la conversión del músculo a carne, como así también la identificación de cambios en los componentes estructurales durante el procesamiento o almacenamiento de la carne y, así, agregar valor al producto.

La RS está correlacionada de forma satisfactoria con atributos de calidad de carne, obtenidos por medio de diferentes métodos tradicionales. En algunos casos se estableció la conveniencia de la asociación con métodos quimiométricos, lo cual permitió determinar la capacidad de predicción de esta técnica para su posterior uso en el análisis de calidad de carne. A su vez, esta herramienta ha sido utilizada para la identificación de especies, músculos o adulteraciones en la carne, como así también en la determinación de microorganismos y vida útil del producto.

Esta tecnología, disponible en el Instituto de Bionanotecnología del NOA en la provincia de Santiago del Estero, está disponible de uso a través del administrador de turnos del Sistema Nacional de Microscopía (SMN) (https://inbionatec.conicet.gov.ar/servicios/) y podría implementarse durante los próximos años para darle valor agregado a productos cárnicos de la provincia.

Referencias

Al Ebrahim H, Sowoidnich K, Kronfeldt H-D. (2013). *Raman spectroscopic differentiation of beef and horse meat using a 671 nm microsystem diode laser*. Applied Physics B 113, 159–163.

Andersen PV, Afseth NK, Gjerlaug-Enger E, Wold JP. (2021). *Prediction of water holding capacity and pH in porcine longissimus lumborum using Raman spectroscopy.* Meat Science 172, 108357.

Andersen PV, Wold JP, Gjerlaug-Enger E, Veiseth-Kent E. (2018). *Predicting post-mortem meat quality in porcine longissimus lumborum using Raman, near infrared and fluorescence spectroscopy.* Meat Science 145, 94–100.

Argyri AA, Jarvis RM, Wedge D, Xu Y, Panagou EZ, Goodacre R, Nychas GJE. (2013). A comparison of Raman and FT-IR spectroscopy for the prediction of meat spoilage. Food Control 29, 461–470.

Baker SA, Miller-Ihli NJ, Fodor P, Woller Á. (2012). *Atomic Spectroscopy in Food Analysis*. Encycl. En: Anal. Chem. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester, UK.

Bauer A, Scheier R, Eberle T, Schmidt H. (2016). *Assessment of tenderness of aged bovine gluteus medius muscles using Raman spectroscopy.* Meat Science 115, 27–33.

Beattie JR, Bell SEJ, Borgaard C, Fearon A, Moss BW. (2006). *Prediction of adipose tissue composition using Raman spectroscopy: Average properties and individual fatty acids.* Lipids 41, 287–294.

Beattie JR, Bell SEJ, Borggaard C, Fearon AM, Moss BW. (2007). *Classification of Adipose Tissue Species using Raman Spectroscopy.* Lipids 2007 42:7 42, 679–685.

Beattie RJ, Bell SEJ, Borggaard C, Moss BW. (2008). *Preliminary investigations on the effects of ageing and cooking on the Raman spectra of porcine longissimus dorsi.* Meat Science 80, 1205–1211.

Beattie RJ, Bell SJ, Farmer LJ, Moss BW, Patterson D. (2004). *Preliminary investigation of the application of Raman spec-*

troscopy to the prediction of the sensory quality of beef silverside. Meat Science 66, 903–913.

Beganović A, Hawthorne LM, Bach K, Huck CW. (2019). *Critical review on the utilization of handheld and portable Raman spectrometry in meat science.* Foods, 8(2), 49.

Bekhit AE-DA, Hopkins DL, Fahri FT, Ponnampalam EN. (2013). *Oxidative Processes in Muscle Systems and Fresh Meat: Sources, Markers, and Remedies.* Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 12, 565–597.

Boyaci IH, Temiz HT, Uysal RS, Velioğlu HM, Yadegari RJ, Rishkan MM. (2014). *A novel method for discrimination of beef and horsemeat using Raman spectroscopy.* Food Chemistry 148, 37–41.

Boyaci İH, Uysal RS, Temiz T, Shendi EG, Yadegari RJ, Rishkan MM, Velioglu HM, Tamer U, Ozay DS, Vural H. (2014). *A rapid method for determination of the origin of meat and meat products based on the extracted fat spectra by using of Raman spectroscopy and chemometric method.* European Food Research and Technology 238:5, 845–852.

Cama-Moncunill R, Cafferky J, Augier C, Sweeney T, Allen P, Ferragina A, Sullivan C, Cromie A, Hamill RM. (2020). *Prediction of Warner-Bratzler shear force, intramuscular fat, drip-loss and cook-loss in beef via Raman spectroscopy and chemometrics.* Meat Science 167, 108157.

Castaño Ledesma MS, Coria MS, Gómez Rojas, Jorge Raúl, Palma GA, Borsarelli, CD. (2023). *Preliminary investigation of the application of Raman microspectroscopy to predict oxidative status in bovine aged meat using a 785 nm laser.* En Congreso de la Sociedad Argentina de Biofísica. Rosario. Libro de Resúmenes. Pág 57.

Coria M., Castaño Ledesma MS, Gómez Rojas J, Grigioni G, Palma GA, Borsarelli CD. (2023). *Prediction of tenderness in bovine longissimus thoracis et lumborum muscles using Raman spectroscopy.* Animal Bioscience (en prensa).

Destefanis G, Brugiapaglia A, Barge MT, Dal Molin E. (2008). *Relationship between beef consumer tenderness perception*

and Warner–Bratzler shear force. Meat Science 78, 153–156.
Ellis DI, Broadhurst D, Clarke SJ, Goodacre R. (2005). *Rapid identification of closely related muscle foods by vibrational spectroscopy and machine learning.* Analyst 130, 1648–1654.
Estévez M, Morcuende D, Ventanas S. (2008). *Determination of Oxidation*. En: Handb. Process. Meats Poult. Anal. pp. 141–162. CRC Press, Taylor and Francis Group.
Fowler SM, Ponnampalam EN, Schmidt H, Wynn P, Hopkins DL (2015). *Prediction of intramuscular fat content and major fatty acid groups of lamb M. longissimus lumborum using Raman spectroscopy.* Meat Science 110, 70–75.
Fowler SM, Schmidt H, van de Ven R, Hopkins DL. (2018). *Preliminary investigation of the use of Raman spectroscopy to predict meat and eating quality traits of beef loins.* Meat Science 138, 53–58.
Fowler SM, Schmidt H, van de Ven R, Wynn P, Hopkins DL. (2014). *Raman spectroscopy compared against traditional predictors of shear force in lamb m. longissimus lumborum.* Meat Science 98, 652–656.
Fowler SM, Schmidt H, van de Ven R, Wynn P, Hopkins DL (2015). *Predicting meat quality traits of ovine m. semimembranosus, both fresh and following freezing and thawing, using a hand held Raman spectroscopic device.* Meat Science 108, 138–144.
Geay Y, Bauchart D, Hocquette JF, Culioli J. (2001). *Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat.* Reproduction, Nutrition, Development 41, 1–26.
Guo W, Zhu X, Liu H, Yue R, Wang S. (2010). *Effects of milk concentration and freshness on microwave dielectric properties.* Journal of Food Engineering 99, 344–350.
He H, Sun DW, Pu H, Chen L, Lin L. (2019). *Applications of Raman spectroscopic techniques for quality and safety evaluation of milk: A review of recent developments.* Critical reviews in food science and nutrition, 59:5, 770-793.

Herrero AM. (2008). *Raman spectroscopy a promising technique for quality assessment of meat and fish: A review.* Food Chemistry 107, 1642–1651.

Hocquette JF, Botreau R, Picard B, Jacquet A, Pethick DW, Scollan ND (2012). *Opportunities for predicting and manipulating beef quality.* Meat Science 92, 197–209.

Hui YH, Guerrero Legarreta I, Rosmini MR. (2006). *Ciencia y tecnología de carnes.*

Hunt MR, Garmyn AJ, O'Quinn TG, Corbin CH, Legako JF, Rathmann RJ, Brooks JC., Miller MF. (2014). *Consumer assessment of beef palatability from four beef muscles from USDA Choice and Select graded carcasses.* Meat Science 98, 1–8.

Jeremiah LE, Dugan MER, Aalhus JL, Gibson LL. (2003). *Assessment of the relationship between chemical components and palatability of major beef muscles and muscle groups.* Meat Science 65, 1013–1019.

Jin H, Lu Q, Chen X, Ding H, Gao H. (2016). *The use of Raman spectroscopy in food processes: A review.* Applied Spectroscopy Reviews 51, 12–22.

Kucha CT, Liu L, Ngadi MO. (2018). *Non-destructive spectroscopic techniques and multivariate analysis for assessment of fat quality in pork and pork products: A review.* Sensors, 18(2), 377.

Kuś PM, van Ruth S. (2015). *Discrimination of Polish unifloral honeys using overall PTR-MS and HPLC fingerprints combined with chemometrics.* LWT - Food Science and Technology 62, 69–75.

Lee JY, Park JH, Mun H, Shim WB, Lim SH, Kim MG. (2018). *Quantitative analysis of lard in animal fat mixture using visible Raman spectroscopy.* Food Chemistry 254, 109–114.

Lehotay SJ, Hajšlová J. (2002). *Application of gas chromatography in food analysis.* Trendis in Analytical Chemistry 21, 686–697.

Logan BG, Hopkins DL, Schmidtke L, Morris S, Fowler SM. (2020). *Preliminary investigation into the use of Raman spectroscopy for the verification of Australian grass and grain fed beef*. Meat Science 160, 107970.

Lorenzen CL, Miller RK, Taylor JF, Neely TR, Tatum JD, Wise JW,

Buyck MJ, Reagan JO, Savell JW. (2003). *Beef Customer Satisfaction: Trained sensory panel ratings and Warner-Bratzler shear force values1.* Journal of Animal Science 81, 143–149.

Martín-Gómez A, Arroyo-Manzanares N, García-Nicolás M, López-Lorente ÁI, Cárdenas S, López-García I, Viñas P, Hernández-Córdoba M, Arce L. (2021). *Portable raman spectrometer as a screening tool for characterization of iberian dry-cured ham.* Foods 10, 1177.

Nawrocka A, Lamorsk J. (2013). *Determination of Food Quality by Using Spectroscopic Methods.* 'Adv. Agrophysical Res.' (InTech)

Nian Y, Zhao M, O'Donnell CP, Downey G, Kerry JP, Allen P. (2017). *Assessment of physico-chemical traits related to eating quality of young dairy bull beef at different ageing times using Raman spectroscopy and chemometrics.* Food Research International 99, 778–789.

Nunes KM, Vinícius M, Andrade O, Almeida MR, Fantini C, Sena MM. (2019). *Raman spectroscopy and discriminant analysis applied to the detection of frauds in bovine meat by the addition of salts and carrageenan.* Microchemical Journal 147, 582–589.

Olsen EF, Rukke EO, Flåtten A, Isaksson T. (2007). *Quantitative determination of saturated-, monounsaturated- and polyunsaturated fatty acids in pork adipose tissue with non-destructive Raman spectroscopy.* Meat Science 76, 628–634.

Ostovar Pour S, Fowler SM, Hopkins DL, Torley P, Gill H, Blanch EW. (2020). *Differentiating various beef cuts using spatially offset Raman spectroscopy.* Journal of Raman Spectroscopy 51, 711–716.

Ostovar Pour S, Fowler SM, Hopkins DL, Torley PJ, Gill H, Blanch EW. (2019). *Investigation of chemical composition of meat using spatially off-set Raman spectroscopy.* Analyst 144, 2618–2627.

Ouali A, Gagaoua M, Boudida Y, Becila S, Boudjellal A, Herrera-Mendez CH, Sentandreu MA. (2013). *Biomarkers of meat tenderness: Present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved.* Meat Sci. 95.

Pchelkina VA, Chernukha IM, Fedulova L V., Ilyin NA. (2022). *Raman Spectroscopic Techniques for Meat Analysis: a Review*. Theory and Practice of Meat Processing 7, 97–111.

Robert C, Fraser-Miller SJ, Jessep WT, Bain WE, Hicks TM, Ward JF, Craigie CR, Loeffen M, Gordon KC. (2021). *Rapid discrimination of intact beef, venison and lamb meat using Raman spectroscopy.* Food Chemistry 343, 128441.

Sádecká J, Tóthová J. (2007). *Fluorescence Spectroscopy and Chemometrics in the Food Classification – a Review*. Czech Journal of Food Sciences 25, 159–173.

Saleem M, Amin A, Irfan M. (2021). *Raman spectroscopy based characterization of cow, goat and buffalo fats.* Journal of Food Science and Technology 58, 234–243.

Salgueiro, V., Costa, M. J., Guerrero-Rascado, J. L., Couto, F. T., & Bortoli, D. (2021). *Characterization of forest fire and Saharan desert dust aerosols over south-western Europe using a multi-wavelength Raman lidar and Sun-photometer.* Atmospheric Environment, 252, 118346.

Schmidt H, Scheier R, Hopkins DL. (2013). *Preliminary investigation on the relationship of Raman spectra of sheep meat with shear force and cooking loss.* Meat Science 93, 138–143.

Schmidt H, Sowoidnich K, Kronfeldt HD. (2010). *A Prototype Hand-Held Raman Sensor for the in situ Characterization of Meat Quality.* Applied Spectroscopy 64, 888–894.

Skoog DA, West DM, Holler FJ, Crouch SR. (2013). *Fundamentals of analytical chemistry*. Cengage learning.

Sowoidnich K, Schmidt H, Kronfeldt HD, Schwägele F. (2012). *A portable 671 nm Raman sensor system for rapid meat spoilage identification.* Vibrational Spectroscopy 62, 70–76.

Spyros A, Dais P. (2008). *31 P NMR spectroscopy in food analysis.* Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy 54, 195–207.

Sun D-W. (2009). *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control ROS*. Elsevier: Dublin, Ireland.

Tomasevic I, Nedeljkovic A, Stanišic N, Đa PP. (2016). *Authenticity assessment of cooked emulsified sausages using Ra-*

man spectroscopy and chemometrics. Fleischwirtschaft International 3, 70–73.

Wang Q, Lonergan SM, Yu C. (2012). *Rapid determination of pork sensory quality using Raman spectroscopy.* Meat Science 91, 232–239.

Wang R, Wang T, Zobeiri H, Yuan P, Deng C, Yue Y, Wang X. (2018). *Measurement of the thermal conductivities of suspended MoS 2 and MoSe 2 by nanosecond ET-Raman without temperature calibration and laser absorption evaluation.* Nanoscale, 10(48), 23087-23102.

Yang H, Hopkins DL, Zhang Y, Zhu L, Dong P, Wang X, Mao Y, Luo X, Fowler SM. (2020). *Preliminary investigation of the use of Raman spectroscopy to predict beef spoilage in different types of packaging.* Meat Science 165, 108136.

Yang D, Ying Y. (2011). *Applications of Raman spectroscopy in agricultural products and food analysis: A review.* Applied Spectroscopy Reviews, 46(7), 539-560.

Zając A, Hanuza J, Dymińska L. (2014). *Raman spectroscopy in determination of horse meat content in the mixture with other meats.* Food Chemistry 156, 333–338.

Zhao M, Nian Y, Allen P, Downey G, Kerry JP, O'Donnell CP. (2018). *Application of Raman spectroscopy and chemometric techniques to assess sensory characteristics of young dairy bull beef.* Food Research International 107, 27–40.

COMPORTAMIENTO DE PLÁNTULAS DE CUCURBITA MÁXIMA VAR. ZAPALLITO, EN CONDICIONES DE SALINIDAD CON CLORURO DE SODIO

Alejandra Catan[1], Gabriela Targa[1], Alicia Fraño[1]

Resumen

Cucurbita máxima var. zapallito es una especie originaria de América del Sur de importancia económica para el norte de Argentina. Este estudio tiene como objetivo aportar información acerca del desarrollo de plántulas en condiciones de salinidad con cloruro de sodio. Para ello, se estudiaron plántulas sometidas a dos concentraciones de cloruro de sodio -0,2 MPa (T1) y -0,4 MPa (T2), contrastadas con agua destilada como testigo (T). Se sembraron 3 repeticiones de 40 semillas cada una, correspondientes a cada tratamiento. Se evaluó el comportamiento de las plántulas de zapallito usando las variables morfométricas y anatómicas de raíz, hipocótilo y cotile-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento Académicas de Ciencias Básicas Agronómicas. Laboratorio de Botánica General. Santiago del Estero, Argentina

dón. Los datos fueron analizados con test de Fischer, a=0,05. Los resultados muestran que las alteraciones y daños producidos en radícula y cotiledón en T2 no posibilitan el desarrollo adecuado en estas condiciones. La plántula de zapallito tolera hasta los -0,2 MPa de salinidad de cloruro de sodio.

Palabras clave: zapallito de tronco, estrés salino, plántula

1. Introducción

1.1. Características de la especie

Las Cucurbitáceas comprenden alrededor de 90 géneros y 750 especies originarias de áreas tropicales. Existen 7 géneros que están presentes en los dos hemisferios, sin embargo, el género *Cucurbita* es originario de América, y la especie *Cucurbita máxima* (zapallo) es específica de América del Sur. Por eso se puede afirmar que el zapallo es un cultivo de raíces americanas y resulta importante para el desarrollo de las economías regionales del norte argentino y de Sudamérica en general (Martínez, 2022).

Dentro de la gran familia de las Cucurbitáceas, tanto los zapallitos redondos de tronco (*Cucurbita máxima* Duch. var zapallito (Carr) Millan) como los zucchinis (*Cucurbita pepo* var. Zucchini Grey L.) son hortalizas requeridas por su aporte nutritivo en las dietas, ya que ambas especies son ricas en antioxidantes, vitaminas y minerales (Luna et al., 2018).

El zapallito redondo o de tronco *C. máxima* var. zapallito, se consume fundamentalmente en Argentina; es una planta que crece en forma de matas produciendo frutos redondos con extremos chatos; los mismos se cosechan antes de llegar a la madurez con un peso aproximado a los 300 grs (Lorello et al., 2016). Este cultivo es uno de los más difundidos en el área del Cinturón Verde del Gran Buenos Aires y en zonas de primicias

del norte del país ya que por sus requerimientos, permite ser cultivado en gran parte del año y en el formato de siembras escalonadas (De Grazia et al., 2005), logrando así que mediante el uso de diferentes técnicas de producción llegue con buena competencia por las primeras entradas en el mercado (De Grazia et al., 2004). Las provincias del NOA (Noroeste Argentino) y hasta el centro sur del país cultivan aproximadamente 10.540 ha con una producción de 365.00 de zapallito, dentro de esta región la provincia de Santiago del Estero realiza esta actividad con producción familiar a baja escala con 1.400 ha a campo (Della Gaspera, 2017).

1.2. Estado fenológico: Plántula

Se define como plántula a todo embrión ya desarrollado como consecuencia de la germinación (Font Quer, 1977). Entre las consideraciones generales de los estudios botánicos, en la semilla están preformados el hipocótilo y la radícula, constituyendo ambos, el eje del embrión. Sobre el hipocótilo se disponen, en las dicotiledóneas, dos cotiledones y la yema del vástago o plúmula. El hipocótilo constituye el segmento inferior del vástago y se ubica entre el cuello de la radícula y los cotiledones u hojas embrionales. Luego de la germinación, el embrión se desarrolla y comienza a crecer, produciendo sobre el extremo apical del vástago (epicótilo) los primordios foliares o las conocidas hojas jóvenes o verdaderas, insertas en los nudos. A continuación, se produce la elongación de los entrenudos para determinar el crecimiento del nuevo ser. Hasta el desarrollo de las primeras hojas verdaderas, se considera el estado fenológico de plántula (Fahn, 1985; Strasburger et al., 1985; Esau, 1993; Raven et al., 2005).

La radícula es el primer órgano que emerge en la germinación de la semilla. El estudio de la radícula es importante debido a que, en el proceso de la diferenciación del embrión

en la germinación, marca el comienzo del desarrollo de las células conductoras en el procambiun, indicando esto el futuro sistema vascular; del mismo modo, el hipocótilo establece la estructura aérea que tomará la plántula, asegurando el desarrollo a posteriori de la planta adulta (Gola et al., 1959; Esau, 1993; Raven et al., 2005). En el género Cucurbita, los cotiledones son hojas de reserva que rápidamente se transforman en hojas con actividad asimiladora, hasta el desarrollo de las hojas verdaderas (Esau, 1993).

1.2.1 La salinidad como estrés abiótico

Alrededor del 30% de las tierras cultivables en el mundo están salinizadas en la actualidad (Hakeem et al., 2013). La salinidad en los suelos ocasiona estrés osmótico y cambia el equilibrio iónico a nivel celular interviniendo en la toma de nutrientes en la raíz (Cardona et al., 2017). Esto produce retraso en la germinación, elongación de raíces, o, por el contrario, engrosamiento de las mismas con modificaciones a nivel del cilindro central y la corteza (Munns, 2002).

En la actualidad, existen revisiones bibliográficas amplias respecto del origen del zapallito, su importancia regional y cultural, las técnicas de cultivo, cosecha e industrialización (De Grazia et al., 2005; Astorquizaga, 2009; Luna et al., 2018; Martinez, 2022). No se encontró literatura de esta especie y variedad en particular, sin embargo, diversos autores explicaron el comportamiento de plántulas en otras especies, desarrolladas en salinidad. En este sentido, las plántulas expuestas a germinación con cloruro de sodio manifestaron en radícula, presencia de iones sodio almacenados en la corteza, produciendo aumento en diámetro de radícula, (Munns y Tester, 2008; Martinez Villavicencio et al., 2011). Respecto de hipocótilo, se observó disminución de las estructuras celulares en general, con el aumento de la concentración salina (Bravo et al., 2016); Acosta-Motos et al. (2017) y

Goycovik Cortes y Saavedra del Real (2017), encontraron disminución de crecimiento en cotiledones y menor actividad fotosintética, con el incremento de la concentración salina.

Las plántulas de zapallitos obtenidas de la germinación con estrés salino de cloruro de sodio, se desarrollan en forma normal hasta los -0,4 MPa (megapascales), presentando modificaciones en su anatomía y en la longitud de radícula, hipocótilo y cotiledones medida en su eje longitudinal, que le permiten adaptarse a estas condiciones.

2. Materiales y Métodos

2.1 Material vegetal

El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de Botánica General de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias, de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, situada a los 27°52´S y 64°14´W. Se utilizaron semillas de zapallito de tronco, *C. máxima* (Carr.) Millán var. zapallito, correspondiente al REDONDO DE TRONCO CLARISSIMO, semilla fiscalizada INASE BDEF 2409, Lote PLO25G, (cosecha 2018).

Se sembraron tres repeticiones de cuarenta semillas cada una, que correspondieron a cada tratamiento. Las semillas, separadas de a diez, se ubicaron en bandejas sobre dos papeles absorbentes y se cubrieron con dos hojas del mismo papel, que fueron regadas con los diferentes tratamientos. Los riegos fueron diarios, a razón de 10 ml de solución realizados con aspersor manual (piseta). Las bandejas se guardaron en bolsas de plástico para evitar la deshidratación y fueron debidamente rotuladas.

El material así preparado se puso en estufa de cultivo a 24°C. Las soluciones de cloruro de sodio en agua destilada usadas para regar las semillas, fueron: T1: -0,2 MPa y T2: -0,4 MPa, contrastadas con un testigo humedecido con agua destilada, T.

Ocho días después de iniciada la siembra, se sacaron veinte plántulas completas de cada tratamiento para realizar el estudio anatómico. De cada plántula se realizaron cortes transversales de cotiledones en la mitad de los mismos y cortes transversales de, hipócotilos a 1 cm de la radícula y la sección correspondiente al tercio medio de cada radícula.

Cada órgano se fijó en solución FARMER (alcohol etílico absoluto y ácido acético 3:1), durante 72 h (Zarlavsky, 2014), para luego someterlos al proceso de inclusión en parafina.

2.2 Preparación del material

Para realizar la inclusión se procedió a la deshidratación de las muestras con sucesivos cambios, de 24 h cada uno, con los siguientes alcoholes 80°, 90°, 96° y alcohol terbutílico (Dizzeo de Strittmatter, 2000). Luego de esto, se realizó la imbibición en parafina en una secuencia de 72 h en estufa a 60°C, comenzando con el agregado de limaduras de parafina y culminando con el agregado de parafina pura. Luego de esto, se realizó el volcado final, fuera de estufa, en cajas de papel impermeable, y se recibieron en agua templada, para evitar el choque brusco de temperatura.

El material así obtenido se trabajó a modo de tallado, para confeccionar bloques de parafina, que se adhirieron a tacos de madera para permitir el corte en micrótomo manual de rotación tipo Spencer, a 12 µm de espesor aproximadamente. Se preparó un taco por órgano y por repetición.

Los cortes de parafina se montaron en portaobjetos identificados y fueron pegados con solución de Haupt (Johansen, 1940). Los mismos se pusieron en estufa para secado completo y mejor adherencia. Para facilitar la observación al microscopio óptico, se realizó la tinción diferencial con safranina y fast green, según técnica de Zarlavsky (2014) y se cubrieron con cubreobjetos usando bálsamo de Canadá como adhesivo.

2.3 Obtención de datos y Análisis estadístico

Se realizaron observaciones y descripciones de cada órgano, con microscopio óptico MOTIC BA 210 con procesador de imágenes incorporado.

El diseño experimental del ensayo fue completamente aleatorizado con veinte repeticiones.

Para evaluar el comportamiento de las plántulas de zapallito se consideraron los siguientes parámetros (medidos todos en µm), para radícula: diámetro total, espesor de corteza, diámetro de cilindro central, y número de vasos metaxilemáticos; para hipocótilo se midió el diámetro total, el espesor de corteza y diámetro de médula; y en cotiledones se midieron: espesor total de mesófilo, espesor de parénquima en empalizada y espesor de parénquima lagunoso.

Las variables de longitud de raíz, hipocótilo y cotiledón se midieron utilizando una regla graduada en milímetros.

Los datos obtenidos se procesaron con el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2020), realizando el ANOVA y prueba de diferencia de medias con el test de Fisher a 0,05, estudiando como variable independiente a los tratamientos y dependientes a todos los parámetros indicados.

3. Resultados y discusión

3.1 Radículas

La radícula en T tiene gravitropismo positivo, simetría radiada, cuerpo definido y escasas raíces laterales. En un corte transversal se observa epidermis uniestrata, delgada, con cutícula marcada. La corteza está formada por 5-6 capas de células parenquimáticas isodiamétricas, las paredes se observan delgadas y se visualizan espacios intercelulares en toda el área.

La endodermis es uniestrata y está seguida por el periciclo formado por una delgada capa de células parenquimáticas. La estructura corresponde a una raíz tetrarca, con xilema exarco y un vaso metaxilematico central. Los cuatro polos xilemáticos alternan con los cuatro polos floemáticos. Sobre las proyecciones xilemáticas se observan casquetes esclerenquimáticos. En T1 la estructura es idéntica a la descripta para T, con las paredes de las células corticales más redondeadas y más turgentes que T. En T2 se observan parénquima cortical con abundantes espacios intercelulares, endodermis apenas perceptible. En el cilindro central solo se observan los polos de xilema y floema, y las células del parénquima de esta área de manera disgregada sin constituir un tejido completo.

Las radículas en T1 son más engrosadas, con menor longitud respecto de T y T2. La longitud de radícula fue significativamente menor en T1, respecto de T0 y T2 (Tabla 1). Otros autores como Goykovic Cortés y Saavedra del Real, 2007; Laynez-Garsaball, 2008; Reyes Pérez et al. (2013) indicaron que la longitud de radícula disminuye, es decir, se observa inhibición del crecimiento y desarrollo tisular, conforme aumenta la concentración de sales en el sustrato coincidiendo con lo encontrado en este estudio.

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T1	3,37	20	0,42	A		
T2	5,54	20	0,42		B	
T	8,28	20	0,42			B

Nota. Letra común no son significativamente diferentes. DMS=1,18441.
Tabla 1. Longitud radícula en cm

En contraposición, T1 presenta los mayores valores con diferencia significativa respecto de T0 y T2 para diámetro total y espesor

de corteza (Tablas 2 y 3). El aumento en el diámetro total puede deberse al aumento en la corteza, ya que se observó en otros ensayos estimulación del crecimiento en las células corticales, indicando una ventaja adaptativa al estrés producido por sales tal como lo observado en T1 (Casenave et al., 1999). Por su parte, Martínez Villavicencio et al. (2011) explican este incremento de diámetro en radícula debido a la presencia de iones sodio no funcionales acumulados en la corteza, ya que se produjo deterioro de las membranas en detrimento de la selectividad de las mismas. Según Munns y Tester (2008), existen dos comportamientos frente al estrés producido por sales, un primer momento donde el crecimiento se altera o limita por efecto osmótico, y una segunda etapa donde la alteración del comportamiento se debe a la toxicidad de los iones en la raíz, tal como se observa en el T2 en radícula, con disminución de longitud, engrosamiento y desorden de corteza, endodermis y cilindro central.

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	413,63	20	A
T	429,56	20	A
T1	526,41	20	B

Nota. Letra común no son significativamente diferentes. DMS=40,12728.
Tabla 2. Diámetro total de radícula en µm

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	78,43	20	3,95	A
T	128,13	20	3,95	B
T1	146,72	20	3,95	C

Nota. Letra común no son significativamente diferentes. DMS=11,19966.
Tabla 3. Espesor de la corteza de radícula en µm

A medida que aumenta la concentración salina se observan diferencias en todos los tratamientos en el diámetro del cilindro central (Figura1). Con relación al número de vasos metaxilematicos, se observa que este parámetro disminuye conforme aumenta la concentración de cloruro de sodio. Idénticos resultados fueron encontrados por Garzón y García (2011) trabajando en Vigna unguiculata, quienes explican que ante el estrés por sales disminuye la división celular lo que se refleja en un menor número de elementos celulares (Figura 2).

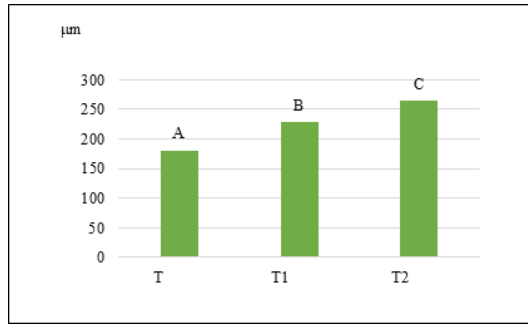


Figura 1. Diámetro de cilindro central de radícula de zapallito, medido en µm.

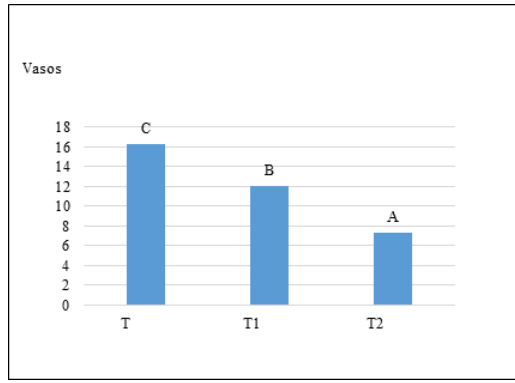


Figura 2. Número de vasos metaxilemáticos observados en corte transversal en radícula de zapallito.

3.2 Hipocótilo

El hipocótilo en T presenta epidermis uniestrata, con tricomas pluricelulares no glandulares, seguido hacia el interior por 3-4 capas de colénquima que presentan células de menor tamaño que las de la corteza parenquimática y sin espacios intercelulares. La corteza parenquimática presenta mayor desarrollo que la corteza radicular, tiene células sin contenido, bordes redondeados, paredes delgadas, y abundantes espacios intercelulares. La estela está formada por un círculo de 10 +/-1 haces bicolaterales con xilema central, cada uno con tres vasos metaxilemáticos. El parénquima interfascicular y el cortical son idénticos, pero las células del parénquima medular son de mayor tamaño que las del cortical.

Los hipocótilos de mayor longitud se observan en T1, sugiriendo esto un efecto osmótico debido al estrés por sales, mientras que la disminución de la longitud en T2 es producto de la reducción de la expansión y la división celular (Bravo et al., 2016) (Tabla 4).

Los hipocótilos, en este estado de plántula y en todos los tratamientos observados, presentan epidermis, parénquima medular y haces vasculares. En T1 existe mayor número de vasos metaxilemáticos (5-6) y un parénquima medular con espacios intercelulares más abundantes que T, mientras que en T2, todas las estructuras presentan menor tamaño y menor cantidad de elementos celulares observados respecto de T y T1 (coincidiendo con lo reportado por Bravo et al., 2016).

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	3,59	20	0,39	A
T	3,62	20	0,39	A
T1	6,55	20	0,39	B

Nota. Letra común no son significativamente diferentes. DMS=1,09613

Tabla 4. Longitud de hipocótilo medido en cm

En este trabajo se observa que los diámetros de los hipocótilos de los tratamientos, disminuyen significativamente respecto del testigo (Tabla 5 y Figura 3). Según indican Munns y Tester (2008), el estrés por sales puede afectar el desarrollo celular y tisular en hipocótilos, de tal manera que se reduce el diámetro de los mismos, explicando el comportamiento en el caso del zapallito.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	1583,38	20	57,70	A
T2	1612,31	20	57,70	A
T	1892,80	20	57,70	B

Nota. Letra común no son significativamente diferentes. DMS=163,40516

Tabla 5. Diámetro total hipocótilo, medido en µm

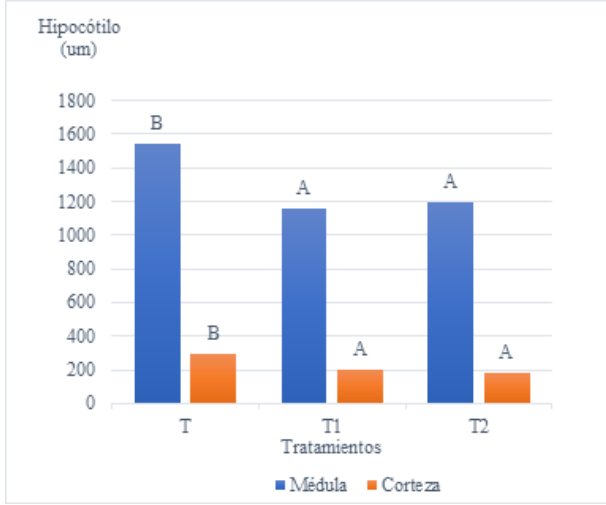


Figura 3. Desarrollo de corteza y médula de hipocótilos de zapallito, medido en µm

3.3 Cotiledones

Goykovic Cortés y Saavedra del Real (2007) explican que, en respuesta al cloruro de sodio, se manifiesta disminución en la turgencia y menor actividad fotosintética, produciendo reducción de la tasa de crecimiento, lo que lleva a menor tamaño de cotiledón, significando en el estado de plántula un factor agravante para el desarrollo del cultivo. En el presente trabajo se observa la disminución de la longitud de cotiledón en ambos tratamientos (Tabla 6).

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	1,52	20	0,07	A
T2	1,54	20	0,07	A
T	2,01	20	0,07	B

Nota. Letra común no son significativamente diferentes.
Tabla 6. Longitud de cotiledón, medidos en cm

En corte transversal, los cotiledones presentan epidermis uniestrata con células compactas, marcada cutícula y pelos pluricelulares sobre la cara adaxial, los mismos son anfiestomáticos. El mesófilo es dorsiventral, sobre epidermis superior se disponen cuatro capas de parénquima en empalizada con células del tipo pavimentoso y delgadas, sin espacios intercelulares entre ellas. Luego y hacia la epidermis inferior, existen 10-12 capas de células del parénquima lagunoso, con reducidos espacios intercelulares entre ellas, pero de menor compacidad que el parénquima en empalizada y con células más anchas y largas. El haz vascular principal está inserto en el parénquima lagunoso y tiene vaina mestomática rodeando al mismo y conectando con una traba colenquimática a la epidermis superior. En T1, se mantiene la estructura descripta, pero se cuentan tres capas de células de parénquima en empalizada y 8-9 de

lagunoso con mayor cantidad de espacios intercelulares; en general las células del mesófilo en T1 se perciben de menor tamaño que T (Tabla 7). En T2, se mantiene el número de capas de empalizada observado en T1, y el parénquima lagunoso presenta 8 +/-1 capas de células, con contenidos, invaginaciones y sin contornos definidos. En algunas regiones del cotiledón el mesífilo no está diferenciado en ambos parénquimas para T2 (Figura 5). Trabajos en quinoa con estrés salino explican que se produce un impacto negativo en ambos parénquimas, debido a la disminución de turgencia que afecta a la fotosíntesis, reduciendo el área metabólicamente eficiente de la plántula (Acosta-Motos et al., 2017; Prado et al., 2017) (Figura 4).

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	650,70	20	13,35	A
T1	807,17	20	13,35	B
T	894,72	20	13,35	C

Nota. Letra común no son significativamente diferentes. DMS=37,80196

Tabla 7. Espesor de cotiledón en µm

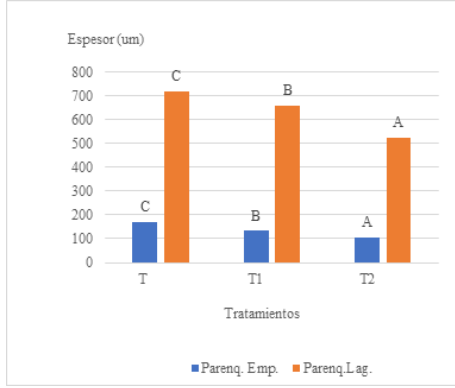


Figura 4. Proporción parénquima en empalizada y parénquima lagunoso de zapallito, medido en µm

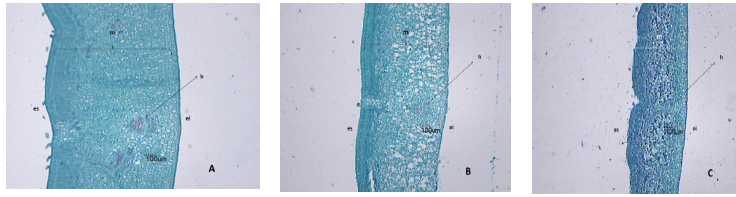


Figura5. Imágenes de microscopio en corte transversal de cotiledón. T0 (A), T1 (B) y T2 (C). es (epidermis inferior), ei (epidermis inferior), m (mesófilo), h (haz vascular).

4. Consideraciones finales

Si bien todas las plántulas a ocho días desde la germinación presentan todos los órganos desarrollados desde su morfología externa, se manifiesta reducción en la elongación en radícula, hipocótilo y cotiledón en T2, respecto de T1 y T0. En relación con la anatomía, conforme aumenta la concentración salina, la destrucción de la endodermis en T2, provoca la desorganización del cilindro central. En los cotiledones en dicho tratamiento, se observa lisis en células parenquimáticas mesofílicas cercanas al haz con la consecuente desorganización de la estructura, indicando que una concentración de -0,4 MPa no permitiría el posterior desarrollo de la plántula y dejando dudas acerca de una adecuada implantación de este cultivo en caso de siembra directa. El zapallito germinado en salinidad puede generar plántulas con posibilidad de desarrollo normal hasta los -0,2 MPa.

Referencias

Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernández, J. A. (2017). *Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms.* Agronomy, 7(1), 18.

Astorquizaga, R. (2009). *Cultivo de zapallo (Cucurbita sp.) en el Noroeste de Chubut*. Agricultura (15) 61-64.

Bravo, S., Pece, M., del Corro, F., Ojeda, F., y Lepiscopo, M. (2016). **Cambios anatómicos en raíces e hipocótilos de plántulas de Prosopis ruscifolia (Fabaceae) sometidas a estrés salino.** Revista de Biología Tropical, 64(3), 1007-1017. https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i3.21705

Cardona, W.A., Gutierrez D., J.S., Monsalve C., O.I. y Bonilla C., C.R. (2017). *Efecto de la salinidad sobre el crecimiento vegetativo de plantas de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth.) micorrizadas y sin micorrizar.* Revista colombiana de ciencias hortícolas, 11 (2), 253-266. Doi: http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6109

Casenave, E.C., Degano, C.A.M., Toselli, M.E. y Catan, E.A. (1999). *Statistical studies on anatomical modifications in the radicle and hypocotyl of cotton induced by NaCl.* Biol. Res., 32(4), 289-295. https://dx.doi.org/10.4067/S0716-97601999000400008

Della Gaspera, P. (2017). *El zapallo: comercio y producción.* Boletín de frutas y hortalizas del Convenio INTA-CMCBA 69. INTA

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2020). *InfoStat.* Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: http://www.infostat.com.ar

Dizzeo de Strittmatter, C.G. (2000). *Modificación de la técnica de inclusión en parafina de Johansen.* Dominguezia, 16(1), 55-58.

De Grazia, J., Tittonell, P. A., Wissocq, A. A., Filippini, O. S. y Chiesa, A. (2004). *Evaluación de técnicas de implantación en zapallito redondo de tronco (Cucurbita maxima var. zapallito (Carr.)Millán)*. Revista FAVE - Ciencias Agrarias. 3 , 1-2.

De Grazia, Tittonell, P.A. Perniola, O.S., Caruso, A., Chiesa, A. (2005). *Evaluación de sistemas de establecimiento en cuatro variedades de zapallito redondo de tronco (Cucurbita maxima var. zapallito (Carr.) Millán.* Agricultura técnica (Chile), 65(2), 127-134.

Esau, K. (1993). *Anatomía de las plantas con semillas.* Ed. Hemisferio Sur. Bs. As. Argentina

Fahn, A. (1985). *Anatomía vegetal.* España. Ed. Pirámides. S.A.

Font Quer, P. (1977). *Diccionario de botánica.* Ed. Labor S.A. 6 Ed.

Garzón, P y García, M. (2011). *Efecto del estrés por NaCl sobre la anatomía radical y foliar en dos genotipos de Frijol (Vigna unguiculata (L.) Walp.).* (2011). Bioagro, 23(3),153-160.

Gola, G., Negri, G., Capelletti, C. (1959). *Tratado de botánica.* Ed Labor S.A

Goykovic Cortés, V. y Saavedra del Real, G. (2007). *Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo*. IDESIA (Chile), 25(3), 47-58.

Hakeem, K.R., Chandna, R., Rehman, R., Tahir, I., Sabir, M. y Iqbal, M. (2013). *Unraveling salt stress in plants through proteomics. Parvaiz A, Azooz M m, Prasad MNV.* Salt stress in plants: signelling, omics and adaptations (eds Springer science + Business Media LLC, New York pp 47–61). DOI: 10.1007/978-1-4614-6108-1_3

Johansen, D. A. (1940). *Plant microtechnique.* McGraw-Hill, New York, 523 (First Ed).

Laynez-Garsaball, J.A.; Méndez-Natera, J. R.; Mayz-Figueroa, J. (2008). *Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (Zea mays L.) bajo condiciones de laboratorio.* Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 11(1) 17-25.

Lorello, I.M., García Lampasona, S.C., Makuch, M.A. y Peralta, I.E. (2016). *Caracterización morfo-agronómica de poblaciones de zapallo criollo (Cucurbita maxima Duch.) colectadas en los valles andinos de la Argentina.* Agriscientia, 33(1), 46-59.

Luna, S. A., Bazán, P. L., Castagnino, A. M. Escudero, A. S., Martínez, A.N., Funes, M. B., Della Gaspera, P. (2018). *Evaluación*

de técnicas de inicio del cultivo de zapallito en Villa Mercedes, San Luis. Horticultura Argentina 37(93), 1851-9342.

Martínez, A. B. (2022). *El zapallito de tronco: Un cultivo precolombino presente en el Cinturón Hortícola de La Plata (Argentina)*. Bol. Soc. Argent. Bot. 57, 481-491.

Martinez Villavicencio N., Lopez Alonso, C., Basurto Sotelo, N., Perez Leal, R. (2011). *Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo.* Tecnociencia Chihuahua, 5(3), 156-161.

Munns, R. (2002). *Comparative physiology of salt and water stress.* Plant, Cell and Environment, 25, 239-250.

Munns, R. y Tester, M. (2008). *Mechanisms of salinity tolerance.* Anual review of Plant biology, 59, 651-681.

Prado, F. E., Hilal, M. B., Albornoz, P. L., Gallardo, M. y Ruíz, V. (2017). *Anatomical and physiological responses of four quinoa cultivars to salinity at seedling stage.* Indian Journal of Science and Technology, 10(8), 1-12.

Reyes Perez J.J., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., ReynaldoEscobar, I. M. y Rueda-Puente, E. O. (2013). *Germinación y características de plántulas de variedades de albahaca (Ocimum basilicum L.) sometidas a estrés salino.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(6), 869-880.

Raven, P.H., Johnson, G.B., Losos, J.B., et al. (2005). *Biology. 7th Edition*, McGraw-Hill, New York.

Strasburger, E., Noll, F., Schenck, H. y Schimper, A. F. (1985). *Tratado de botánica.* Ed Omega S.A. Barcelona.

Zarlavsky, G.E. (2014). *Histología vegetal. Técnicas simples y complejas.* Gráfica arte. Bs. As Capital.

TECNOLOGÍA DE FLUIDIZACIÓN PARA LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS LÍQUIDOS

Lara V. Lescano Farias[2], Enrique E. Tarifa[3,4], Gustavo A. Salcedo[2,4], Lurdes A. López[2], Anabel Ayunta[2], Claudia Quincio[2], Sandra L. Martinez[1,2], Eve Liz Coronel[1,2]

Resumen.

El diseño y la construcción de un secadero de lecho de chorro bidimensional continuo para estudiar su comportamiento fluidodinámico y su aplicación a la deshidratación del plasma bovino, se presentan en este capítulo de libro. El desarrollo tecnológico implicó el dimensionamiento de la cámara y la elección de los sistemas complementarios. Se realizaron estudios fluidodinámicos y se determinaron los parámetros globales del lecho: pérdida de carga máxima del lecho de chorro, la

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Santiago del Estero, Argentina
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE)Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Santiago del Estero, Argentina
3 Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Facultad de Ingeniería. Cátedra de Simulación y Optimización. San Salvador de Jujuy. Argentina
4 CONICET

velocidad de mínima fluidización, el caudal mínimo de fluidización para diferentes diámetros de partículas del inerte y diferentes alturas de lecho estático. Como aplicación concreta, se deshidrató plasma bobino, a diferentes condiciones de secado, y se determinaron sus propiedades funcionales de solubilidad y gelificación, comparándolas con una muestra liofilizada y dos muestras comerciales. Los resultados obtenidos evidencian la factibilidad de esta tecnología para la obtención de fluidos alimentarios termolábiles con alto contenido proteico.

Palabras clave: Lecho fluidizado, Lecho de chorro bidimensional, plasma bovino, deshidratación, secado

1. Introducción

El secado es un método de conservación que consiste en la eliminación del agua de los alimentos. Es la técnica más antigua e importante de conservación de alimentos y otras aplicaciones (Lamidi et al., 2019; Lingayat, 2020).

El secado de alimentos, visto como una técnica de conservación, presenta varias ventajas, ya que contribuye a la disminución del peso y del tamaño del mismo, y por lo tanto demanda un menor espacio de almacenamiento, facilita su conservación en el largo plazo, evitando reacciones químicas perjudiciales, como el pardeamiento enzimático y no enzimático, además contribuye a la retención de nutrientes, macronutrientes (proteínas, azúcares, fibras, vitaminas y minerales), compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, carotenoides, isoflavonas) y permite la conservación y almacenamiento a temperatura ambiente (Lingayat, 2020).

La operación unitaria de secado combina las ciencias de los materiales y el transporte, ya que el proceso no está limitado sólo a eliminar la humedad de la materia prima y proporcionar

calor, sino también a deshidratar el producto en procura de una calidad específica (Pérez Cortés, 2021).

2. Marco teórico

2.1. Procesos de Secado

Existen diferentes métodos de secado disponibles y las tecnologías de secado pertenecen a la primera, segunda, tercera o cuarta generación. Las correspondientes a la primera generación son los secadores de tipo gabinete y lecho fijo, por ejemplo, el de bandejas, el transportador de flujo rotativo y el túnel que utilizan aire caliente como medio de transferencia de calor. En tanto que los secaderos por aspersión y tambor constituyen la segunda generación. A la tercera, pertenecen la liofilización y la deshidratación osmótica. Finalmente, el secado por microondas, infrarrojos, bomba de calor, radiofrecuencia y ventana de refractancia están incluidos dentro de la cuarta generación (Antury, 2021), como así también la tecnología del ultrasonido (Bhargava et al., 2021).

El secado solar se utiliza principalmente para secar frutas y verduras. La ventaja más notable de este método de conservación radica en el ahorro energético, mejora la estabilidad del producto, minimiza el problema de embalaje, reduce el peso y el costo de transporte. La energía solar para el secado aún no está ampliamente difundida debido a la aún costosa inversión, la mano de obra poco calificada y deficiencias en el mantenimiento del equipamiento (Lingayat, 2020).

La tecnología de liofilización puede preservar el color, el olor y los nutrientes de los alimentos y resulta adecuada para materiales sensibles al calor. Para la liofilización, el alimento se congela y luego pasa a la eliminación de la humedad interna en dos etapas. En primer lugar, se produce la sublimación

de los cristales de hielo, y, a continuación, se produce la desorción del agua restante no congelada. El producto obtenido por esta tecnología posee características de calidad superiores a otras, sin embargo, esta técnica es económicamente viable solo para productos de alto valor agregado que justifiquen el elevado costo de producción (Antury, 2021).

La tecnología de secado al vacío se adapta a materiales fácilmente oxidables. En este proceso, los materiales tienden a secarse en un entorno en el cual la presión se reduce, y, por tanto, baja su punto de ebullición por debajo de los 100 °C, generando un secado más rápido. Permite trabajar con materiales termolábiles y es conveniente para recuperar los solventes de productos sólidos que lo contengan. Su desventaja, radica en que es un tipo de secador indirecto, o sea limitado por el área de la superficie en donde se produce la transferencia (Acaro Castillo y Toapanta Pincha, 2023).

La velocidad de secado mediante la tecnología de microondas es rápida y la calidad del producto uniforme. Este tipo de secado ofrece ventajas sobre los convencionales de aire caliente, tanto por la reducción del tiempo de secado como por la eficiencia energética y el menor tamaño de los equipos requeridos (Yáñez Quezada, 2019).

Además de los métodos mencionados, existen otros como los de lecho fluidizados, que muchas industrias emplean por su eficacia, flexibilidad en su operación y fácil mantenimiento (Pérez Cortés, 2021). Esta es la tecnología que se desarrollará en este capítulo de libro.

2.2. Equipos Utilizados en el Secado de Pastas

La caracterización de la pasta involucra una gran cantidad de variables, tal como la variación granulométrica del producto final, que es necesario conocer a la hora de recomendar la utilización de los diferentes equipos de secado, lo cual requiere

de investigaciones particulares para cada material a ser procesado. La Tabla 1 presenta aplicaciones de diferentes tipos de secaderos de materiales pastosos y las características del producto final del secado.

Pasta	Secador	Producto final
Soluciones y Emulsiones	Tambor Spray con instantaneizador Rotativo Spray Chorro	polvos aglomerados gránulos polvos granulados gruesos polvos granulados finos polvos finamente dispersos
Pasta dura	Bandeja Rotativo Cintas	Polvos aglomerados
Pastas entre duras y fofas	Fluidizado Pneumático Chorro	gránulos, polvos aglomerados gruesos
Pasta Fofas/ lodos, pastas duras con alteración estructural	Bandeja, Tambor Rotativo	Polvos aglomerados Polvos granulados gruesos
	Spray, Fluidizado, Chorro	Polvos granulados gruesos Polvos finamente dispersos

suspensiones o lamas bombeables	Tambor Rotativo	Polvos aglomerados Polvos granulados gruesos
	Spray, Chorro	Polvos granulados gruesos
	Spray con instantaneizador	Polvos finamente dispersos Gránulos

Tabla 1. Secadores de materiales pastosos

2.3. Tecnología de Lecho fluidizado

El lecho fluidizado (LF) se ha utilizado ampliamente a gran escala para el secado de partículas sólidas y suspensiones. Muchos de los estudios sobre este tipo de secado se han realizado de forma experimental o a través de simulaciones, y se han utilizado incluso, por citar algunos ejemplos, para cereales (Azmir et al., 2018), harina de soja, pimienta (Chuwattanakul y Eiamsa-Ard, 2019), cubos de manzana (Galvão et al., 2019), entre otros.

El secado en LF posee varias ventajas, ya que proporciona un área elevada de contacto sólido-aire, un alto nivel de mezcla de sólidos y un alto coeficiente de transferencia de calor y materia entre el sólido y el aire. Desde un punto de vista operativo, brinda un mejor control de temperatura y operación a lo largo de todo el proceso, pudiéndose mantener la temperatura en amplios rangos para el secado óptimo. La estructura física del equipo permite una baja inversión inicial y un bajo costo de mantenimiento, ya que no implica la utilización de partes móviles (Mu'im Abdul Nasira et al., 2021).

Otras ventajas significativas resultan de la reducción uniforme de la humedad, menor tiempo de secado y alta velocidad

de transferencia de calor en comparación con otros métodos de secado. Además, el hecho de permitir un control óptimo y preciso de la temperatura, hace que se pueda aplicar en el secado de materiales sensibles al calor como lo son los alimentos (Mu'im Abdul Nasira et al., 2021). También, el alto grado de mezclado la define como una tecnología clave en términos de conversión y capitalización de energía (Aronsson et al., 2019).

La mayoría de los estudios reportados sobre fluidización se han realizado en columnas cilíndricas o rectangulares, aunque un número significativo de lechos fluidizados poseen paredes inclinadas o fondos cónicos (Das et al., 2019). Los equipos que presentan en la columna una base con forma cónica, responden a un sistema llamado lecho de chorro fluidizado - LCF (Lescano, 2021).

En el lecho fluidizado cónico, la velocidad superficial disminuye gradualmente debido al aumento del área de la sección transversal con la altura del lecho, lo que garantiza una concentración relativamente baja de partículas grandes en la parte superior, evitando el arrastre de partículas pequeñas (Das y col., 2019). El lecho de chorro LCF fue reportado en 1955 por Gishler y Mathur, para superar las restricciones impuestas por las técnicas de lecho fijo y fluidizado (Morais, 2020).

En el LCF, se produce chorro y fluidificación simultáneamente. Esta técnica supera ciertas limitaciones, como la estratificación, que se podrían verificar normalmente en un lecho fluidizado y el flujo restringido de sólidos anulares o la inestabilidad de un lecho con boquilla. La técnica de lecho de chorro fluido proporciona una tasa de circulación y mezcla de sólidos y fluidos mucho más alta que cualquier otra técnica para el contacto entre la partícula y el fluido y permite trabajar en un rango más amplio de caudal de fluido (Chatterjee, 1970). Los LCF poseen ciertas ventajas, en primer lugar, la amplia distribución del tamaño de las partículas, debido al gradiente de velocidad axial del cilindro de base cónica. En segundo lugar,

la estabilidad del estado fluidizado del lecho de chorro permite absorber mayor cantidad de gas evitando el fenómeno de slug (Fang et al., 2020). El LCF asegura la mezcla adecuada de sólido - gas, una alta velocidad de transferencia de calor y materia, una baja inversión inicial, un menor costo de operación, un manejo sencillo y una alta eficiencia energética (Das et al., 2019). Esta tecnología es una alternativa adecuada para evitar problemas de aglomeración en ciertos materiales alimentarios, incluso cuando la operación se realiza en las condiciones de elevada pegajosidad (Orozco, 2021).

La presión del gas es uno de los parámetros esenciales en un lecho fluidizado, ya que permite establecer si el equipo se encuentra trabajando en un estado de funcionamiento normal. La caída de presión del gas entre la superficie y el fondo del material siempre se utiliza para determinar los regímenes de flujo (Fang et al., 2020).

Otro parámetro importante para el diseño de la operación y el control efectivo de los LF es la velocidad de mínima fluidización, que se ve afectado por las características de las partículas (tamaño, densidad y forma), las propiedades físicas del gas fluidizante (densidad y viscosidad), las características geométricas del lecho y las condiciones de operación (temperatura y presión) (Zhou, 2023).

La estabilidad y el flujo de un lecho de chorro dependen de su geometría, características del distribuidor de aire de entrada, tubo de aspiración o impulsión, según sea el diseño, y el ángulo del cono, entre otros. Se han investigado tubos de tiro de diferentes configuraciones para analizar el comportamiento fluidodinámico (Batista y Bettega, 2022).

El estudio fluidodinámico de los lechos de chorro implica determinar la caída de presión y la velocidad de mínima fluidización, y el comportamiento del patrón de flujo, importantes no sólo a nivel de laboratorio o planta piloto, sino también a nivel industrial (Coronel y Tobinaga, 2004).

Dependiendo de las condiciones de operación, las propiedades físicas de las partículas y las dimensiones geométricas del equipo, el lecho de chorro puede presentar algunas desventajas, tales como las limitaciones de escalamiento y la inestabilidad del lecho, que puede inducir fluctuaciones en la caída de presión y en la altura del pico, la presencia de zonas muertas y segregación de partículas (Morais, 2020).

3. Objetivos del trabajo

Objetivo General: Estudiar el proceso de fluidización aplicado a la deshidratación de plasma bovino, con el fin de agregar valor a este subproducto de la industria cárnica.

Objetivos Específicos:

- Construir un equipo de Lecho de Chorro Bidimensional que permita analizar los diferentes parámetros operativos propios de la fluidización y aplicarlo a la deshidratación de plasma bovino.
- Estudiar la fluidodinámica del Lecho de Chorro Bidimensional.
- Obtener plasma bovino en polvo a diferentes condiciones de proceso.
- Definir las condiciones óptimas de secado de plasma bovino.

4. Desarrollo tecnológico realizado

El desarrollo experimental implicó la realización de las siguientes etapas:

1. Construcción del Fluidizador de Lecho de Chorro B dimensional.
2. Estudio de la fluidodinámica del Lecho de Chorro Bidimensional.

3. Obtención del plasma bovino líquido.
4. Deshidratación del plasma bovino en el equipo de Lecho de Chorro Bidimensional.
5. Determinación de las propiedades funcionales del plasma bovino en polvo.
6. Análisis centesimal y microbiológico del plasma bovino en polvo obtenido.

4.1. Dimensionamiento del equipo de lecho de chorro bidimensional

Para el diseño del equipo de lecho de chorro bidimensional se requirió establecer las siguientes dimensiones: ancho de la cámara (α), espesor de la cámara (β), altura de la cámara (γ), ángulo de cada prisma en la base de la cámara (θ'), ángulo de apertura a la fluidización (θ''), ancho (λ) y espesor (ξ) de la ranura para el ingreso del aire. Todas estas características dimensionales hacen que la cámara de fluidización se convierta en una cámara de lecho de fluidización bidimensional. La columna tan delgada de esta geometría proporciona una imagen ampliada del proceso operacional, pero con un comportamiento independiente de la dimensión transversal β el espesor de la cámara, siempre que se cumpla la condición que $\alpha >> \beta$.

Determinaciones experimentales en lechos fluidizados con ranura rectangular demuestran que cuando la relación de β/α aumenta a un cierto valor, pueden producirse efectos tridimensionales significativos, es decir, que la partícula sólida se mezcle en la tercera dimensión a lo largo del espesor del lecho. Sólo cuando la relación β/α es lo suficientemente pequeña, se puede considerar el lecho como '2D'. Igualmente, el espesor del lecho β también debe ser lo suficientemente grande para evitar el efecto de fricción de la pared (Liu et al., 2007).

Con base en este acervo bibliográfico se escogieron las siguientes dimensiones para la construcción de la cámara del lecho.

Dimensión	Nomenclatura	Valor [cm]
Ancho de columna	α	20
Espesor de la columna	β	3,2
Altura de cámara	γ	70

Tabla 2. Dimensiones de la Cámara del Lecho Bidimensional.

En la Figura 1 se presenta el diseño final de la línea de secado continuo con tecnología de lecho de chorro fluidizado con sus sistemas complementarios, mientras que en la figura 2 se muestra la imagen de la cámara de lecho de chorro bidimensional construida.

Para esta cámara se calcularon las relaciones de dimensiones establecidas por Dogan et al. (2000) para comprobar la bidimensionalidad del equipo construido, bajo los siguientes parámetros:

$\alpha=6,25\beta$, lo cual implica que $\alpha >> \beta$ y, por tanto, la cámara se considera bidimensional,

$\beta / \alpha = 0,16$ que facilita la formación del chorro y finalmente $\gamma=21,87\beta$ indicando que $\gamma >> \beta$.

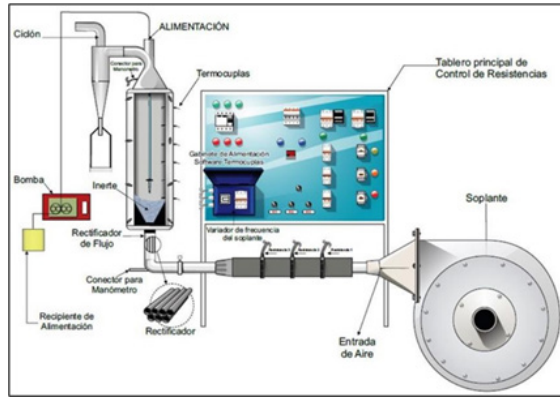


Figura 1. Fluidizador Bidimensional con sus sistemas complementarios.



Figura 2. Vista de frente y en ángulo de la cámara del lecho de chorro bidimensional con inerte.

4.2. Estudio de la fluidodinámica del lecho de chorro bidimensional

La fluidodinámica del lecho de chorro bidimensional se definió mediante la determinación de los parámetros globales como la caída de presión máxima DP_x, el caudal de mínima fluidización Q_{mn} a través de las curvas experimentales de caída de presión en función del caudal de aire ingresante.

Se realizó un estudio de pérdida de carga en lecho vacío a fin de corregir las mediciones en el lecho descontando las pérdidas de carga ocasionadas por fricción del aire en las paredes del equipo vacío. La gráfica obtenida se muestra en la curva de la Figura 3.

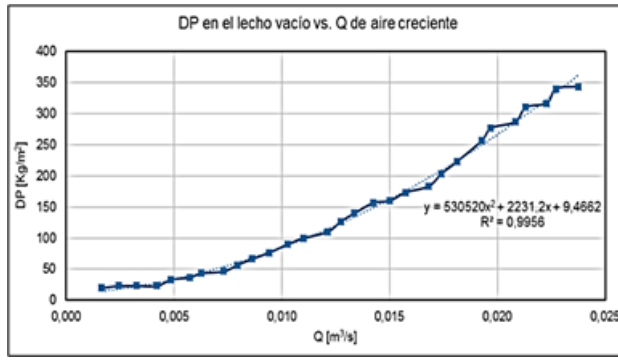


Figura 3. Caída de presión (DP) en el lecho vacío vs. caudal de aire de entrada (Q).

Se estudió el comportamiento de 12 lechos en el equipo de lecho de chorro bidimensional. Los lechos conformados por esferas de vidrio con esfericidad φ=1, con diámetros: D_p=3 mm; 4 mm; 6 mm y 7 mm y alturas estáticas de lecho H0=6 cm, 11cm y 15 cm, definiéndose 12 ensayos, los ensayos realizados se describen en la Tabla 3.

Factores	H_0= 6 cm	H_0= 11 cm	H_0= 15 cm
Dp = 3 mm	E1 -Ensayo 1	E2 -Ensayo 2	**E3 -Ensayo 3**
Dp = 4 mm	E4 -Ensayo 4	E5 -Ensayo 5	**E6 -Ensayo 6**
Dp = 6 mm	E7 -Ensayo 7	E8 -Ensayo 8	**E9 -Ensayo 9**
Dp = 7 mm	E10 -Ensayo 10	E11 -Ensayo 11	**E12 -Ensayo 12**

Tabla 3. Parámetros Dp y H0 para los 12 lechos conformdos.

La metodología aplicada fue la siguiente: se hizo circular a través de cada uno de los doce lechos conformados una corriente de aire de caudal regulable, la cual se incrementó lentamente a través del lecho fijo hasta llegar a la fluidización totalmente desarrollada, para luego disminuir paulatinamente el caudal de aire hasta velocidad cero. Los ensayos se realizaron por tripli-

cado. El registro de las velocidades de aire se realizó con anemómetro analógico ubicado en el ducto de salida de la cámara, para los datos de la caída de presión se usó un manómetro diferencial que se conectó en tomas ubicadas sobre conductos de entrada y salida de la cámara bidimensional y el registro de las alturas del chorro alcanzadas por cada lecho se hizo con una cinta milimétrica fijada al frente de la cámara del lecho.

Se graficaron doce curvas de caudal de aire creciente y otras doce curvas de caudal de aire decreciente. A modo de ejemplo, se presentan en la figura 5 las curvas del ensayo E1, donde pueden observarse las dos curvas características, una curva de caída de presión DP en el lecho en función del caudal de aire creciente y otra curva de caída de presión DP en el lecho en función del caudal de aire decreciente Q. Analizando las curvas de ida y vuelta en cada ensayo, se obtuvieron los parámetros para cada uno de los doce lechos conformados.

En la Figura 4 se puede observar a la derecha un lecho fijo (a) y a la izquierda un lecho de chorro fluidizado (b) donde puede distinguirse el canal de flujo de aire preferencial que origina el chorro.

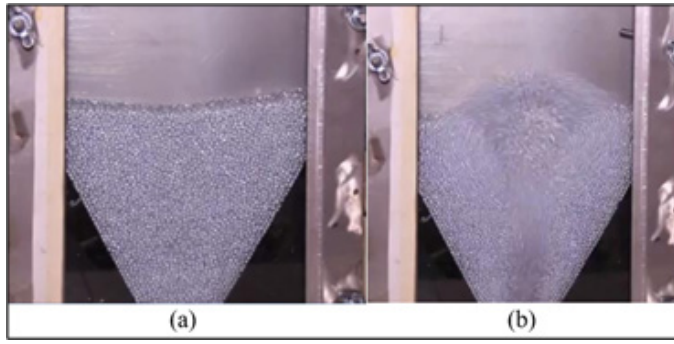


Figura 4. Condiciones de lecho: (a) Lecho fijo, (b) lecho de chorro fluidizado.

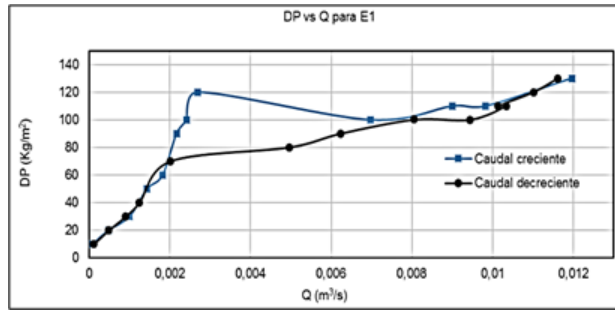


Figura 5. Caída de presión DP en el lecho vs caudal de aire creciente y decreciente Q, para lecho E1 (Dp: 3 mm; H0: 6 cm).

4.3. Selección de la mejor combinación de lecho de material inerte para el equipo construido.

Se analizaron los parámetros globales obtenidos como un diseño factorial , siendo los factores: Diámetro de partículas del inerte, Dp y Altura estática de lecho, H0. El diámetro de las esferas de vidrio Dp con sus 4 niveles (3 mm, 4 mm, 6 mm, 7 mm) y la altura estática del lecho H0 con sus 3 niveles (6 cm, 11 cm, 15 cm).

Los datos 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 Infostat Versión 2019.

Lecho	DP_{xprom} [Kg/m^2]	Q_{mnprom} [m^3/s]	$V_{mf}prom$ [m/s]	HDPx [m]	Hv_{mf} prom [m]	Sieprom [m^{-1}]
E1	94,98	0,01	3,04	0,06	0,070	20872,00
E2	230,89	0,02	4,84	0,11	0,118	38264,00
E3	317,80	0,02	6,61	0,15	0,162	52178,00
E4	94,65	0,01	4,09	0,06	0,073	16401,00
E5	237,71	0,02	6,66	0,11	0,122	12027,00
E6	326,48	0,02	7,92	0,15	0,158	6561,00
E7	94,05	0,01	5,13	0,06	0,069	1268,00
E8	222,39	0,02	7,76	0,11	0,117	2325,00
E9	274,25	0,02	8,57	0,15	0,158	3171,00
E10	88,37	0,01	5,82	0,06	0,065	675,00
E11	214,86	0,02	8,12	0,11	0,117	1235,70
E12	273,03	0,02	10,06	0,15	0,157	1685,70

Tabla 4. Resultados de estudios fluidodinámicos de lechos corregidos por lecho vacío.

Se analizaron los parámetros globales experimentales, la caída de presión máxima, DP_x, el caudal mínimo de fluidización Q_{mn} y además se tuvo en cuenta la superficie específica del lecho S_{te} respecto se modificaban los niveles de los dos factores que constituyen el lecho de partículas inertes, D_p y H_0.

De las curvas obtenidas experimentalmente y por triplicado se calcularon los promedios, y se descontaron los datos de lecho vacío, por lo que se pudieron obtener los parámetros globales para el análisis de la fluidodinámica, DPx, Qmn como se muestra en la Tabla 4.

4.4. Estudio del caudal de alimentación apropiado para el lecho de chorro bidimensional.

Para el estudio del caudal apropiado para el lecho de chorro bidimensional, se utilizó agua destilada como solución patrón.

En condiciones de lecho húmedo, las determinaciones se realizaron sobre cuatro lechos E2, E3, E5 y E6. Cabe recordar que esta elección se basó en los resultados del estudio de la fluidodinámica. Los lechos están conformados por partículas de diámetro Dp=3 y 4 mm y alturas estáticas de lecho H0=11 y 15 cm.

4.5. Obtención del plasma bovino líquido.

El plasma bovino a deshidratar se obtuvo de sangre bovina recolectada del frigorífico tipo A, Forres-Beltrán S.A., ubicado en Departamento Robles, provincia de Santiago del Estero.

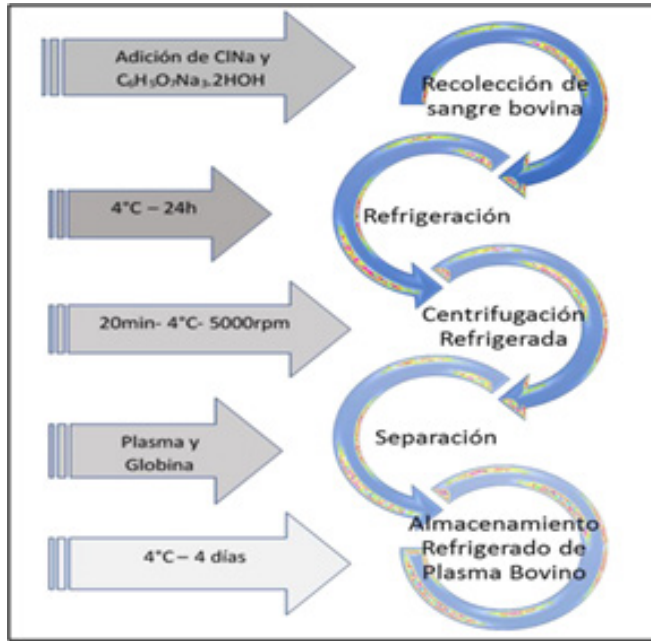


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso para obtención de plasma líquido.

En la misma industria se le agregó al plasma una mezcla de sales anticoagulantes, compuesta por citrato de sodio y cloruro de sodio, 3 g/l de sangre.

Para obtener el plasma bovino líquido, primero se procedió a separar la sangre bovina en sus dos porciones, plasma y glóbulos rojos. Esto se realizó a las 24 h de su recolección. La separación del plasma se efectuó por centrifugación, donde 20 tubos de ensayo de 9 ml fueron centrifugados a 5.000 rpm

durante 20 min de tiempo y mantenidos a 4°C. El plasma se retiró de los tubos centrifugados con pro-pipeta y pipeta y se depositaron en recipientes esterilizados para ser almacenados por 4 días en ambiente refrigerado a 4°C y la porción globina se desechó con las precauciones de seguridad pertinentes.

4.6. Deshidratación del plasma bovino en el equipo de lecho de chorro bidimensional construido.

Para la deshidratación del plasma bovino se tuvieron en cuenta los parámetros y condiciones resultantes de los ensayos con solución patrón.

En esta etapa se trabajó con el lecho E5 con un inerte de diámetro D_p= 4 mm y una altura estática de lecho H0=11cm, con un caudal de plasma, W_{plasma}= 9 ml/min y tres temperaturas de secado 60°C, 70°C y 80°C y con un caudal de aire constante Q_{aire}= 0,0055 m3/s.

El plasma requiere una temperatura de procesado entre 65°C y 70°C para evitar pérdidas de sus nutrientes e inconvenientes en sus propiedades funcionales por calentamiento.

Con el objetivo de estabilizar las condiciones operacionales que permitían una corrida satisfactoria en el equipo diseñado, se inició con un procedimiento de estandarización. Este proceso consistió en dejar fluir agua destilada con un flujo por goteo con el caudal Qaire en contracorriente a la temperatura de secado seleccionada, sobre el lecho por el transcurso de 30 minutos. El procedimiento de estandarización tuvo condiciones constantes de Wagua= 9 ml/min aportado por la bomba peristáltica y una frecuencia de velocidad de aire de secado de 45Hz.

Pasados los 30 minutos y una vez que las condiciones seleccionadas para el secado del plasma bovino se estabilizaron, se inició con el proceso de secado propiamente dicho, intercambiando la alimentación de agua destilada por plasma bovino líquido. La velocidad del aire fue controlada por el ane-

mómetro analógico en un minuto de tiempo.

El proceso de deshidratación se realizó con 500 ml de plasma bovino. Para cada temperatura seleccionada de 60°C, 70°C y 80°C, llevando un tiempo de operación total de unos cincuenta minutos. Las temperaturas de bulbo húmedo, Temp7, y bulbo seco, Temp8, se tomaron del aire de secado, de forma constante, a la salida del ciclón, de manera de poder conocer la humedad relativa del aire de salida y conocer así la potencial llegada a las condiciones de saturación.

El plasma bovino en polvo obtenido se separó de la corriente de aire de salida del lecho de chorro bidimensional mediante un ciclón y se colectaron las muestras secas en un erlenmeyer. El producto en polvo se pesó en una balanza analítica para el cálculo de un rendimiento del proceso. Finalmente, las muestras se envasaron al vacío y se almacenaron para posteriores análisis.

La merma por secado se calcula mediante la ecuación (1) y el rendimiento del proceso mediante la ecuación (2) que se presentan a continuación:

$$Merma\ por\ secado(\%) = \frac{peso\ inicial - peso\ final}{peso\ de\ entrada} \times 100 \quad (1)$$

$$Rendimiento(\%) = 100\% - Merma\ por\ secado\ (\%) \quad (2)$$

4.7. Deshidratación en el equipo de liofilización.

Se utilizó el plasma bobino en polvo obtenido por liofilización como muestra patrón de comparación en razón de la elevada calidad del polvo liofilizado.

Para la obtención de las muestras liofilizadas se procesó 500 ml de plasma bovino líquido que se colocaron en cajas de Petri para ser congeladas por 72 h a - 10°C y luego liofilizadas a -45°C por 72 h en un liofilizador LABCONCO FREEZONE DRY SYSTEMS.

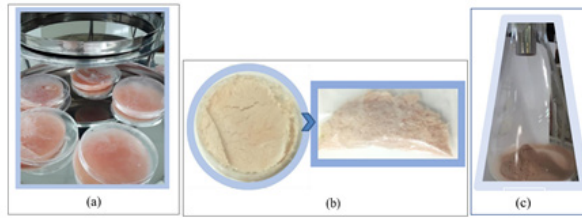


Figura 7. (a) Plasma bobino congelado en el liofilizador, (b) Plasma bobino liofilizado, (c) Plasma bobino deshidratado en Lecho de Chorro.

El plasma liofilizado seco en escamas y de color rosa claro fue envasado al vacío y almacenado en condiciones óptimas para su uso como referencia, puede observarse el plasma fluido congelado en la figura 7 (a) y en la figura 7 (b) el plasma en polvo obtenido por liofilización, finalmente en la figura 7 (c) se muestra el plasma en polvo obtenido por deshidratación en lecho de chorro. Puede observarse una escasa diferencia en el color.

4.8. Propiedades funcionales del plasma bovino deshidratado.

Se seleccionaron la solubilidad de la proteína y la capacidad de gelificación como propiedades funcionales de las proteínas del plasma bovino en polvo a ensayar con el objetivo de evaluar la posible utilización del polvo de plasma bovino en la formulación de un producto cárnico, como por ejemplo embutidos.

La solubilidad del plasma bovino en polvo fue calculada como el porcentaje de proteína en el sobrenadante con respecto a la concentración de proteínas en la dispersión inicial. En la Tabla 5 se exponen los resultados de los ensayos de solubilidad de la proteína. Para la determinación se usó ClNa lo cual imitaría una matriz alimentaria. Todas las muestras sin tratamiento térmico presentaron alta solubilidad. Resultó con mayor solubilidad ML sin tratamiento térmico, esta muestra fue

obtenida por liofilización a una temperatura mucho más baja que las fluidizadas por lo que la desnaturalización de las proteínas fue menor. Según Jiage et al. (2019), el cambio de estructura en una proteína provocado por la desnaturalización por calor es debido a la destrucción de una serie de interacciones débiles y esto se asocia casi invariablemente a la pérdida de la funcionalidad de dicha proteína. Por otro lado, la solubilidad se vio afectada por el tratamiento térmico. La muestra con menor solubilidad fue My con tratamiento térmico aplicado. My fue secada por atomización spray a más de 150°C. Las proteínas pueden ser fácilmente desnaturalizadas por el calor, debido a la estructura secundaria y terciaria de las mismas (Isaza Rengifo et al., 2010).

Muestras	Solubilidad Promedio	Dif. Significativa	Muestras
M_1 Sin TT	96,19	a,c,e	7
M_1 TT	95,70	b,d,f	13
M_2 Sin TT	96,48	a,c,e	9
M_2 TT	81,35	b,d,f	7
M_3 Sin TT	89,23	a,c,e	3
M_3 TT	92,23	b,d,f	9
M_L Sin TT	99,53	e	4
M_L TT	87,59	f	7
M_y Sin TT	92,65	a	2
M_y TT	74,88	b	5

(TT): Tratamiento Térmico.

Tabla 5. Datos de Solubilidad.

Estos resultados indican que las muestras de plasma bovino analizadas presentan una alta solubilidad, ya que los porcentajes arrojados se encuentran en el rango del 75% al 99% y representan una elevada solubilidad de la proteína en la solución. Además, que las muestras fluidizadas sin tratamiento térmico presentan mayor solubilidad que las mismas muestras tratadas térmicamente, y que a medida que aumenta la temperatura de secado, la solubilidad se ve afectada negativamente. Asimismo, se puede observar que la muestra ML liofilizada a -45°C presenta una mayor solubilidad que todas las muestras tratadas.

También se puede observar que las muestras fluidizadas presentan una solubilidad semejante a la muestra My comercial secada por spray. Por último, ninguna de las muestras analizadas presenta diferencias significativas en la solubilidad evaluada con el test de Tukey.

En los ensayos de capacidad de gelificación, se observó que las proteínas plasmáticas bovinas se gelifican por calentamiento. Los ensayos demostraron un comportamiento viscoelástico-elástico, con predominio de G´ sobre G¨ en todos los casos. En la tabla 6 se exponen los datos obtenidos de los estudios reológicos y muestran valores de la tangente de pérdida, tan δ (G" /G´) de los distintos geles. Este es otro parámetro que permite evaluar el comportamiento viscoelástico de los sistemas, ya que compara la cantidad de energía disipada y la cantidad almacenada indicando cuáles propiedades predominan en el sistema, (elásticas o viscosas).

Muestras	Tiempo de gelificación: 15min			Tiempo de gelificación 60min		
	G´(Pa)	G´´(Pa)	tan δ	G´(Pa)	G´´(Pa)	tan δ
M_1	1618,00^{c}	219,73^{cb}	0,14^{a}	1952,00^{b}	246,20^{c}	0,13^{a}
M_2	1122,67^{d}	163,67^{dc}	0,15^{a}	3046,00^{c}	496,35^{d}	0,16^{b}
M_3	1200,33^{d}	142,43^{d}	0,12^{a}	460,03^{a}	58,74^{a}	0,13^{a}
M_L	1891,00^{b}	277,07^{b}	0,15^{a}	2363,33^{bc}	352,03^{b}	0,15^{ab}
M_y	148,55^{a}	20,24^{a}	0,14^{a}	754,00^{a}	100,79^{a}	0,13^{a}

Tabla 6. Datos de Reología.

Los valores de tan δ>1 indican predominio de las propiedades viscosas del sistema, mientras que los valores de tan δ<1 indican predominio de las propiedades elásticas. Por otro lado, los valores de tan δ son útiles para distinguir entre un gel débil y un gel fuerte. tan δ del orden de 0,1 corresponden a geles débiles y valores de tan δ del orden de 0,01 corresponden a geles verdaderos o fuertes (Cui et al., 1994). Según los valores de tan δ obtenidos para las distintas muestras, estas presentarían un

comportamiento de tipo gel débil, ya que los valores son del orden de 0,1. No se observó diferencias significativas entre los valores de tan δ de las muestras gelificadas al tiempo 15 y 60 minutos, lo cual indicaría que no presenta diferencias significativas entre la fuerza del gel formado por el plasma bovino secado por los distintos métodos estudiados. Sin embargo, se destaca que M2 es la que presenta un comportamiento similar a la ML presentando un valor de G´ más alto cuando el tiempo de gelificación fue de 60 minutos.

5. Conclusiones

5.1. Fluidodinámica

En la experimentación se comprobó que el comportamiento general del lecho de chorro bidimensional responde a lo descripto por bibliografía con las curvas características de este proceso operativo. Al incrementar el caudal de aire de entrada, las variaciones de las pérdidas de presión en el lecho presentaron, como se esperaba, la caída de presión máxima DPx, permitiendo identificar claramente el estado de lecho fijo y el de lecho fluidizado con verificación de un chorro estable con un incremento gradual del caudal.

Respecto a la velocidad mínima de fluidización Vmf y el Qmn se manifiestan de manera característica justo después del DPx, para luego aumentar con el incremento del caudal de aire de entrada en el lecho. Al experimentar el decrecimiento del caudal de aire de entrada en el lecho bidimensional, la curva presenta una histéresis característica del proceso, ya que no se verifica nuevamente el aumento de la DPx. Al agregar agua Wagua como solución patrón, se generaron interacciones partículas-partículas y partículas-pared diferentes por puentes líquidos y tensiones superficiales como propiedad específica del

agua que dan como resultado nuevos canales de circulación del agua, reduciendo así la caída de presión del lecho.

5.2. Secado del plasma bovino y evaluación de sus propiedades funcionales

En cuanto a las condiciones operativas para el procesamiento de caudal de plasma bovino Wplasma en este equipo de lecho de chorro bidimensional diseñado con las características físicas siguientes, ancho de columna α=20cm, altura de cámara γ=70cm y espesor de la columna β=3,2cm, se puede concluir que las condiciones operativas adecuadas son de un Wplasma de 9ml/min, con un caudal Qaire=0,006m3 /s para un lecho de inerte conformado por un Dp=4mm y una altura estática de lecho inicial H0=11cm.

La solubilidad del plasma bovino se ve afectada por el aumento de temperatura en el proceso de secado, ya que este se gelifica en caliente. Por lo cual, la temperatura adecuada del secado para la producción de un plasma bovino en polvo con mejores propiedades funcionales es de 70°C, en concordancia con la bibliografía analizada.

Se pudo comprobar que el lecho de chorro bidimensional es una tecnología apropiada para ser aplicada al secado del plasma bovino, ya que permite obtener un polvo que conserva sus propiedades funcionales, las que resultan adecuadas para una matriz alimentaria.

Referencias

Acaro Castillo, J. A., Toapanta Pincha, P. E. (2023). *Estudio de secado al vacío para la obtención de la harina de lúcuma (Pouteria Lúcuma L)*. Tesis, Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

Antury, K. L. A., Rojas, D. A. V., Bermeo, O. M. B. (2021). *Conservación de las propiedades nutraceúticas del Aloe vera (Aloe barbadensis Miller), mediante técnicas de secado.* Ingeniería y Región, (25), 6-21.

Aronsson J., Krymarys E., Stenberg V., Mattisson T., Lyngfelt A. y Rydén M. (2019). *Improved Gas–Solids Mass Transfer in Fluidized Beds Confined Fluidization in Chemical-Looping Combustion.* Energy Fuels, 33, 4442–4453.

Azmir, J., Hou, Q., Yu, A. (2018). *Discrete particle simulation of food grain drying in a fluidised bed*. Powder Technology. 323, 238–249.

Batista, JNM; Bettega, R. (2022). *Evaluación del efecto de la geometría del cono en la dinámica de fluidos del lecho en chorro mediante simulación CFD-DEM.* Tecnología de secado. 40 (10), 2073-2086.

Bhargava, N., Mor, RS, Kumar, K. y Sharanagat, VS. (2021). *Avances en la aplicación del ultrasonido en el procesamiento de alimentos: Una revisión.* Sonoquímica ultrasónica. 70, 105293.

Chatterjee A. (1970). *Spout-fluid bed technique.* Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., Vol. 9, No. 2, p. 340-341.

Chuwattanakul, V. & Eiamsa-Ard, S. (2019). *Hydrodynamics investigation of pepper drying in a swirling fluidized bed dryer with multiple-group twisted tape swirl generators.* Case Studies in Thermal Engineering. 13 (January): 100389.

Coronel, E.L. & Tobinaga S. (2004). *Drying the okara in a spouted bed*. 14th International Drying Symposium IDS 2004 – San Pablo, Brasil, Agosto de 2004 – vol. C. pags 1767-1775.

Cui, W., Eskin, N., y Biliaderis, C. (1994). *Yellow mustard mucilage: chemical structure and rheological properties.* Food Hydrocolloids, 8, 203-214

Das, HJ, Mahanta, P., Saikia, R. y Aamir, MS. (2019). *Performan-*

ce Evaluation of Drying Characteristics in Conical Bubbling Fluidized Bed Dryer. Powder Technology. doi: 10.1016/j.powtec.2020.06.051

Dogan O. M., Freitas l. A. P.,Lim J., Grace J.R. y Luo B. (2000). *Hydrodynamics and Stability of slot-rectangular spouted beds.* Part i: thin bed. Chemical engineering communications. 181:1, 225-242.

Fang, S., Wei, Y., Fu, L., Tian, G., Qu, H. (2020). *Modeling of the Minimum Fluidization Velocity and the Incipient Fluidization Pressure Drop in a Conical Fluidized Bed with Negative Pressure*. Applied Sciences, 10, 1-19.

Galvão, A. M. M. T., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N. (2019). *Kinetics of ultrasound pretreated apple cubes dried in fluidized bed dryer.* Drying Technology 37(12): 1–11.

Isaza Rengifo J. M., Londoño Ramírez L.M., Restrepo Molina D. A., Cortes Rodriguez M. y Suárez Mahecha H. (2010). *Producción y propiedades funcionales de plasma bovino hidratado en embutido tipo salchichón.* Rev Colomb Cienc Pecu 2010; 23:199-206.

Jiage, M., Xiuqing, Z., Lin, S., Chunlei, N., Juncai, H., & Jianjun, C. (2019). *Mejora de la proteína soluble, la producción de polipéptidos y las propiedades funcionales de la harina de soya [soja] desnaturalizada por calor, mediante la fermentación de Monascus purpureus 04093.* CyTA: Journal of food, 17(1), 1014-1022.

Lamidi, RO, Jiang, L., Pathare, PB, Wang, Y. y Roskilly, AP. (2019). *Avances recientes en el secado sostenible de productos agrícolas: una revisión.* Energía aplicada, 233, 367-385.

Lescano, L. V. (2021). *Secado en lecho de chorro bidimensional para la deshidratación de proteínas de plasma de sangre bovina.* Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Lingayat, AB, Chandramohan, VP, Raju, VRK y Meda, V. (2020). *Una revisión de los secadores solares de tipo indirecto para cultivos agrícolas: configuración del secador, su rendimiento, almacenamiento de energía y aspectos destacados im-*

portantes. Energía Aplicada, 258, 114005.

Liu G.Q., Li S.Q., Zhao X.L. y Yao Q. (2007). *Experimental studies of particle flowdynamics in a two-dimensional spouted bed.* Chemical Engineering Science 63 (2008) 1131 – 1141

Morais, JNS, Duarte, CR, Barrozo, MAS, & Santos, DA (2020). *Una técnica de bajo costo para el análisis de la segregación radial y axial en un lecho de chorro cónico.* Tecnología de polvo, 376, 410-423.

Morais, JNS, Duarte, CR, Barrozo, MAS, & Santos, DA (2020). *Una técnica de bajo costo para el análisis de la segregación radial y axial en un lecho de chorro cónico.* Tecnología de polvo, 376, 410-423.

Mu'im Abdul Nasira, A., Roslia, MI, Takriffa, MS, Othmana, NTA y Ravichandarb, V. (2021). *Simulación computacional de dinámica de fluidos de un secador de lecho fluidizado para el proceso de secado de residuos de médula de sagú.* Journal Kejuruteraan. 33 (2), 239-248.

Orozco, S., Álvarez, J., López, G., Artetxe, M., Bilbao, J., Olazar, M. (2021). *Pirólisis de residuos plásticos en un reactor de lecho cónico confinado en fuente: Determinación de condiciones estables de operación.* Gestión y conversión de energía. 229, 113768.

Pérez Cortés, S. A., Aguilera Carvajal, Y. R., Vargas Norambuena, J. P., Norambuena Vásquez, J. A., Jarufe Troncoso, J. A., Hurtado Cruz, J. P., Muñoz Lagos, A. P., Jara Muñoz, P. P. (2021). *Modeling a Fluidized Bed Dryer through Computational Fluid Dynamics and the Discrete Element Method*. Chemical & Engineering Technology. 44(00), 1-12.

Yáñez Quezada, J. B. (2019). *Optimización del proceso de secado de Physalis peruviana Linnaeus por aire caliente asistido con microondas: caracterización y comparación con secado por liofilización.* Tesis Magisterial, Universidad de Chile, Chile.

Zhou, Y., Wang, T. y Zhu, J. (2023). *Investigación sobre la velocidad mínima de fluidización en un diagrama de Geldart modificado.* Revista de ingeniería química. 453, 139984.

BIODISPONIBILIDAD DE MINERALES Y ANÁLISIS SENSORIAL EN PANES FORMULADOS CON HARINAS DE FRUTOS SUB-APROVECHADOS DEL MONTE NATIVO

Natalia E. Lescano[1,2,3], Karina E. Costa Macías[2,3], Sara M. Macías[1,3], Myriam E. Villarreal[2,3]

Resumen.

Se determinó el contenido de hierro, zinc y calcio por espectrometría de absorción atómica y la dializabilidad (DMi%)mineral por un método in vitro en formulaciones de panes libres de gluten elaborados con mezclas de harinas de mistol, chañar, habas y arroz con y sin agregado de ácido cítrico como pro-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento Académico de Ciencias Biológicas Aplicadas. Cátedra de Bioquímica de los Alimentos. Santiago del Estero, Argentina

2 Departamento Académico de Ingeniería de Procesos. Cátedra de Fenómenos de Transporte. Santiago del Estero, Argentina.

3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA). Santiago del Estero. Argentina

motor de biodisponibilidad mineral y se los evaluó sensorialmente con dos metodologías. La DMi% en los panes se incrementó entre un 20 y 60%, respecto a las premezclas debido a que la fermentación promueve la degradación de fitatos. La adición de ácido cítrico aumentó la dializabilidad mineral en las formulaciones, principalmente para Fe. Todas las formulaciones fueron aceptables, recibiendo puntajes superiores a 5. El consumo de 100g de pan a base de harinas de mistol, chañar y habas aportarían 10%, 40% y 55% de la Ingesta Diaria Recomendada de Ca, Zn y Fe, respectivamente, por lo que son resultados promisorios para profundizar estudios posteriores

Palabras clave: biodisponibilidad mineral, harina de mistol, harina de chañar, harina de habas, libre de gluten

1. Introdución

Recientes evaluaciones sobre la prevalencia de enfermedad celíaca en la población de nuestro país, sugieren un franco aumento de casos (Mora, Litwinb, Tocac, Azconaa, Solís Neffaa, Battistona, Solaeguia y Ortizc, 2012), no solo afectando a niños, sino que el 60% de los recién diagnosticados con celiaquía son adultos, 15-20% de los cuales tienen más de 60 años (Barbarulo, 2020). En la actualidad, el único tratamiento disponible para las personas susceptibles a patologías asociadas al gluten es el estricto cumplimiento de una dieta libre de esta proteína (Catassi, Bai, Bonaz, Bouma, Calabro y Carroccio, 2017).

Una nueva condición denominada intolerancia al gluten no celíaca/ sensibilidad al trigo está creciendo considerablemente. Esta incluye individuos que reportan síntomas y que responden satisfactoriamente a una dieta en la que se elimina el gluten, pero que no padecen enfermedad celíaca o alergia al trigo (Catassi et all., 2017). Recientemente, los informes sobre su

prevalencia sugieren que puede ser tan alta o incluso un poco más alta que el de la enfermedad celíaca (0,6–6%) (Ontiveros, Lopez-Gallardo, Vergara-Jimenez, Cabrera-Chavez, 2015; Sapone, Bai, Ciacci, Dolinsek, Green, Hadjivassiliou, 2012).

Por otro lado, es de destacar que día a día es mayor el número de consumidores que valoran y adoptan estilos de vida saludables, respaldados por la percepción de que los alimentos influyen directamente en la salud. Esta apreciación de vida saludable aumentó la demanda de productos alimenticios libres de gluten (LG) (Xhakollari, Canavari, & Osman, 2020).

Los hechos mencionados explican un aumento importante en el mercado de productos LG, lo que determina que esta industria sea una de las más prósperas en el campo alimentario (Bascuñán, Vespa y Araya, 2017).

Los alimentos libres de gluten (LG) generalmente emplean como materias primas almidón de maíz, de papa o harina de arroz, entre otras. La condición para la preparación de estos alimentos es el reemplazo del ingrediente que aporta gluten por un sustituto apropiado con cierto valor nutricional y calidad sensorial. Dado que los sustitutos mencionados tienen bajos niveles de micronutrientes, los productos elaborados con los mismos presentan un reducido valor nutricional. En general, hay poca información sobre la calidad y la cantidad real de nutrientes en los alimentos LG. Para mejorar el valor nutricional, es importante el diseño y desarrollo de estos alimentos, considerando no solo el suministro de minerales como tales, sino que se los puede formular con ingredientes que naturalmente aporten minerales considerados críticos como el hierro, calcio y zinc. En este sentido, es necesario conocer de manera precisa la biodisponibilidad de los mismos en el alimento, sobre todo cuando están destinados a individuos que presentan deterioro de la absorción y metabolismo o déficits nutricionales importantes.

Los métodos para evaluar la biodisponibilidad incluyen ensayos *in vivo e in vitro*. La dializabilidad (DMi), utilizada como

un estimador de la biodisponibilidad, es la proporción de un elemento que difunde a través de una membrana semipermeable durante la etapa de digestión intestinal, después de un período que permitiría llegar al equilibrio. Se ha demostrado que la técnica de equilibrio de diálisis se puede utilizar para estimar muchos factores inhibidores o promotores de la absorción de hierro y para examinar la influencia de procesos sobre la biodisponibilidad mineral en un alimento.

Aunque ningún método *in vitro* puede reproducir las condiciones fisiológicas imperantes en los estudios in vivo, la técnica de dializabilidad demostró resultados similares a los obtenidos en estudios en humanos para hierro. Si bien solo ha sido validado para el hierro, se utiliza también para medir disponibilidad de otros minerales tales como Zn, Ca, Mg y Cu. Con respecto a zinc y calcio, varios autores observaron que esta técnica ha mostrado una buena correlación con estudios in vivo (Dyner, Drago, Piñeiro, Sánchez, González, Villamil, y Valencia, 2007).

Las leguminosas constituyen una importante fuente de nutrientes en la alimentación humana y animal. Sin embargo, las semillas de estas plantas poseen ciertos componentes que pueden incidir desfavorablemente en su valor nutritivo. Estos compuestos denominados factores antinutritivos pueden, en algunos casos, afectar la digestión, absorción y metabolismo de los nutrientes y limitar su inclusión en la dieta.

De todos los factores presentes en las leguminosas, los fitatos, taninos y fibra dietética son los de mayor incidencia en el aprovechamiento nutritivo (Serrano Casasola, 2002). El procesamiento puede eliminar gran parte del contenido de fitatos, pero también otros nutrientes beneficiosos tales como hierro y zinc (Rojas Allende, Figueras Díaz, y Durán Agüero, 2017).

El efecto inhibitorio del ácido fítico puede superarse no sólo a través de su degradación, sino también con el agregado de promotores o potenciadores de la absorción. Investigaciones anteriores reportan que en panes elaborados con harina de tri-

go y de amaranto se observó un incremento significativo de la disponibilidad de hierro y zinc con el agregado de ácido cítrico y fitasas (Valencia, Ronayne de Ferrer, y Martín de Portela, 2013).

Por lo expuesto, al formular alimentos que pueden tener impacto en la salud de la población, se deben considerar dos aspectos básicos. El primer aspecto a considerar es la optimización del valor nutricional, mejorando la cantidad y calidad proteica como la biodisponibilidad de nutrientes, que está influenciada por la presencia en el alimento/dieta de compuestos que favorecen y otros que la dificultan el aprovechamiento de nutrientes.

La forma química del mineral y su interacción con componentes del alimento/dieta determinará variaciones en la biodisponibilidad que es preciso evaluar para conocer, no sólo la cantidad aportada por el alimento, sino también la cantidad disponible para su bioutilización (Binaghi, Greco, López, Ronayne de Ferrer y Valencia, 2008).

El elevado contenido de proteínas de las leguminosas las convierte en una importante fuente proteica. Adicionalmente, poseen un alto contenido de minerales (Zuleta, Binaghi, Greco, Aguirre, De La Casa, Tadini, y Ronayne de Ferrer, 2012), por lo que las harinas obtenidas a partir de chañar y habas pueden ser utilizadas en la formulación de productos elaborados a base de cereales libres de gluten para aumentar su valor nutricional (Drago, Binaghi, Valencia, 2005; Cerezal Mezquita, Urtuvia Gatica, Ramírez Quintanilla, Romero Palacios y Arcos Zavala, 2011; Giménez M.A., Bassett N., Lobo M. y Sammán, 2013; Dyner, Ferreyra, Sánchez, Cagnasso y Olivera Carrión, 2017).

En este contexto, las harinas de Chañar (HCh), harina de Mistol (HM) y harina de Habas (HH), resultan materias primas promisorias debido a sus buenos contenidos de fibra dietaria total (FDT) (≈32 g/100gb.s., ≈21g/100gb.s. y ≈24g/100g b.s., respectivamente), minerales (≈5g/100gb.s., ≈5g/100gb.s. y ≈3g/100g b.s., respectivamente), proteínas (≈27 g/100gb.s.) aportadas por la HH y con potencial capacidad prebiótica de

las HM. Asimismo, estas harinas presentan propiedades físicas, funcionales y de "pasting" que aportarían a mejorar la humedad, viscosidad y textura final de los productos panificados elaborados a partir de ellas.

Lescano (2020), reportó que las HH, HM y HCh presentaron un contenido de Ca en el orden de 37, 93 y 74 mg/100 g b.s respectivamente, el contenido de Fe estuvo en el orden de 5,5; 2 y 9,12 mg/100 g b.s. respectivamente y la concentración de Zn en el orden de 4,2; 1,5 y 0,2 mg/100 g b.s., respectivamente. Considerando que los minerales son elementos inorgánicos esenciales para el organismo como componentes estructurales y reguladores de los procesos corporales, que no pueden ser sintetizados y deben formar parte de la alimentación diaria (Carbajal, 2013). Desde la nutrición humana se han descrito aproximadamente 20 minerales esenciales para el hombre. Según las cantidades en que sean necesarios y se encuentren en los tejidos corporales, el Ca se lo enmarca dentro de los macrominerales, el Fe y el Zn en cambio, se encuentran descritos como microminerales. En este sentido, las HH, HCh y HM, se constituyen en potenciales fuentes de minerales críticos para el consumo humano y que en la actualidad se encuentran subutilizadas.

El segundo aspecto a considerar al diseñar alimentos con impacto en la salud es su calidad sensorial, dado que influye decisivamente en la respuesta del consumidor y puede condicionar su mercadeo, por lo que su estudio es de primordial importancia en el diseño e introducción de nuevos alimentos.

Un creciente auge de la búsqueda de satisfacción en lo que se consume indica que el alimento que se presenta en el mercado no solo debe ser saludable sino, también, agradable. Dar una respuesta cabal a esa legítima demanda de los clientes coloca en primer plano una herramienta cada vez más utilizada: el análisis sensorial como una de las bases fundamentales para un sistema de aseguramiento de la calidad sensorial, ya que no existe instrumental que pueda reemplazar las percepciones del hombre.

Actualmente, el análisis sensorial es una herramienta imprescindible para definir, evaluar y controlar este aspecto de la calidad de los alimentos mediante diferentes tipos de pruebas. La combinación de las preferencias del consumidor con información descriptiva de las características sensoriales del producto, puede contribuir a la mejora de diferentes commodities impulsada por los consumidores (Lado, Moltini, Vicente, Rodríguez, Arcia, Rodríguez, López, Billiris, & Ares, 2019). La textura, el color, el sabor y el olor son atributos primarios que conforman la calidad sensorial y son hoy las características más apreciadas por el consumidor.

Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar el contenido y la biodisponibilidad potencial de hierro, calcio y zinc en premezclas de harinas de mistol, chañar, habas y arroz y en panes obtenidos a partir de dichas premezclas, con y sin el agregado de ácido cítrico. Además, realizar la evaluación sensorial de los panes obtenidos y calcular el porcentaje de adecuación de estos minerales para diferentes grupos etarios.

2. Materiales y métodos

2.1 Formulación de productos horneados salados

Se diseñaron 3 premezclas de HA, HCh, HM y HH cuyas concentraciones corresponden a las formulaciones para la elaboración de los productos horneados tipo pan de molde, se presentan en la Tabla 1.

Las proporciones de las HM y HCh variaron en las tres formulaciones ensayadas, manteniéndose la sumatoria de todas harinas en la composición. Las cantidades de HA y HH, así como el resto de los ingredientes, no fueron modificadas.

Un pan tipo lactal, adquirido en una panadería de productos LG de la ciudad de Córdoba, Argentina, elaborado con HA,

harina de mandioca, HM y mejoradores químicos fue usado como pan testigo o control (C).

	Formulaciones			
Componente	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	
HA	20,9	20,9	20,9	Harina de arroz
HH	10,5	10,5	10,5	Fécula de maíz
HM	1,1	3,2	5,3	Fécula de arroz
HCh	12,6	10,5	8,4	Harina de mandioca
Albúmina	4,2	4,2	4,2	Huevo
Sal	1,1	1,1	1,1	Sal
Levadura	1,1	1,1	1,1	Levadura
Margarina	1,1	1,1	1,1	Margarina
Ácido Cítrico	0,16	0,16	0,16	Goma xántica
Agua	47,4	47,4	47,4	Agua

Tabla 1. Formulación de panes LG tipo molde.

2.2 Determinación del contenido de minerales en premezclas y en panes

El contenido de Ca de premezclas realizadas con HA, HH, HM, HCh y de los panes elaborados con estas harinas se determinó conforme a la técnica 973.52 de la AOAC INTERNATIONAL (Association of Analytical Communities) (1995), mientras que los contenidos de Fe y Zn se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica según el método descripto por Anunziata, Ledy, Lenin & Luisa, (2009).

2.3 Biodisponibilidad de minerales en premezclas de harinas y en panes

Los estudios sobre biodisponibilidad de minerales requieren del uso de técnicas de rastreo (screening) sencillas, económicas y rápidas.

Ciertos métodos *in vitro* para estimar la biodisponibilidad de hierro reúnen estas características y han sido estudiados, modificados y utilizados para evaluar la influencia de la formulación y procesado en alimentos experimentales y comerciales (Binaghi et al., 2008; Wolfgor, Drago & Rodríguez, 2002).

Los ensayos de biodisponibilidad se realizaron en las premezclas de las HM, HCh, HH y HA empleadas en las distintas formulaciones y en los panes obtenidos a partir de ellas, con y sin incorporación de ácido cítrico, a fin de evaluar su incidencia como agente de preservación de minerales.

La biodisponibilidad o dializabilidad porcentual de Fe, Ca y Zn (DFe%, DCa% y DZn%) como indicadores de la biodisponibilidad potencial de cada mineral se determinó con el método in vitro de Wolfgor, (2002). Esta metodología incluye una digestión enzimática que simula el proceso fisiológico en condiciones controladas de pH y la posterior cuantificación de los minerales por espectrometría de absorción atómica.

La biodisponibilidad de cada mineral (%DMi) se calculó como el porcentaje del mineral (Mi) dializado con relación al contenido del mineral total en la muestra, según la ecuación 1:

$$DMi(\%) = \frac{Mineral\ dializado\ (mg)}{Mineral\ en\ muestra\ (mg)} \times 100 \qquad (1)$$

El aporte potencial (Ap) de cada mineral en los distintos productos se calculó considerando su contenido y la dializabilidad (ecuación 2). Las determinaciones se realizaron por sextuplicado.

$$Ap = \frac{Mi \times DMi}{100} \qquad (2)$$

2.4 Análisis sensorial en panes

Para realizar el análisis sensorial en panes, se utilizaron dos metodologías: descriptiva y afectiva. La metodología descrip-

tiva suministra una completa descripción de las propiedades sensoriales del producto y la afectiva se utiliza para evaluar su aceptación y/o preferencia.

Las pruebas sensoriales se llevaron a cabo en las instalaciones de Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

2.4.1 Análisis descriptivo cuantitativo

Para llevar a cabo el análisis descriptivo, se trabajó en dos etapas con un panel sensorial compuesto por 10 (diez) profesionales pertenecientes al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA), previamente entrenados en evaluación sensorial (ES) de harinas, galletas y productos regionales.

Durante la primera etapa se trabajó en la búsqueda y elección de los descriptores que representan las propiedades sensoriales de las muestras en estudio. Para ello, durante las reuniones sucesivas se trabajó con el panel en una mesa redonda y los descriptores sensoriales a analizar surgieron a partir del consenso entre el grupo de descriptores, su intensidad y orden.

En la segunda etapa, se procedió a realizar la ES de las muestras de panes de 25 g de peso aproximado. Las muestras se presentaron en placas de plástico idénticas codificadas con números aleatorios de tres dígitos y se sirvieron con un vaso de agua para enjuagar la boca entre muestra y muestra. La muestra control utilizada fue un pan comercial libre de gluten tipo molde. Se solicitó al jurado que en primera instancia analicen la apariencia visual de las muestras, las huelan y las lleven a la boca, una vez en boca, se mastique con los dientes molares hasta la deglución.

Los perfiles sensoriales de panes se realizaron en relación con los siguientes atributos que se evaluarán separadamente: apariencia, textura, gusto y sabor (ISO 13299:2016).

La Tabla 2 muestra los descriptores definidos para panes y su rango de medición.

Una vez definidos los descriptores detallados en la Tabla 2, se cuantificó su intensidad según la metodología descripta por Ibáñez y Barcina (2001). Para los atributos de textura, gusto y sabor se utilizó una escala de intensidad lineal no estructurada de una longitud de 5 cm.

Para el atributo apariencia (color), la calificación se realizó por medio de una escala de intervalo de 5 puntos, para cada descriptor definido en la Tabla 2.

Para llevar a cabo el análisis descriptivo cuantitativo, se utilizaron cabinas individuales, iluminadas con luz blanca, a una temperatura de 25 °C.

2.4.2 Pruebas afectivas

Se realizaron dos pruebas afectivas, con un panel piloto compuesto por 30 alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, considerando que el producto está aún en la fase de prueba.

2.4.2.1 Prueba de aceptabilidad:

Las formulaciones de pan fueron evaluadas utilizando una escala hedónica de nueve puntos, abarcando desde "Me disgusta muchísimo" a "Me gusta muchísimo".

2.4.2.2 Prueba de preferencia:

Esta prueba fue organizada solicitando al panel que indique la formulación de mayor preferencia.

2.5. Análisis estadístico

2.5.1 Análisis estadístico de determinaciones experimentales

El análisis estadístico de los resultados experimentales se realizó a través del análisis de variancia de una sola vía (ANOVA) para un nivel de significancia ($p \leq 0,5$), usando el software InfoStat (2008). La diferencia significativa entre medias se evaluó a través del test de comparaciones múltiples de Tukey.

2.5.2 Análisis estadístico de ensayos sensoriales

El análisis estadístico de los resultados obtenidos para cada descriptor del ensayo sensorial se realizó a través del análisis de variancia de una sola vía (ANOVA) para un nivel de significancia $p \leq 0,05$, usando el software InfoStat (2008). La diferencia significativa entre medias se evalúo a través del test de comparaciones múltiples de Fisher.

Atributo	Descriptores		1	2	3	4	5
Apariencia	Color de Miga y Corteza	Marrón Rojo Amarillo Verde Brillo	Nada Nada Nada Nada Opaco	-Marrón claro -Rojo poco intenso -Levemente amarillo -Verde claro -Levemente opaco	-Marrón claro con zonas oscuras -Rojo poco intenso con zonas oscuras -Amarillo con zonas claras -Verde con zonas claras -Ni opaco ni brillante	-Marrón oscuro con zonas claras -Rojo intenso con zonas claras -Amarillo con zonas oscuras -Verde con zonas oscuras -Levemente brillante	-Marrón oscuro -Rojo intenso -Amarillo intenso -Verde oscuro -Brillante
Textura	Fragilidad Gomosidad Dureza Sequedad	Poco frágil Poco gomoso Poco duro Húmedo					Muy frágil Muy gomoso Muy duro Muy seco

Atributo	Descriptores	1	2	3	4	5
Gusto	Dulce Salado Ácido Amargo	Poco frágil Poco gomoso Poco duro Húmedo				Muy frágil Muy gomoso Muy duro Muy seco
Sabor	Astringente Agrio Picante Rancio Levadura Retrogusto	Nada Nada Nada Nada Nada Nada				Muy astringente Muy agrio Muy picante Muy rancio Mucho Mucho

Tabla 2. Descriptores definidos por panel entrenado a partir de las pruebas sensoriales preliminares en panes.

3. Resultados y discusión

3.1 Contenido de minerales críticos en los prototipos estudiados

En la Tabla 3 se observa el contenido total de hierro, zinc y calcio de las premezclas realizadas con HA, HH, HM, HCh y de los panes elaborados con estas harinas.

Muestras	Fe mg/100g	Zn mg/100g	Ca mg/100g
Premezcla F1	14,8±0,8bB	5,6±0,3aA	148,8±7,9bA
Premezcla F2	11,5±0,6aA	6,3±0,3bA	180,8±10,4bB
Premezcla F3	12,8±0,8bAB	4,5±0,3Aa	154,7±8,3aA
Pan F1 S/A.C.	10,4±0,4aA	5,6±0,6aA	115,1±15,4aA
Pan F2 S/A.C.	11,7±0,3aB	5,3±0,2aA	130,3±12,9aA
Pan F3 S/A.C.	10,7±0,4Aab	5,2±0,3Aa	143,2±17,5aA
Pan F1 C/A.C.	10,3±0,5aA	6,0±0,3aA	130,3±10,9abA
Pan F2 C/A.C.	11,6±0,6aA	7,0±0,4bB	124,6±10,5aA
Pan F3 C/A.C.	10,8±0,6Aa	6,2±0,4bAB	140,8±11,8aA

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas con p<0,05. S/A.C.=Sin ácido cítrico, C/A.C.= con ácido cítrico.

Tabla 3. Contenido de Fe, Zn y Ca en premezclas y panes con distintas formulaciones.

Los panes obtenidos presentan un contenido de minerales de hasta 2,8 veces superior al obtenido en el pan comercial control (Lescano, 2020).

Se puede observar que las Premezclas F1, F2 y F3 presentan mayor contenido de Fe y Ca que sus homólogos (F1, F2 y F3) en panes libres de gluten elaborados con y sin ácido cítrico. Asimismo, se identifica que no hay incidencia del agregado de ácido cítrico sobre los panes en la concentración de minerales.

La Premezcla F1 fue la que presentó el mayor contenido de Fe (14,8 mg/100g), el Pan F2 C/A.C. mayor contenido de Zn (7,0 mg/100g) y la Premezcla F2 mayor concentración de Ca (180,8 mg/100g).

3.2. Biodisponibilidad de minerales en premezclas de harinas y panes

En la Tabla 4 se presentan los valores correspondientes a la DMi% de las premezclas de harinas y de los panes LG con y sin el agregado de ácido cítrico, como agente promotor de la biodisponibilidad.

Muestras	%DMi Fe	%DMi Zn	%DMi Ca
Premezcla F1	12,5±0,7aA	12,3±0,7aA	30,1±1,6aA
Premezcla F2	11,6±0,6aA	11,8±0,6aA	34,0±1,8aB
Premezcla F3	11,4±0,6aA	29,2±1,1aB	30,0±1,5aAB
Pan F1 S/A.C.	15,3±0,6aB	34,5±2,0bA	45,2±1,3bAB
Pan F2 S/A.C.	15,0±0,3aB	31,0±1,7bA	48,5±1,7bB
Pan F3 S/A.C.	10,1±0,5aA	32,4±2,0aA	44,5±1,5bA
Pan F1 C/A.C.	73,6±4,5bB	43,7±0,8cA	63,9±1,6cA
Pan F2 C/A.C.	71,9±5,7bAB	62,1±0,6cC	79,5±1,8cB
Pan F3 C/A.C.	58,7±5,1bA	55,7±1,4bB	70,5±1,5cAB

Valores medios ± DS, n= 6. Primeros superíndices en minúscula distintos en la misma fila demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$)) entre los distintos tipos de producto (premezcla/pan con ácido cítrico/pan sin ácido cítrico) para la misma formulación según test de Tukey. Segundos superíndices en mayúscula distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones dentro del mismo producto según test de Tukey. DMi: diazabilidad del mineral, F1: formulación 1, F2: formulación 2, F3: formulación 3. (S/A.C.=Sin ácido cítrico, C/A.C.= con ácido cítrico

Tabla 4. Dializabilidad de Fe, Zn y Ca en formulaciones y panes

Si bien, las fuentes comunes de fibra dietaria (FD), generalmente causan cambios indeseables en algunas de las propiedades nutricionales de los alimentos a base de harinas, lo que resulta en una menor biodisponibilidad de mineral [24], el incremento de la DFe%, Dca% y DZn% post fermentación y horneado se encuentra en el orden del 36%, 61% y 20%, respectivamente,

en comparación a los obtenidos para las premezclas (Tablas 3 y 4). Estos resultados son probablemente debidos a la degradación de fitatos y taninos (que acompañan a la FD) post fermentación y horneado que actúan como inhibidores de la absorción de minerales (Hurrell, & Egli, 2010; Lazarte, Carlsson, Almgren, Sandberg, & Granfeldt, 2015).

La adición de ácido cítrico aumentó la DMi% del Fe, Ca y Zn en las tres formulaciones de panes LG, siendo este aumento muy significativo en el caso del Fe (386 %) seguido por Zn (100 %) y Ca (42 %). Estos resultados demuestran que la adición del promotor habría contrarrestado el posible efecto inhibitorio que ejercen los fitatos presentes en la matriz de las harinas de Ch, M y H que no fueron degradados durante la fermentación (Binaghi, Ambrosi y Lopez, 2019; Lazarte et al., 2015).

En la Tabla 5 se observa el aporte potencial de hierro, zinc y calcio de las premezclas y de los panes elaborados con el agregado de estas harinas. El aporte potencial toma en consideración tanto el contenido mineral como la dializabilidad.

Muestras	ApFe	ApZn	ApCa
Premezcla F1	1,8±0,1bB	0,7±0,1aA	44,8±2,1aA
Premezcla F2	1,3±0,1aA	0,7±0,1aA	61,6±3,1aB
Premezcla F3	1,5±0,1bA	1,3±0,1aB	46,4±2,3aA
Pan F1 S/A.C.	1,6±0,1aB	1,9±0,1bB	52,0±3,1bA
Pan F2 S/A.C.	1,7±0,1bA	1,6±0,1bA	63,2±3,0aB
Pan F3 S/A.C.	1,0±0,1aA	1,7±0,1bA	63,7±3,5bB
Pan F1 C/A.C.	7,6±0,1cB	2,6±0,1cA	83,3±2,1cA
Pan F2 C/A.C.	8,3±0,1cC	4,3±0,1cC	99,1±3,1bB
Pan F3 C/A.C.	6,3±0,1cA	3,5±0,1cB	99,2±2,3cB

Valores medios ± DS, n= 6. Primeros superíndices en minúscula distintos en la misma fila demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los distintos tipos de producto (premezcla/pan con ácido cítrico/pan sin ácido cítrico) para la misma formulación según test de Tukey. Segundos superíndices en mayúscula distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas

($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones dentro del mismo producto según test de Tukey. Ap: aporte potencial, F1: formulación 1, F2: formulación 2, F3: formulación 3. (S/A.C.=Sin ácido cítrico, C/A.C.= con ácido cítrico)

Tabla 5. Aporte potencial de Fe, Zn y Ca en premezclas y panes con y sin agregado de ácido cítrico.

El máximo Ap de Fe, Ca y Zn se presentó en los panes F2, esto indicaría que la proporción de M:Ch incide en los Ap de los distintos minerales.

Si consideramos dentro de este estudio el concepto de Ingesta Diaria Recomendada (IDR) de un nutriente, entendiendo que la misma se calcula teniendo en cuenta el requerimiento del individuo y considera factores ambientales, la variabilidad individual y la biodisponibilidad del nutriente en la dieta, factores inhibitorios o que actúan como antinutrientes como fitatos y taninos, entre otros factores (Hernández Triana, 2003; National Academy of Sciences, 2003; Santos, Vinderola, Santos, Araujo, 2018), podemos decir que los resultados de bio-

disponibilidad de minerales obtenidos son alentadores ya que muestran que el consumo de 100g de pan a base de M, Ch y H aportarían un 10%, 40% y 55% de la IDR de Ca, Zn y Fe, respectivamente (Santos et al., 2018; Binaghi et al., 2019). Por lo que se puede concluir que las F1 y F2 son las mejores opciones para la elaboración de panes LG, ricos en FD, con niveles importantes de minerales, superiores a panes de harina de trigo y amaranto (Dyner et al., 2007) y trigo y arroz (Mellado Salas & Haros, 2016).

La incorporación de harinas compuestas de M, Ch y H en productos panificados fermentados con adición de ácido cítrico permite obtener ventajas nutricionales en cuanto a la disponibilidad de minerales, constituyéndose en un vehículo atractivo de Fe, Ca y Zn.

Acorde a los resultados expuestos, en los productos de panificación es posible aumentar la dializabilidad de los minerales mediante el agregado de promotores de la absorción, como el ácido cítrico, los que han demostrado su efectividad en productos elaborados con derivados de harinas no convencionales.

3.3. Análisis sensorial en panes

El perfil de color resultante de la evaluación del panel sensorial ubica a los panes F1, F2 y F3 dentro de la gama de color marrón rojizo y al pan control FC dentro de la gama de amarillo-verdoso (Figura 1). La incorporación de HM disminuyó la luminosidad de los panes.

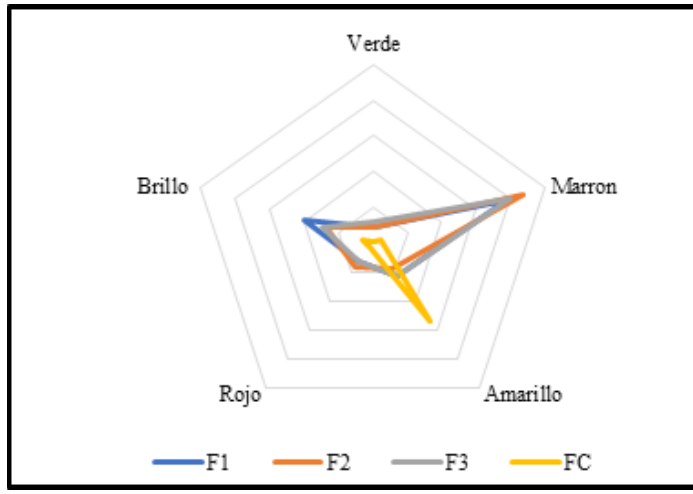


Figura 1. Perfil de color en panes LG.

En la Tabla 4 se presentan los puntajes obtenidos para los atributos de textura para cada formulación. Los panes F1, F2 y F3 no presentaron diferencias significativas en la dureza con el pan control, siendo valores semejantes a los obtenidos por Sabanis, Lebesi y Tzia, (2009) en panes LG adicionados de FD y que variaron en función de la proporción de FD incorporada. Con relación a la sequedad, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre F3 y el pan control, siendo ambas significativamente menores a F1 y F2, esto se debe, probablemente, al mayor contenido de M en F3, que mejora el contenido final de humedad y suaviza el producto. Todos los panes ricos en fibra y proteínas mostraron una fragilidad significativamente menor a la del pan control, lo cual es altamente deseable en este tipo de productos.

	Propiedad	F1	F2	F3	FC
Textura	Frágil	2,16±0,70[a]	2,40±0,21[b]	2,85±0,22[c]	4,50±0,12[d]
	Gomoso	3,34±0,21[a]	3,94±0,54[b]	3,75±0,21[b]	3,44±0,32[a]
	Duro	2,59±0,19[a]	2,16±0,12[a]	2,49±0,32[a]	2,30±0,33[a]
	Seco	4,13±0,80[b]	4,29±0,37[c]	4,04±0,19[a]	4,06±0,21[a]

Valores medios ± DS, n=10. Superíndices distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones según test de comparaciones múltiples de Fisher. FC: Formulación control; F1: formulación 1; F2: formulación 2; F3: Formulación 3.

Tabla 4. Atributos de textura de los panes LG. Los resultados obtenidos a partir de la ES descriptiva cuantitativa del perfil de gusto y sabor en panes frescos sin gluten con agregado de ácido cítrico, se muestra en la Figura 2.

El pan FC presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en todos los atributos definidos, con bajas puntuaciones en todos los descriptores evaluados, lo cual indica un producto neutro, sin notas de gusto y/o sabor destacadas o diferenciales. El pan F3 fue significativamente más dulce con respecto a los panes F1 y F2, posiblemente debido a que es la formulación que presenta mayor contenido de harina de M, mientras que el pan control fue el menos dulce. No se percibió sabor rancio en ninguno de los panes. F3 fue el pan menos amargo, agrío, picante y astringente.

Los panes F1 y F2 fueron los que presentaron intensidades significativamente mayores ($p<0,05$) con respecto a F3 y FC para los sabores evaluados; esto es debido a la influencia que ejerce la harina de Ch sobre los distintos descriptores de sabor, observándose que aquellas formulaciones con un contenido de Ch superior al 8,3% acentuaron estos sabores.

Los panes F2 y F3 presentaron una puntuación de 3 en la escala de 5 puntos, siendo menor para F2 en el gusto ácido y sabor agrio, lo que probablemente corresponda al ácido cítrico agregado a las mezclas para mejorar la biodisponibilidad

de minerales. Estos resultados no tuvieron alta incidencia en la aceptabilidad en las posteriores pruebas afectivas, pudiéndose reformular con menores cantidades, dado el gran incremento de dializabilidad comprobada por la presencia del mismo.

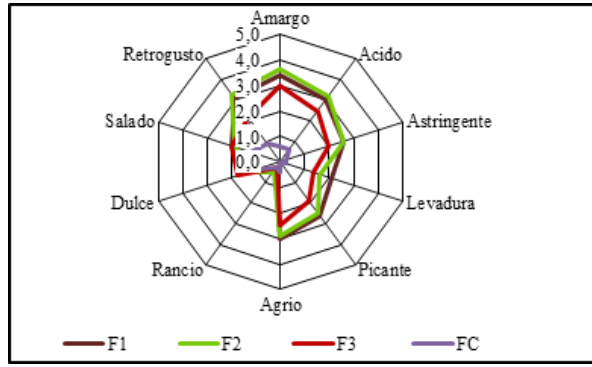
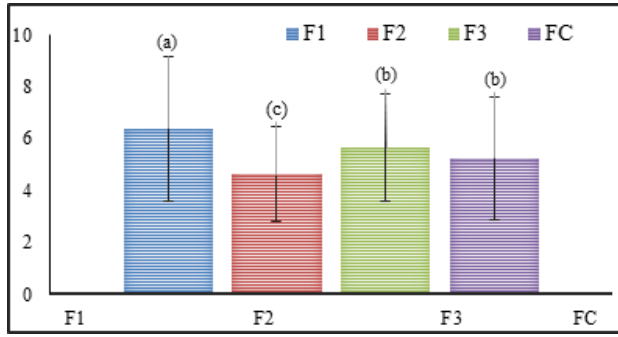


Figura 2. Perfil de sabor en panes LG.

Es importante destacar que, tanto en el campo industrial como en el de investigación y desarrollo, el test afectivo ha servido como un vínculo entre las características del producto y la reacción del consumidor (Varela & Ares, 2012). Por ello, se evaluó la aceptabilidad global de los distintos panes. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos para la prueba de aceptabilidad global en panes.

La prueba de aceptabilidad global arrojó que las F1, F3 y FC fueron aceptables, ya que recibieron puntajes superiores a 5 puntos (Lazaridou, Duta, Papageorgiou, Belc & Biliaderis, 2007). Siendo F1 significativamente superior ($p \leq 0,05$) a F3 y FC; estos resultados ubicarían a los panes formulados a base de harinas de M, Ch, H y A con potenciales expectativas en el mercado.



Valores medios ± DS, n=30. Superíndices distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones según test de comparaciones múltiples de Fisher. **FC**: Formulación control; **F1**: formulación 1; **F2**: formulación; **F3**: Formulación 3.

Figura 3. Nivel de aceptabilidad global de panes LG.

Finalmente, el ensayo sobre el grado de preferencia, arrojó que el 50% del jurado prefirió los panes F1, el 37,5% los panes F3 y el 12,5% los panes F2, correspondiéndose con los resultados obtenidos para la aceptabilidad global. Esto puede deberse probablemente a la mayor percepción del sabor a levadura que obtuvo F1, lo cual lleva al consumidor a asemejar el producto a panes convencionales del tipo casero (Souza-Borges & Conti-Silva, 2018). Los panes con mayores contenidos de FD tuvieron mejores perfiles sensoriales, probablemente debido a que la fibra retiene materia grasa, lo cual mejora la textura y la sensación en la boca durante el consumo.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos permitirían afirmar que los panes F1 y F2 fueron los que presentaron mejor biodisponibilidad de Fe, Ca y Zn, siendo la misma fuertemente favorecida por la incorporación de ácido cítrico como agente promotor.

Las formulaciones con mayor proporción de Ch presentaron mayor biodisponibilidad de minerales, la cual se vio mejorada por la incorporación de ácido cítrico a la masa, lo cual permitió alcanzar un mayor aporte de oligoelementos.

Se observó que aquellas formulaciones con un contenido de HCh superior al 8,3 % acentuaron la intensidad del sabor típico de la harina.

La formulación F1 exhibió un mayor nivel de aceptabilidad en el ensayo sensorial, y mostró un menor retrogusto y amargor, mientras que los panes F3 presentaron una buena aceptabilidad global.

El uso de las harinas de M, Ch y H, representa una alternativa promisoria para ser incorporadas en productos panaderos LG, por su aporte nutricional, la mejora en la vida útil y la aceptable calidad de los panes obtenidos, los cuales podrían perfeccionarse a través del uso de hidrocoloides que colaboren con la expansión y mejoramiento de la estructura de la miga y las propiedades texturales.

Referencias

Aribas, M., Kahraman, K., & Koksel, H. (2020). *In vitro glycemic index, bile acid binding capacity and mineral bioavailability of spaghetti supplemented with resistant starch type 4 and wheat bran*. Journal of Functional Foods, 65, 1–10.

Barbarulo P. (2022) *Enfermedad celíaca del adulto mayor.* Geriatría clínica, 16(1):23-37.

Bascuñán KA., Vespa MC., Araya M. (2017) *Celiac disease: understanding the gluten-free diet.* European Journal of Nutrition; 56: 449 – 459.

Binaghi M., Greco, C., López, L. B., Ronayne de Ferrer, P.A. y Valencia, M (2008) *Biodisponibilidad de hierro en la dieta infantil Iron bioavailability in the infant diet.* Archivos Argentinos de Pediatría, 106 (5) 387-389.

Binaghi, M., Ambrosi, V. y Lopez, L. (2019) *Biodisponibilidad potencial de hierro, calcio y zinc en galletitas, pastas y snacks comerciales libres de gluten.* Diaeta [online], vol.37, n.169, pp.08-17.

Carbajal, A. (2013). *Manual de Nutrición y Dietética. Universidad Complutense de Madrid.* Disponible en: https://www.ucm.es/nutricioncarbajal/manual-de-nutricion y en E-prints: http://eprints.ucm.es/22755/

Catassi C, Bai JC, Bonaz B, Bouma G, Calabro A, Carroccio A, et al. (2013) *Non-celiacgluten sensitivity: the new frontier of gluten related disorders.* Nutrients, 5(10): 3839 – 3853.

Cerezal Mezquita, P., Urtuvia Gatica, V., Ramírez Quintanilla, V., Romero Palacios, N. y Arcos Zavala, R. (2011) *Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; I: Formulación y aceptabilidad.* Nutrición Hosp. 2011; 26(1):152-160. ISSN 0212-1611.

Dyner, L., Drago, S. R., Piñeiro, A., Sánchez, H., González, R., Villaamil, E. y Valencia, M. E. (2007). *Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto.* Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 57(1), 69-78.

Dyner L., Ferreyra V., Sánchez E., Cagnasso C. y Olivera Carrión M. (2017) *Composición centesimal y contenido de minerales de harinas de sorgo blanco utilizadas en productos de consumo general y en productos libres de gluten.* Diaeta; 35(160):16-21.

Drago, S.R., Binaghi M, Valencia, M. (2005) *Effect of gastric digestion pH on iron, zinc, and calcium dializability from preterm and term starting infant formulas.* Journal of Food Science, 70(2), 107-112.

Giménez, M.A., Bassett, N., Lobo, M. y Sammán, N. (2013) *Fideos libres de gluten elaborados con harinas no tradicionales: características nutricionales y sensoriales.* Diaeta; 31(144):19-23.

Hernández Triana, M. (2004). *Recomendaciones nutricionales para el ser humano: actualización.* Revista Cubana de Instigaciones Biomedicas, 23(4), 266–292.

Hurrell, R., & Egli, I. (2010). *Iron bioavailability and dietary reference values.* The American Journal of Clinical Nutrition, 91, 1461–1467.

Ibañez, F.C. y Barcina, Y. (2001) *Análisis Sensorial de Alimentos. Métodos y Aplicaciones.* ISBN 84-07-00801-X, 126-135.

InfoStat. (2008). *InfoStat - Manual del Usuario* (pp. 1–336).

Lado, J., Moltini, A. I., Vicente, E., Rodríguez, G., Arcia, P., Rodríguez, M., López, M., Billiris, A., & Ares, G. (2019). *Integration of Sensory Analysis into Plant Breeding: A Review.* Agrociencia, 23(1), 101-115.

Lazarte, C. E., Carlsson, N., Almgren, A., Sandberg, A., & Granfeldt, Y. (2015). *Phytate, zinc, iron and calcium content of common Bolivian food, and implications for mineral bioavailability.* Journal of Food Composition and Analysis, 39, 111–119.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. (2007). *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations.* Journal of Food Engineering, 79, 1033–1047.

Lescano, N. E. (2020). *Propiedades texturales, sensoriales y nutricionales de productos horneados formulados a base de harinas compuestas de chañar, mistol y habas*. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Mellado Salas, M. M. & Haros, M. (2016). *Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz.* Brazilian Journal Food of Tecnology, 1–9.

Mora, M., Litwinb, N., Tocac, M.C., Azconaa, M.I., Solís Neffaa, R., Battistona, F., Solaeguia, M., Ortizc, G., et al. (2012) *Prevalencia de enfermedad celíaca: estudio multicéntrico en población pediátrica de cinco distritos urbanos de la Argentina.* Archivo Argentino de Pediatría, 110(6), 490-496.

National Academy of Sciences. (2003). *Dietary Reference Intakes- Applications in dietary planning*.

Ontiveros, N., Lopez-Gallardo, J.A., Vergara-Jimenez, M.J., Cabrera-Chavez. (2015) *Self-reported prevalence of symptomatic adverse reactions to gluten and adherence to gluten free diet in an Adult Mexican Population*. Nutrients. 7(7): 6000 – 6015.

Ortiz, C., Valenzuela, R. y Lucero, Y. (2017). *Enfermedad celíaca, sensibilidad no celíaca al gluten y alergia al trigo: comparación de patologías diferentes gatilladas por un mismo alimento.* Revista chilena de pediatría, 88(3), 417-423. https://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062017000300017

Rojas Allende, D., Figueras Díaz, F., & Durán Agüero, S. (2017). *Ventajas y desventajas nutricionales de ser vegano o vegetariano*. Revista chilena de nutrición, 44(3), 218-225. https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182017000300218.

Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). *Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread*. LWT - Food Science and Technology, 42, 1380–1389.

Santos, S.; Vinderola, G.; Santos, L.; Araujo, E. (2018). *Biodisponibilidad de minerales quelados y no quelados: una revisión sistemática.* Revista Chilena de Nutrición, 45(4), 381–392.

Sapone A, Bai JC, Ciacci C, Dolinsek J, Green PH, Hadjivassiliou M. (2012) *Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification.* BMC Med. 2012; (10): 13 - 21.

Serrano Casasola, 2002. *La importancia relativa de la fibra dietética, fitatos y taninos en la biodisponibilidad del hierro en*

frijol cocido bajo presión atmosférica. José URI: https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/211.

Souza-Borges, K. & Conti-Silva, A. (2018). *Sensory profile and evaluation of the degree of acceptability of bread produced with inulin and oligofructose oligofrutose.* Brazilian Journal Food of Tecnology, 1–8.

Valencia, M. E., Ronayne de Ferrer, P. y Martín de Portela, M. (2013) *Biodisponibilidad de nutrientes minerales*. Revista Farmacéutica. Reviews. Volumen 155 Nº 1-2. Editada por la Academia Nacional de Farmacia y Bioquímica, 2013. BUENOS AIRES – ARGENTINA.

Varela, P., & Ares, G. (2012). *Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization.* Food Research International, 48(2), 893–908.

Wolfgor, R., Drago, S., & Rodríguez, V. (2002) *In vitro measurement of availability of fortification iron.* Food Research International, 35:85-90.

Xhakollari, V., Canavari, M., & Osman, M. (2020). *Factors affecting consumers´ adherence to gluten-free diet, a systematic review. Trends in Food Science & Technology*, 85, 23–33.

Zuleta, A., Binaghi, M., Greco, C., Aguirre, C., De La Casa, L., Tadini, C. y Ronayne de Ferrer, P. (2012) *Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales.* Revista chilena de nutrición. Vol. 39, n. 3, pp. 58-64. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000300009.

MICROORGANISMOS BENÉFICOS: SUS APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS Y EN SALUD HUMANA

Jorge N. Gómez[1], Abraham A. Sesín[1], Juan J. Carol Paz[1], María P. Taranto[2], Ana E. Ledesma[1,3], Ana Y. Bustos[1,4,5*]

Resumen.

Los "alimentos funcionales" más allá de su capacidad de nutrir, poseen uno o más efectos beneficiosos demostrables en el organismo humano, mejorando así el estado de salud del individuo, o bien reduciendo el riesgo de padecer alguna enfermedad. Entre ellos se destacan los nutracéuticos, prebióticos, probió-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-UNSE-CONICET). Santiago del Estero. Argentina
2 Universidad Nacional de Tucumán. Centro de Referencia de Lactobacilos (CERELA-CONICET). Tucumán. Argentina.
3 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Departamento Académico de Química. Santiago del Estero. Argentina
4 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Santiago del Estero. Argentina.
5 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud. Santiago del Estero. Argentina.

ticos, antioxidantes, ácido gamma-aminobutírico. Debido a la complejidad del ecosistema microbiano en el tracto gastrointestinal humano y, concretamente, en el colon, resulta interesante promover a través de la dieta, un ecosistema donde las bacterias beneficiosas sean el grupo predominante. En el presente trabajo, se caracterizó el potencial probiótico de diecisiete cepas autóctonas provenientes de quesos artesanales de cabra. Específicamente, se evaluó la ausencia de actividad hemolítica, la tolerancia a pH ácido, la resistencia a sales biliares, la actividad hidrolasa de sales biliares y la adherencia a mucus intestinal Además, se evaluó la capacidad de crecimiento, acidificación y proteolítica de las cepas en leche para desarrollar un producto lácteo funcional. Por último, se evaluó el efecto de prebióticos comerciales sobre el crecimiento, actividad metabólica y actividad hidrolasa de sales biliares de la cepa L. *reuteri* CRL 1098 con funcionalidad probiótica, y efecto hipocolesterolémico.

Palabras clave: Bacterias lácticas, probióticos, prebióticos, queso de cabra, inulina

1. Introducción

En el pasado se consideraba a la dieta como un medio por el cual se incorporaban nutrientes necesarios para suplir los requerimientos metabólicos y garantizar el mantenimiento de las funciones vitales del individuo (Olganero, 2015). Sin embargo, en las últimas décadas, los conceptos básicos de nutrición han experimentado un cambio significativo. Los avances de la ciencia y de la medicina han contribuido a incrementar la expectativa de vida manteniendo la salud y la correcta funcionalidad del individuo aún en la ancianidad. En este contexto, se está superando la idea tradicional de una "dieta adecuada", es decir, que el aporte suficiente de nutrientes (hidratos de carbono,

proteínas, grasas, vitaminas y minerales) aseguren la supervivencia de un individuo, satisfagan sus necesidades metabólicas y complazcan placenteramente su sensación de hambre y bienestar. Así, el concepto tiende a ser sustituido por el de "nutrición óptima", con énfasis en la potencialidad de los alimentos para promover la salud, mejorar el bienestar general y reducir el riesgo de contraer enfermedades (Hasler, 2002). Los alimentos, que más allá de su capacidad de nutrir, poseen uno o más efectos beneficiosos demostrables en el organismo humano, mejorando así el estado de salud del individuo, o bien reduciendo el riesgo de padecer alguna enfermedad, se denominan "alimentos funcionales" (AF) (Plaza et al., 2008). En este sentido, el número de investigaciones científicas que estudian los beneficios de diferentes compuestos sobre la salud humana ha aumentado considerablemente en estos últimos años. Entre estos compuestos, destacan los nutracéuticos, prebióticos, probióticos, antioxidantes, ácido gamma-aminobutírico (gamma-aminobutyric acid, GABA) (Garzon, 2019). Es importante destacar que el efecto beneficioso de los AF debe evidenciarse en cantidades que normalmente son ingeridas con la dieta. A su vez, un AF puede ser para todos los miembros de la población o sólo para un grupo en particular definido, por ejemplo, por la edad o por algún factor genético (Olganero, 2015).

Debido a la complejidad del ecosistema microbiano en el tracto gastrointestinal humano y, concretamente, en el colon, resulta interesante promover a través de la dieta, bacterias beneficiosas que sean el grupo predominante. La primera generación de alimentos funcionales se basó en la suplementación deliberada con minerales (principalmente calcio) y vitaminas. Sin embargo, recientemente la estrategia se ha desplazado hacia la búsqueda de aditivos alimentarios que ejerzan un efecto positivo sobre la microbiota intestinal (Swennen et al., 2006). Existen dos vías para incrementar el número de microorganismos beneficiosos:

1) por administración oral de alimentos con bacterias vivas beneficiosas llamados probióticos.
2) proporcionándoles a las bacterias beneficiosas fuentes de carbono y energía con componentes dietéticos selectivos. Estos últimos son los que se conocen con el nombre de prebióticos. Los prebióticos y probióticos pueden ser suministrados conjuntamente recibiendo los productos resultantes el nombre de sinbióticos (Cardelle Cobas, 2016).

2. Bacterias lácticas

2.1 Beneficios para la salud: Potencial probiótico de bacterias lácticas autóctonas

A lo largo de los años, el concepto de probióticos fue evolucionando logrando consensos en la comunidad científica internacional. En el año 2002, un grupo de expertos convocados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) revisó el concepto de "probiótico" y sus aplicaciones para la salud. Ese grupo propuso la definición de probióticos como «microorganismos vivos que administrados en cantidades adecuadas producen un beneficio en la salud» (FAO/WHO, 2002). El término "microorganismo" destacaba la idea de que no debía limitarse su aplicación únicamente a miembros del reino bacteriano, y la expresión "administrados" (en contraposición a la versión inicial, que utilizaba "consumidos") abría su campo de aplicación más allá del tracto digestivo (piel, vagina). Desde entonces, la ciencia alrededor de los probióticos ha ido progresando, especialmente en el ámbito de la alimentación, pero quizá con relativamente poco impacto en medicina clínica por el hecho de que la mayoría de los productos que se han desarrollado y comercializado son ali-

mentos o suplementos nutricionales. Doce años después, en noviembre de 2013, un panel de expertos convocado por la Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos (ISAPP) revisó y actualizó los conocimientos adquiridos en esta área, manteniendo la definición de la FAO, pero, además, reconociendo la importancia de la microbiota y las funciones beneficiosas de muchos microorganismos que no pertenecen al ámbito de la alimentación y podrán ser útiles en medicina clínica (Hill et al., 2014).

Uno de los efectos beneficiosos para la salud relacionados con los probióticos es su capacidad para reducir los niveles de colesterol sérico. La hipercolesterolemia es una de las principales causas del desarrollo de las enfermedades cardiovasculares. Se ha calculado que el riesgo de sufrir ataques al corazón es tres veces mayor en los pacientes con hipercolesterolemia. Se han utilizado diferentes tratamientos como las intervenciones dietéticas (consumo de alimentos apropiados) o la administración específica de medicamentos para resolver esta situación (Mandadzhieva et al., 2011). Sin embargo, los altos precios y los efectos secundarios de los medicamentos promueven la búsqueda de nuevas alternativas de tratamientos para regular el perfil lipídico alterado. De esta manera, numerosos estudios se han centrado en la posible actividad hipocolesterolémica de los probióticos en humanos (Tomaro-Duchesneau et al., 2014). Se han propuesto diferentes mecanismos para explicar estos hallazgos, que incluyen la asimilación del colesterol por los microorganismos, la unión de colesterol a las paredes celulares de estas bacterias, incorporación de colesterol a las membranas celulares de los probióticos durante el crecimiento y la deconjugación enzimática de los ácidos biliares (AB) por la enzima hidrolasa de sales biliares (HSB) (Wang et al., 2012). Por ello, la actividad de HSB puede explorarse como un biomarcador probiótico funcional para modular la hipercolesterolemia (Kumar et al., 2012).

Por otra parte, para proporcionar efectos beneficiosos en la salud del huésped, las bacterias probióticas deben sobrevivir a través del tracto gastrointestinal, tolerando la presencia de ácidos y sales biliares, y luego adherirse y colonizar en el epitelio intestinal. El jugo gástrico, con un pH aproximado de 2,0 a 3,5 y un tiempo de residencia de entre 90 y 120 min, provoca la muerte de la mayoría de los microbios exógenos al ser ingeridos. Además, una vez en el intestino, los microorganismos deben permanecer más tiempo y enfrentarse al estrés que les provoca la bilis. Debido a la naturaleza lipofílica de las sales biliares, estas presentan una potente actividad antimicrobiana, siendo las membranas bacterianas sus principales objetivos.

Altas concentraciones de bilis pueden disolver los fosfolípidos y alterar la estructura de la bicapa lipídica de las membranas celulares, provocando su lisis. Además, las sales biliares inducen el mal plegamiento de las proteínas, el daño oxidativo del ADN y el ARN y la acidificación intracelular (Taranto et al., 2003; Merritt et al., 2009 y Bustos et al., 2012; Bustos et al., 2015; Bustos et al., 2022).

En el marco de diferentes proyectos de investigación financiados por la UNSE y otras instituciones, en estos últimos años nos propusimos aislar bacterias lácticas a partir de fuentes regionales y caracterizar su potencial probiótico y tecnológico. Se aislaron 50 cepas, presuntamente identificadas como bacterias lácticas, a partir de queso de cabra artesanal. De ellas, se seleccionaron diecisiete cepas, que se denominaron con las siglas CB (por CIBAAL), seguidas de un número cardinal correspondiente. Ninguna de las cepas analizadas mostró capacidad hemolítica, considerado un prerrequisito para la selección de bacterias probióticas. Además, se evaluó la tolerancia a pH ácido y sales biliares, las características de la superficie celular, las propiedades de adhesión y la actividad HSB.

Los resultados de la tolerancia ácida se muestran en la Figura 1, donde después de las 1,5 h de incubación, todas las cepas

mostraron sobrevida superior al 75 %. A las 3 h de incubación, el efecto fue muy similar, dado que no se observaron diferencias estadísticamente significativas (p>0,05) entre los dos tiempos de incubación para ninguna de las cepas evaluadas, es decir, su sobrevida es independiente del tiempo de incubación.

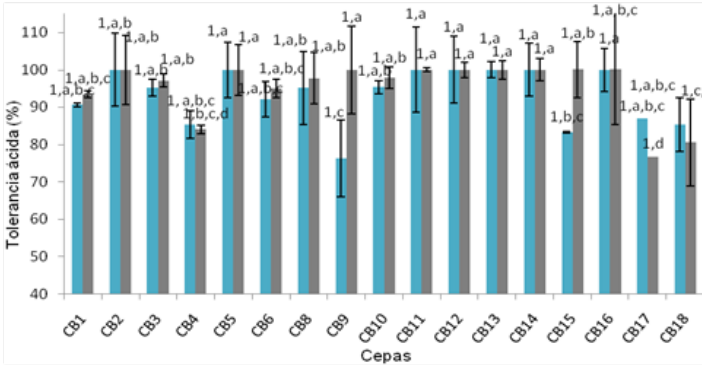


Figura 1. Porcentaje de supervivencia de las BL aisladas al estrés ácido (pH=2,5). Sobrevida de las BL a las 1,5 h (barras celestes) y a las 3 h (barras grises). Los valores para cada tratamiento (1,5 h y 3 h) que no comparten una letra son significativamente diferentes entre cepas. Los números iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (1,5 h y 3 h) para cada cepa.

En cuanto a la tolerancia a los ácidos biliares, de acuerdo a la clasificación de Margalho et al. (2020), con Ácido Taurodeoxicólico (ATDC), 16 de las 17 cepas aisladas mostraron porcentajes de supervivencia superiores al 75 % (Figura 2). Por el contrario, en presencia de Ácido Deoxicólico (ADC), sólo las cepas de *L. plantarum* CB2, CB5 y CB10 mostraron supervivencia superior al 75 %. Las cepas de *L. parabuchneri* CB1, L. plantarum CB4, *L. plantarum* CB8, *L. plantarum* CB9, *L. parabuchneri* CB12, *L. plantarum* CB16, *L. plantarum* CB17, y CB18 pueden ser consideradas moderadamente sensibles, con valores de supervivencia en un rango entre el 50 y el 75 %. Las seis

cepas restantes (*L. plantarum* CB3, *L. mesenteroides* CB6, *L. plantarum* CB11, *L. plantarum* CB13, *L. parabuchneri* CB14, y *L. plantarum* CB15) se ubicaron por debajo del 50% de sobrevida, con *L. plantarum* CB13 como la cepa de menor resistencia al estresor (32,44 %). Estos resultados indican que el 94 % de las cepas mostró alta resistencia a ATDC, mientras que con ADC, el 47 % de las cepas presentó un rango moderado, el 35 % presentó baja resistencia y sólo el 18 % exhibió altos valores de tolerancia (Figura 3).

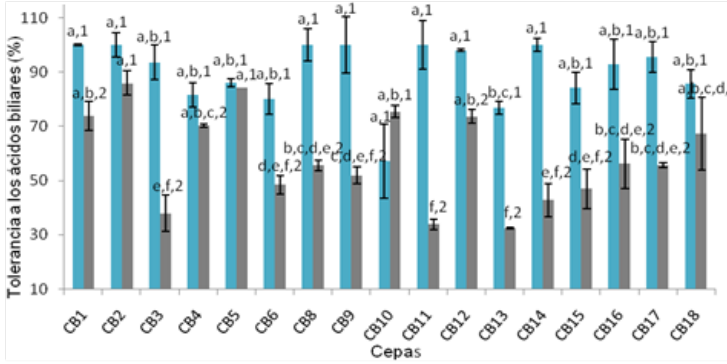


Figura 2. Porcentaje de supervivencia de las BL aisladas al estrés de los ácidos biliares. Sobrevida de las BL a ATDC (barras celestes) y a ADC (barras grises). Los valores para cada tratamiento (ATDC y ADC) que no comparten una letra son significativamente diferentes entre cepas. Los números iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (ATDC y ADC) para cada cepa.

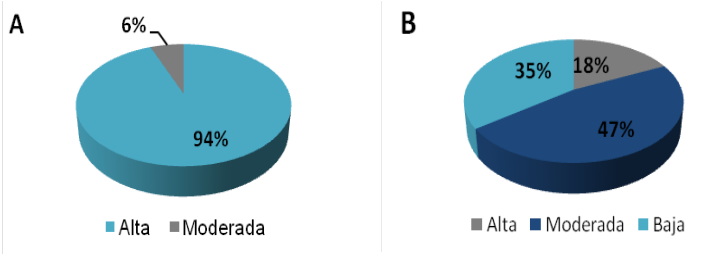


Figura 3. Clasificación de la sobrevida de las cepas a ATDC (A) y ADC (B) en baja (< 50 %), moderada (entre 50 y 75 %) y alta (> 75 %).

Como se mencionó anteriormente, la adhesión a la mucosa intestinal es uno de los principales atributos de selección de los probióticos, ya que es necesaria para la colonización intestinal, y también es importante para la modulación del sistema inmunitario y el antagonismo contra los patógenos. Las BL presentan varios determinantes de superficie que intervienen en su interacción con el mucus y las células epiteliales intestinales, lo que ayuda a la exclusión competitiva de los patógenos (Van Tassell et al., 2011; Bermúdez-Brito et al., 2012). Los organismos probióticos adheridos a las superficies epiteliales del intestino bloquean los sitios de adhesión de patógenos, dejando menos sitios disponibles, por lo que estos atraviesan el intestino sin poder colonizar la mucosa (Ohlandet al., 2010).

La capacidad de las BL de adherirse al mucus extraído del intestino del ratón se muestra en la Figura 4. Estos resultados indican que todas las cepas fueron capaces de interactuar con el sustrato, mostrando capacidades de adhesión que van desde $1{,}12x10^5$ a $8x10^6$UFC/mL. Aunque la adhesión es una propiedad específica de la cepa, encontramos pequeñas variaciones en la respuesta. Estos hallazgos están de acuerdo con los reportados por MacKenzie et al. (2010) y Carasi et al. (2013).

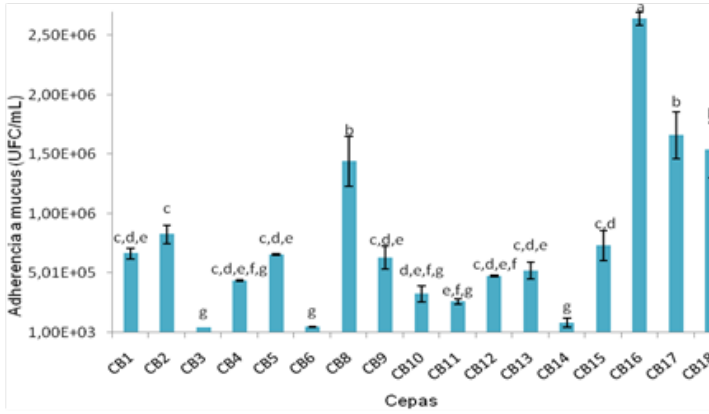


Figura 4. Adhesión de las BL al extracto de mucus colónico de ratón. Las letras idénticas indican que no hay diferencias significativas.

Por otro lado, los probióticos deben presentar varias cualidades interesantes y distintivas, que contribuyan positivamente a la salud del hospedador. Entre ellas se distinguen, la síntesis de metabolitos y enzimas benéficas como la Hidrolasa de Sales Biliares. Dicha enzima ha llamado la atención de los investigadores en los últimos años por todas las incumbencias que parece tener en los metabolismos del huésped.

Las sales biliares, constituyentes de la bilis, se sintetizan en hígado a partir de colesterol y se secretan al duodeno donde colaboran con la emulsificación y absorción de lípidos provenientes de la dieta. Una de las transformaciones bacterianas más importantes que sufren las secreciones biliares durante el tránsito intestinal es la deconjugación de las sales biliares mediada por la enzima HSB (Bustos et al., 2015 y 2016). La reacción que cataliza es la escisión del enlace amida entre la glicina o taurina conjugadas al núcleo esteroide de las sales biliares (Long et al., 2017). En términos generales, la enzima HSB está involucrada en el metabolismo energético del huésped, especialmente en la reducción del colesterol sérico al aumentar la

demanda de este componente para la síntesis de sales biliares en el hígado (Dong et al., 2018; Adebola et al., 2020). Por ello, es que la actividad de HSB se considera un biomarcador probiótico funcional por sus efectos protectores de la salud (Bustos et al., 2018).

Se evaluó presuntivamente la capacidad de los microorganismos aislados para hidrolizar los ácidos biliares empleando placas de MRS con ATDC. La actividad se detecta por la presencia de ácidos biliares libres precipitados alrededor de las colonias. Se observó que 8 cepas de las 17 analizadas presentaban un halo de precipitado, por lo que fueron consideradas como potenciales cepas HSB (+) (Tabla 1). Para corroborar este hallazgo, se cuantificó la reducción del ácido biliar conjugado en células no proliferantes, empleando HPLC. Las cepas evaluadas mostraron un alto grado de hidrólisis frente al ATDC, que osciló entre 74,35±0,92% y 98,41±2,25%, valores similares e incluso superiores a los observados en la cepa CRL 1098, incluida como referencia (77%).

Cepas	Screening de actividad HSB	Cuantificación de la actividad HSB (%)
CB1	-	ND
CB2	+	$91{,}60 \pm 6{,}35^{a,b}$
CB3	-	ND
CB4	-	ND
CB5	-	ND
CB6	+	$96{,}44 \pm 2{,}41^{a}$
CB8	-	ND
CB9	-	ND
CB10	-	ND
CB11	+	$97{,}64 \pm 3{,}34^{a}$
CB12	+	$98{,}41 \pm 2{,}25^{a}$

CB13	+	$87{,}51 \pm 4{,}10^{a,b,c}$
CB14	+	$91{,}49 \pm 4{,}43^{a,b}$
CB15	+	$74{,}35 \pm 0{,}92^{c}$
CB16	-	ND
CB17	-	ND
CB18	+	$81{,}29 \pm 0{,}34^{b,c}$

(-) Deconjugación negativa, (+) Deconjugación positiva, ND = No Determinado. Letras idénticas en el superíndice indican que no hay diferencias significativas.

Tabla 1. Actividad de hidrolasa de sales biliares de los aislados de BL. Los resultados se expresan como porcentaje de hidrólisis del ATDC para las diferentes cepas.

2.2 Sinbióticos: aportes de combinar probióticos y prebióticos

Las sustancias prebióticas se definen como "un sustrato utilizado selectivamente por los microorganismos del huésped que confiere un beneficio para la salud". Los prebióticos ahora brindan oportunidades bastante simples basadas en la dieta para influir en la composición de la microbiota intestinal y mejorar la salud.

Por otra parte, los sinbióticos del huésped se definen como "una mezcla de probióticos y prebióticos destinada a aumentar la supervivencia de las bacterias que promueven la salud, con el fin de modificar la microbiota intestinal y su metabolismo". Este término debe reservarse exclusivamente para los productos que poseen verificación científica de la simbiosis existente, es decir, en los cuales los prebióticos favorecen selectivamente a los probióticos adicionados en este simbiótico en particular (Olganero, 2015). Además, variando las proporciones de cada uno de ellos se puede modificar la prevalencia de la acción de un componente en relación con el resto, obteniéndose dife-

rentes resultados.

Los cambios en la composición y/o actividad de la microbiota intestinal por la administración de nutrientes con propiedades prebióticas, probióticas o simbióticas puede modular la expresión de genes y el metabolismo del huésped a múltiples niveles (como en el tejido adiposo, muscular, hepático, e incluso modulación de la saciedad), con lo que influiría en los trastornos metabólicos relacionados. Algunos prebióticos y probióticos podrían contrarrestar las alteraciones metabólicas asociadas a la obesidad y a la diabetes, como la resistencia insulínica, la hiperglucemia, la inflamación, la dislipidemia, entre otros (Druart et al., 2014).

Limosilactobacillus (L.) reuteri CRL 1098 es una cepa perteneciente a la colección de cultivos del Centro de Referencia para Lactobacilos (CERELA, San Miguel de Tucumán, Argentina) que destaca por su efecto hipocolesterolemiante y producción de corrinoides con actividad de vitamina B12. Además, muestra un efecto inmunoestimulante moderado (Taranto et al., 1998, 1999; 2003; Molina, 2009; Mechoud et al., 2012; Bustos, 2016).

Teniendo en cuenta que la cepa *L. reuteri* CRL 1098 representa un interesante candidato para el desarrollo de alimentos funcionales sinbióticos y que el metabolismo de prebióticos en esta cepa no ha sido estudiado, nos propusimos estudiar el efecto de prebióticos comerciales sobre el crecimiento, actividad metabólica y potencial probiótico de esta valiosa cepa láctica.

Las características de los oligosacáridos empleados se muestran en la Tabla 2.

Prebiótico	Contenido en Inulina/oligofructosa	Descripción
Inulina GR	~92 %	Inulina en polvo granulada, grado de polimerización (GP) medio ≥ 10

Inulina HSI	~88 %	Inulina en polvo altamente soluble, GP medio ≥ 10
Inulina HP	~100 %	Inulina en polvo de alto rendimiento, GP medio ≥ 23
Rafstilosa P95	~95 %	Oligofructosa en polvo, GP medio ≥ 7. 5 % de glucosa, fructosa y sacarosa
Lactulosa	~95 %	Disacárido en polvo, isómero de la lactosa

Tabla 2. Características de los prebióticos usados.

En primer lugar, se evaluó la capacidad de la cepa para emplear los prebióticos como única fuente de carbono. Para ello, se empleó el medio de cultivo MRS (medio utilizado para el cultivo y enumeración de bacterias ácido lácticas) con y sin (MRS modificado) el agregado de glucosa como fuente de carbono. Al medio MRS modificado, se agregaron por separado los diferentes prebióticos en una concentración final de 2,0 % (p/v), según el esquema de la Figura 5.

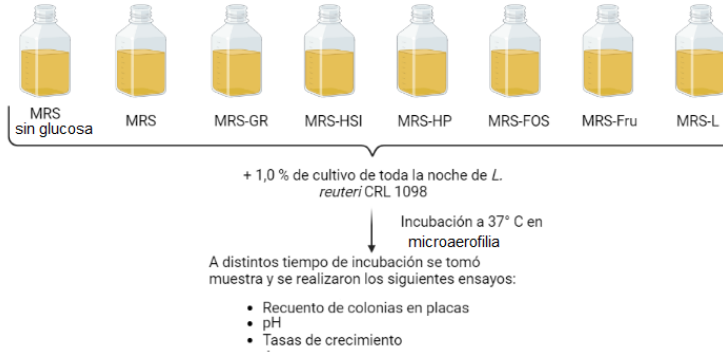
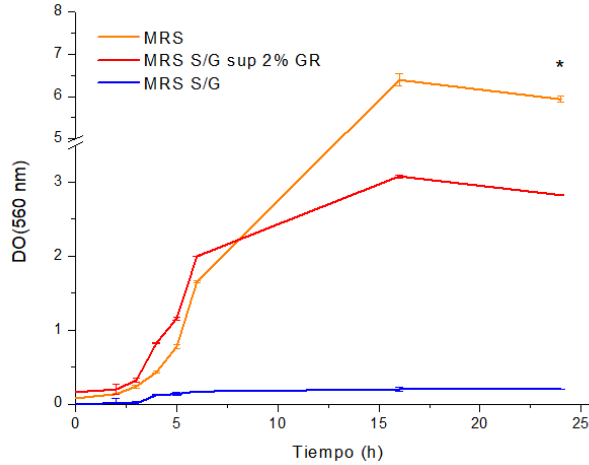
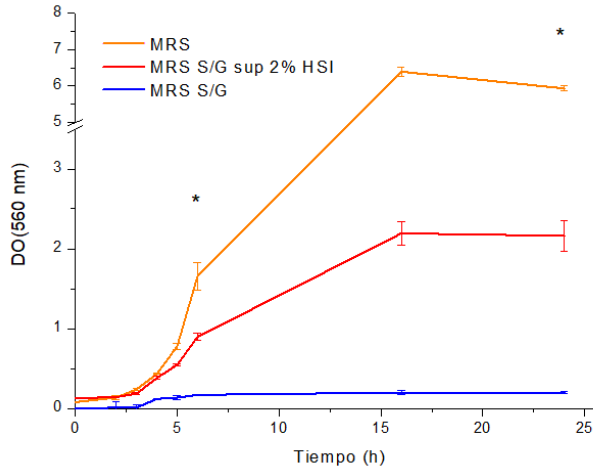


Figura 5. Esquema de trabajo realizado para la fermentación de oligosacáridos prebióticos y ensayos realizados luego de la incubación.

En la Figura 6, a manera descriptiva, se muestran las curvas de crecimiento para inulina GR, HSI, HP y lactulosa. Nuestros resultados muestran que la cepa no fue capaz de crecer en un medio sin una fuente de carbono (MRS sin glucosa), mientras que en presencia de los prebióticos se observa un crecimiento significativo (valor-p < 0,05) luego de 24 h de incubación. El crecimiento fue dependiente del sacárido añadido; en presencia de oligofructosa FOS-P95, inulina HP y lactulosa, se observa un crecimiento comparable con el MRS control con glucosa. En la Figura 7 se muestran las tasas de crecimiento relativo (TCR) luego de la incubación por 24 hs en los medios de cultivo con los carbohidratos prebióticos mencionados anteriormente, en comparación con el crecimiento en medio MRS (con glucosa como fuente de carbono). Un valor de TCR = 1 indica que no hay diferencias respecto del crecimiento en medio con glucosa, mientras que un valor de TCR < 1 indica menor crecimiento respecto del control con glucosa y TCR >1 indica un efecto estimulante del crecimiento de la cepa en comparación con la glucosa como fuente de carbono (Rubel et al., 2014). Se observa que las TCR para la inulina HP, FOS-P95, fructosa y lactulosa no difieren significativamente (valor-p < 0,05) luego de la incubación por 24 h. Por otro lado, los valores de TCR < 1 que corresponden a inulina GR y HSI sugieren que la cepa fermenta estos prebióticos con menor eficiencia que la glucosa. Se ha sugerido que el crecimiento y la viabilidad de los cultivos probióticos en presencia de un sustrato prebiótico depende tanto de la cepa probiótica considerada como del grado de polimerización del prebiótico (Palacio, 2015).


MRS
MRS S/G sup 2% GR
MRS S/G
*
DO(560 nm)
Tiempo (h)


MRS
MRS S/G sup 2% HSI
MRS S/G
*
*
DO(560 nm)
Tiempo (h)

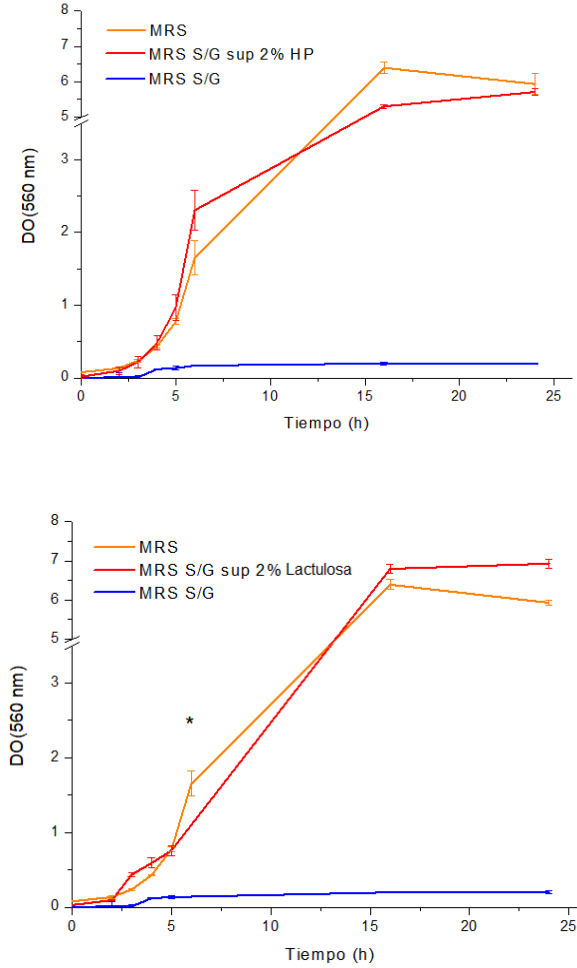


Figura 6. Curvas de crecimiento de la cepa *L. reuteri* CRL 1098 en presencia de prebióticos comerciales como única fuente de carbono. El símbolo "*" en las gráficas significa que existen diferencias significativas entre el medio MRS sin glucosa con el prebiótico al 2 % y el control MRS a t24 y t6 h (valor-p < 0,05).

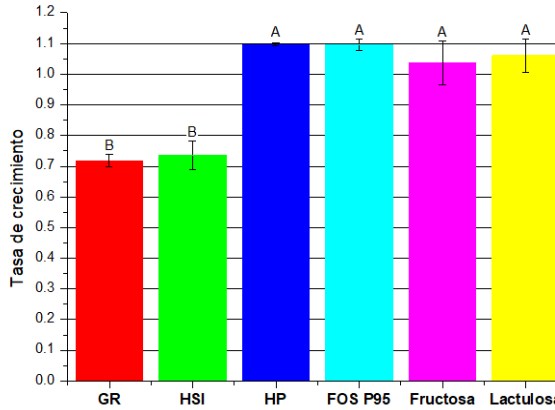


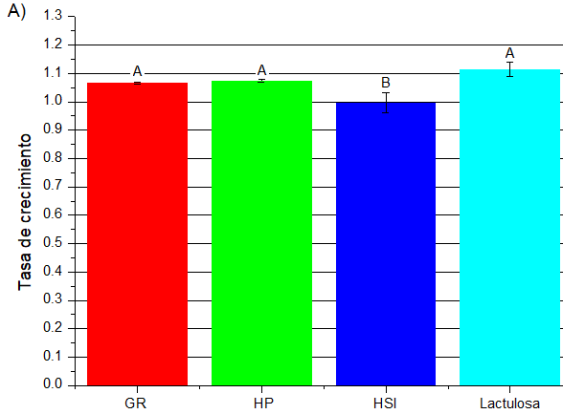
Figura 7. Tasa de crecimiento de Limosilactobacillus reuteri CRL 1098 relativa a la glucosa en los distintos medios durante 24 horas de incubación en microaerofilia a 37º C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).

En este sentido, Watson et al., (2013) evaluaron el crecimiento de distintas cepas del género Lactobacillus en medio MRS con distintos carbohidratos prebióticos como única fuente de carbono/energía, observándose perfiles de crecimiento diferenciados según el género estudiado. En general, los datos de crecimiento *in vitro* obtenidos, muestran que FOS, los FOS/inulina y la inulina son sustratos de crecimiento bastante pobres para la mayoría de los lactobacilos ensayados. Por el contrario, la lactulosa, permitió crecimientos de intermedios a buenos para 15 de las cepas de lactobacilos ensayadas. En particular, las cuatro cepas de *Limosilactobacillus reuteri* (*antes Lactobacillus reuteri*), ATCC 55730, DSM 17938, DSM 20016 y DSM 20053 presentaron buen desarrollo microbiano en el medio MRS convencional y con lactulosa con DO600 final > a 0,8, lo que coincide con nuestros hallazgos. Para FOS las cepas mostraron un ligero crecimiento, con DO600nm finales entre 0,3-0,5, excepto la cepa DSM20053, que no presentó desarro-

llo. De manera remarcable, ninguna de las cepas de *L. reuteri* evaluadas presentó crecimiento en inulina HP, mientras que nuestros resultados muestran buen desarrollo de la cepa CRL 1098 en presencia de este prebiótico.

2.3 Efecto de la suplementación con prebióticos sobre el crecimiento, tolerancia a sales biliares y actividad HSB de la cepa *Limosilactobacillus reuteri* CRL 1098.

Las tasas de crecimiento relativas nos permiten analizar mejor los resultados obtenidos. En la Figura 8 se muestran los valores obtenidos para los ensayos de suplementación. Inulina HP, GR y lactulosa muestran una TCR > 1, para las tres concentraciones ensayadas, es decir que todos los prebióticos potenciaron el crecimiento de la cepa CRL 1098, salvo la inulina HSI que no difirió significativamente del control en ninguna concentración evaluada, es decir un TRC = 1. A la menor concentración evaluada (0,5) %, no existen diferencias significativas entre inulina GR, HP y lactulosa. En presencia de 1,0 y 2,0 % de prebióticos, la mayor TCR corresponde a la lactulosa, seguida de las inulinas GR y HP (figura 8 B).



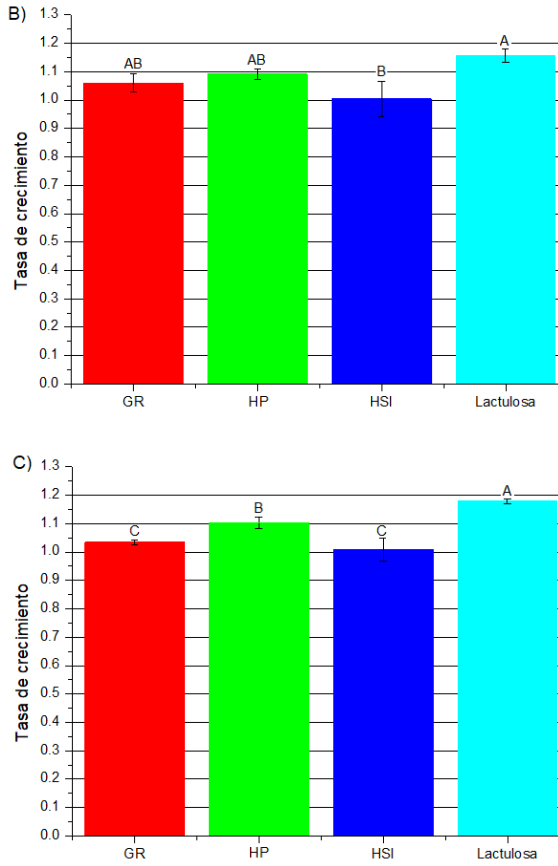


Figura 8. Tasas de crecimiento relativas para los ensayos de suplementación a distintas concentraciones. A) corresponde al 0,5% de la suplementación, B) al 1,0 % y C) 2,0 %

Como fuera expuesto, la capacidad de una cepa para resistir la presencia de sales biliares en el tracto intestinal es un requisito fundamental para cumplir con su función probiótica. Por ello, evaluamos si la adición de los diferentes prebióticos modificaba la tolerancia de la cepa CRL 1098 al ácido taurodeóxicolico

(ATDC), uno de los ácidos biliares conjugados más abundantes en el intestino. Nuestros resultados indican que el agregado de 6 mM del ATDC no afectó significativamente (valor-p < 0,05) el crecimiento de la cepa en el medio MRS control, alcanzando 9,6 Log UFC/mL aproximadamente (datos no mostrados). Sin embargo, cuando las diferentes inulinas fueron agregadas al medio de cultivo, se observó una ligera disminución del crecimiento, que fue dependiente de la concentración, alcanzando valores finales entre 8,85 y 9,0 Log UFC/mL. Por el contrario, cuando se agregó lactulosa al medio, no se observaron diferencias significativas respecto del control sin el prebiótico.

Por último, evaluamos si la adición de prebióticos a diferentes concentraciones era capaz de potenciar la actividad HSB de la cepa CRL 1098, que juega un papel esencial en su función probiótica.

	Inulina GR	Inulina HSI	Inulina HP	FOS P95	Lactulosa
MRS-TDCA 6 mM control	$1,50^{A} \pm 0,07$	$1,50^{A} \pm 0,07$	$1,50^{A} \pm 0,07$	$1,50^{A} \pm 0,07$	$1,50^{A} \pm 0,07$
MRS-TDCA 6 mM + 0.5 % del prebiótico	$1,60^{A} \pm 0,05$	$1,50^{A} \pm 0,03$	$0,90^{B} \pm 0,04$	$1,10^{A} \pm 0,08$	$4,70^{B} \pm 0,09$
MRS-TDCA 6 mM + 1.0 % del prebiótico	$1,40^{A} \pm 0,04$	$1,30^{A} \pm 0,04$	$1,10^{A} \pm 0,08$	$1,00^{B} \pm 0,06$	$4,60^{B} \pm 0,06$
MRS-TDCA 6 mM + 2.0 % del prebiótico	$0,90^{B} \pm 0,04$	$0,80^{B} \pm 0,05$	$0,70^{B} \pm 0,06$	$0,90^{B} \pm 0,07$	$4,10^{B} \pm 0,05$

Letras iguales en el superíndice indican que no existe diferencia significativa con respecto al MRS control.

Tabla 3. Concentración de ATDC en mM luego de la fermentación por 24 hs en medios con prebióticos a distintas concentraciones como suplemento en medio MRS.

Luego de 24 h de incubación en medio MRS sin el agregado de prebióticos, se observa que la concentración del ATDC disminuye a 1,5 mM desde su valor inicial de 6 mM (Tabla 3), lo que corresponde a un 75,0 % ± 1,0 de hidrólisis del AB. Con la suplementación con los prebióticos del tipo fructanos, se observa un incremento en la actividad de la enzima HSB que, en general, aumenta con la concentración. Los mayores porcentajes de hidrólisis se observan a la concentración del 2,0 % en el siguiente orden decreciente de hidrólisis HP>HSI>GR y FOS-P95, lo que corresponde a actividades de hidrólisis de 88,33 % ± 0,10, 86,66 % ± 0,45 y 85,00 % ± 0,50 respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos. A 0,5 % se observa que solo la inulina HP presenta diferencias con respecto al control. A la concentración del 1,0 %, solo FOS-P95 presenta diferencias significativas entre los prebióticos, seguido de HP, pero sin diferir del control.

De manera remarcable, en el ensayo de suplementación con lactulosa se observó una significativa disminución de la actividad HSB respecto del control, en las tres concentraciones ensayadas. En efecto, el porcentaje de desconjugación fue de 21,66 % ± 2,0 para la suplementación con 0,5 % de lactulosa, 23,33 % ± 2,0 para el 1,0 % y 31,66 % ± 4,0 para la concentración de 2,0 %, respecto del 75,0 % ± 1,0 correspondiente al MRS, en ausencia de lactulosa.

Este incremento en la actividad observado en presencia de las inulinas puede estar relacionado con la ligera disminución en el crecimiento observado ya que el ácido deoxicólico, producto de la hidrólisis de ATDC, en general es más del etéreo para las BL que el ATDC (Bustos 2011; Bustos 2015). Sin embargo, es probable que el agregado de los prebióticos mitigue este efecto. Por el contrario, el agregado de lactulosa no modifica el crecimiento de la cepa.

Nuestros resultados muestran que la cepa fue capaz de crecer en presencia de todas las inulinas evaluadas y de lactulosa,

observándose los mejores resultados con inulina HP, FOS-P95 y lactulosa. En efecto, se registraron los mayores valores de Log UFC/mL (9,40 y 9,33) y la mayor disminución de pH (4,13).

La cepa *Limosilactobacillus reuteri* CRL 1098 en presencia de una combinación de ciertos prebióticos (inulina HP y lactulosa) y glucosa mejora su desarrollo, a medida que aumentaba la concentración del prebiótico, obteniéndose un mejor crecimiento con respecto a la glucosa como única fuente de carbono. Las tasas de crecimiento relativo demostraron que la concentración del 2,0 % de lactulosa como suplemento mejora considerablemente el crecimiento de la cepa, difiriendo significativamente del resto de prebióticos.

En este estudio se demostró que la cepa presenta resistencia al ATDC en medios de cultivo que poseían los distintos prebióticos y que además los prebióticos del tipo fructanos, mejoran las condiciones de la hidrolisis de los AB conjugados a medida que aumentaba la concentración siendo la concentración del 2,0 % la que mejora la actividad de la enzima. Por el contrario, la lactulosa produjo un efecto inhibitorio a las tres concentraciones ensayadas.

2.4 Propiedades tecnológicas de BAL: su aporte al sabor y textura de alimentos

La leche y sus derivados son productos de consumo universal que se examinan minuciosamente en cuanto a sus propiedades tecnológicas, fisiológicas y bioquímicas, ya que muchas veces sirven como vehículo de ciertos microorganismos de importancia para la salud del consumidor, como lo son las bacterias lácticas (Moussaid, 2021). Para que estos microorganismos se multipliquen, requieren de azúcares como glucosa y lactosa, además de aminoácidos, vitaminas y otros factores de crecimiento (Ramírez, 2011). Presentan una gran capacidad metabólica, lo que las hace tan ubicuas que pueden adaptarse a distin-

tos medios para poder crecer, como, por ejemplo, las masas de cereales, algunos vegetales y la carne. Es por ello, que, dentro de una amplia variedad de aplicaciones dentro del ámbito de la industria alimentaria, muchos de estos microbios son empleados como cultivos iniciadores en la elaboración y conservación de ciertos alimentos fermentados (Kamiloglu, 2020).

Los alimentos fermentados son definidos como todos aquellos alimentos que fueron modificados por la actividad de microorganismos o enzimas. Generalmente, muchos de los alimentos artesanales son preparados de esta manera; a partir de materia cruda o tratada térmicamente y que, a través de un proceso que involucra microorganismos específicos, adquieren importantes características sensoriales relacionadas con el sabor, aroma, textura y consistencia, e inclusive un ocasional aumento del valor nutricional (Ramírez, 2011). En este sentido, la leche es generalmente el medio típico y más adecuado para la proliferación de las bacterias lácticas que naturalmente ya se encuentran formando parte de ella (Saez, 2014). Sin embargo, la composición de la microbiota láctica endógena, o también llamada indígena, presente en la matriz depende de algunos factores como el origen, las condiciones ambientales, la dieta del ganado abastecedor y las condiciones de higiene durante la manipulación de la leche (Terzic, 2020).

Durante la fermentación de la leche, proceso que involucra diversos mecanismos biológicos como la proteólisis y la acidificación del medio, las bacterias lácticas presentes sintetizan y liberan ciertos metabolitos, tales como el ácido láctico, ácido acético, etanol, dióxido de carbono, bacteriocinas en algunos casos, entre otros compuestos que colaboran en la conservación de la leche, mientras que a su vez le imparten propiedades sensoriales distintivas (Parra, 2010). Existe una enorme variedad de leches fermentadas en las que intervienen algunos de estos microbios y, en algunas ocasiones, se ven acompañadas de levaduras. Sin embargo, el yogur es el derivado lácteo más

ampliamente demandado por la sociedad actual debido a su mayor digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes (Bustos, 2019). Consecuentemente, en los productos lácteos fermentados, algunas de las principales funciones de las bacterias lácticas son la producción de ácidos orgánicos que logran la disminución del pH para inhibir la proliferación de microorganismos indeseables, la reducción de riesgos higiénicos, la coagulación de la leche, la reducción del lactosuero, la reducción en el contenido de azúcares, la formación de aromas a partir del diacetilo y acetaldehído, la producción de gas requerida para la formación de hoyos en ciertos tipos de quesos y la proteólisis necesaria durante la maduración de los mismos. Además, las bacterias lácticas disminuyen la lipólisis, lo cual evita la rancidez en los productos lácteos (Ramírez, 2011).

Por sus características destacadas, los productos lácteos fermentados son los principales portadores de probióticos debido a la capacidad amortiguadora de la leche que permite el crecimiento y la supervivencia de las bacterias durante la fermentación y el almacenamiento (Luz et al., 2021). Sin embargo, muchas BL no tienen un crecimiento considerable, acidificación y capacidad proteolítica para lograr una adecuada fermentación de la leche (Uroic et al. 2014). Por lo tanto, estas propiedades tecnológicas deben ser probadas en la selección de BL para ser administradas en productos lácteos.

Continuando con el estudio de las cepas aisladas por nuestro grupo de trabajo a partir de quesos de cabra elaborados artesanalmente, se evaluó su capacidad de crecimiento, acidificación y actividad proteolítica en leche comercial reconstituida.

Los resultados de la caracterización tecnológica de las cepas lácticas aisladas se muestran en la siguiente Tabla 4.

Ensayos de caracterización tecnológica en leche				
Cepas	Capacidad de crecimiento (log UFC/mL)	Actividad acidificante (unidades de pH)	Acidez titulable (g de ácido láctico/100 mL de leche)	Actividad proteolítica (mmol de glicina/mL de leche
CB1	8,18 ± 0,20	5,63 ± 0,15	2,35 ± 0,07	68,90 ± 7,73
CB2	8,59 ± 0,08	6,08 ± 0,13	2,50 ± 0,42	124,00 ± 22,00
CB3	8,25 ± 0,19	5,79 ± 0,11	2,15 ± 0,07	144,40 ± 9,00
CB4	8,95 ± 0,09	5,15 ± 0,08	2,70 ± 0,00	54,75 ± 0,27
CB5	8,87 ± 0,11	4,56 ± 0,10	3,60 ± 0,14	46,89 ± 5,17
CB6	8,53 ± 0,08	5,11 ± 0,07	3,70 ± 0,14	33,17 ± 1,20
CB8	8,53 ± 0,12	5,09 ± 0,08	4,95 ± 0,21	34,90 ± 0,53
CB9	8,79 ± 0,03	4,74 ± 0,19	3,00 ± 0,28	144,93 ± 8,61
CB10	8,81 ± 0,07	5,13 ± 0,05	2,35 ± 0,07	108,43 ± 25,04
CB11	8,38 ± 0,06	5,81 ± 0,10	3,55 ± 0,07	101,50 ± 10,00
CB12	8,78 ± 0,09	4,92 ± 0,12	2,80 ± 0,00	89,92 ± 13,05
CB13	8,78 ± 0,20	5,02 ± 0,09	5,00 ± 0,28	121,49 ± 0,40
CB14	8,68 ± 0,06	6,05 ± 0,12	1,45 ± 0,07	151,32 ± 11,47
CB15	8,38 ± 0,09	5,68 ± 0,05	3,25 ± 0,21	10,07 ± 0,80

CB16	8,38 ± 0,20	5,65 ± 0,12	2,85 ± 0,07	9,59 ± 0,73
CB17	8,58 ± 0,12	5,31 ± 0,09	3,00 ± 0,00	117,22 ± 1,33
CB18	8,75 ± 0,14	5,18 ± 0,05	2,90 ± 0,14	92,45 ± 0,90

Tabla 4. Ensayos de caracterización tecnológica en leche

La capacidad de crecimiento en una matriz láctea es una de las pruebas tecnológicas más importantes para la selección de una bacteria láctica, porque a partir de ello es posible determinar si necesitan o no de algún tipo de suplementación o solución amortiguadora que estimule exitosamente el desarrollo del cultivo fermentador o de la cepa con potencial probiótico. Por otra parte, la capacidad de acidificación es otra de las propiedades tecnológicas más buscadas para la selección de estos microbios involucrados en el procesamiento de alimentos. La disminución del pH, debido a la producción de ácido láctico y acético, favorece notoriamente a la conservación de los alimentos. Esto es así, porque se genera una inhibición del desarrollo de microbios contaminantes que muchas veces actúan como patógenos o agentes de descomposición, impactando negativamente en las características sensoriales y organolépticas de los alimentos fermentados. En este sentido, aquellas cepas con alta actividad acidificante juegan un rol fundamental en el proceso inicial de la coagulación de la leche, por lo que pueden usarse como cultivos iniciadores; mientras que las bacterias lácticas no iniciadoras se seleccionan en función de sus beneficios para la salud que contribuyen a las características finales de los productos.

Por último, el sistema proteolítico de las bacterias lácticas les permite utilizar a la proteína de la leche como fuente de nitrógeno y aminoácidos esenciales, a partir de lo cual se

generan diferentes tipos de metabolitos en los productos fermentados. De hecho, como consecuencia de la proteólisis se liberan péptidos con variada actividad biológica como son los antihipertensivos, antimicrobianos, inmunomoduladores, entre otros. Por lo tanto, el uso de bacterias lácticas con actividad proteolítica es considerado una estrategia novedosa para el diseño de alimentos funcionales enriquecidos con biopéptidos.

Los resultados obtenidos muestran que todas las cepas evaluadas presentan crecimiento en leche, como así también una buena capacidad de acidificación a través de una importante producción de ácido láctico luego de 24 horas de incubación.

Es por ello, que estas bacterias podrían ser empleadas durante procesos fermentativos de ciertos alimentos para proporcionar nuevos sabores y texturas, mientras que a su vez existe una protección contra la contaminación por parte de otros microorganismos deteriorantes o patógenos. Además, todas las cepas presentaron actividad proteolítica, lo cual las posiciona como fuentes productoras de aminoácidos. Esto podría aumentar el valor nutricional de algunos alimentos y disminuir los alérgenos de la leche.

3. Conclusiones

La creciente demanda de productos con beneficios para la salud más allá de sus propiedades nutricionales fomenta el aislamiento y caracterización de cepas con potencial probiótico para su uso en el diseño de alimentos funcionales. En este sentido, los quesos artesanales de cabra suelen ser fuentes naturales bien conocidas de bacterias lácticas con características singulares, incluyendo propiedades tecnológicas y probióticas.

En el presente trabajo, se evaluó la ausencia de actividad hemolítica, la tolerancia a pH ácido, la resistencia a sales biliares, la actividad HSB y la adherencia a mucus en diecisiete

cepas autóctonas. Además, las cepas aisladas se inocularon en muestras de leche y se midieron el crecimiento, la capacidad acidificante y la actividad proteolítica. Nuestras evaluaciones nos permiten proponer tres cepas identificadas como *Lactiplantibacullus plantarum* CB5, CB8 y *Lentibacillus parabuchneri* CB12 para el diseño de productos lácteos funcionales, debido a sus notables propiedades probióticas, y a su excelente capacidad de desarrollo en leche, lo que permitiría su uso como cultivos iniciadores probióticos.

Además, se evaluó el efecto de prebióticos comerciales sobre el crecimiento, actividad metabólica y actividad hidrolasa de sales biliares de la cepa *L. reuteri* CRL 1098 seleccionada por su funcionalidad probiótica, con efecto hipocolesterolémico. Nuestros resultados indican que la cepa fue capaz de crecer en presencia de todas las inulinas evaluadas y del prebiótico lactulosa, observándose los mejores resultados con inulina HP, FOS-P95 y lactulosa. Además, se estableció que la adición de ciertos prebióticos al medio de cultivo incrementa significativamente el crecimiento de la cepa CRL 1098 de manera concentración dependiente, observándose los mejores resultados con inulina HP y lactulosa.

De manera remarcable, se observó que la adición de prebióticos tipo fructanos, a diferentes concentraciones mejora la actividad hidrolasa de sales biliares de la cepa, alcanzando un 90 % de hidrólisis con inulina HP al 2,0 %. Por el contrario, la lactulosa produjo un efecto inhibitorio a las tres concentraciones ensayadas, lo que nos permitiría proponerla como potencial inhibidor de la enzima HSB en preparados sinbióticos para alimentos destinados a animales de engorde.

Estos resultados son de interés tanto para las instituciones académicas como para la industria alimentaria, e indirectamente conduciría a la mejora de la economía rural, ya que permitiría el diseño de cultivos lácteos autóctonos con propiedades probióticas y tecnológicas añadidas. Además, nuestros

hallazgos nos permiten profundizar en la comprensión de la interacción entre prebióticos y cepas de BL y sobre la actividad de la enzima HSB, involucrada en el metabolismo del colesterol en humanos, de la cual existe escasa información. Estos hallazgos sientan las bases para la formulación adecuada de alimentos simbióticos con impacto positivo en la salud del huésped.

Referencias

Adebola O.O., Corcoran O., Winston A. M. (2020). *Prebiotics may alter bile salt hydrolase activity: Possible implications for cholesterol metabolism.* Pharma Nutrition S2213-4344 (20) 30007-4.

Bermúdez-Brito, M., Plaza-Díaz, J., Muñoz-Quezada, S., Gómez-Llorente, C., Gil, A. (2012). *Probiotic Mechanisms of Action.* Ann. Nutr. Metab. 61, 160–174.

Bustos, A., Font de Valdez, G., Raya, R., De Almeida, A., Fadda, A., Taranto, M. (2015). *Proteomic analysis of the probiotic Lactobacillus reuteri CRL1098reveals novel tolerance biomarkers to bile acid induced stress.* Food Research International, 77, 599.

Bustos, A., Font de Valdez, G., Raya, R., Taranto, M. (2016). *Genetic characterization and gene expression of bile salt hydrolase (bsh) from Lactobacillus reuteri CRL 1098, a probiotic strain.* Int. J. Genom., Proteomics, Metabolomics & Bioinformatics, 1, 1.

Bustos A.Y., Font G.M., Fadda S.G., Taranto M.P. (2018). *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.

Bustos, A., Saavedra, I., Font de Valdez, G., Raya, R., Taranto, M. (2012). *Relationship between bile salt hydrolase activity, changes in the internal pH and tolerance to bile acids in lactic acid bacteria.* Biotech. Lett., 2265-2271.

Bustos, A. Torres, L., Gerez, C., Iturriaga, L. (2018). *Yogurt, ancestral milk base food of current great validity. Main nutritional, functional and technological aspects.* IDITEC, 7, 30-40.

Carasi P., Ambrosis N.M., De Antoni G.L., Bressollier P., Urdaci M.C., Serradel M.A. (2013). *Adhesion properties of potentially probiotic Lactobacillus kefiri to gastrointestinal mucus.* J. Dairy Research, 81, (1): 16-23.

Cardelle Cobas, A. (2016). *Síntesis, caracterización y estudio del carácter prebiótico de ologisacáridos derivados de la*

lactulosa. Instituto de Fermentaciones Industriales (IFI) Universidad Autónoma de Madrid. 4(1), 1–23.

Dong, Z., Hoon Lee, B. (2018). *Bile salt hydrolases: structure and function, substrate preference and inhibitor development.* Prot. Sci., 27, 10.

Druart, C., Alligier, M., Salazar, N., Neyrinck, A. M., & Delzenne, N. M. (2014). *Modulation of the gut microbiota by nutrients with prebiotic and probiotic properties.* Advances in Nutrition, 5(5), 624S-633S. https://doi.org/10.3945/an.114.005835

FAO/WHO. (2002). *Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food*. 1–11.

Hasler, C. M. (2002). *Functional foods: Benefits, concerns and challenges - A position paper from the American Council on Science and Health. Journal of Nutrition*, 132(12), 3772–3781. https://doi.org/10.1093/jn/132.12.3772

Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). *Expert consensus document: The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic*. Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology, 11(8), 506–514. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66

Kamiloglu, A., Kaban, G., Kaya, M. (2020). *Technological properties of autochtonous Lactobacillus plantarum strains isolated from sucuk (Turkish dry-fermented sausage)*. Brazilian Journal of Microbiology.

Kumar, R., Grover, S., & Kumar, V. (2012). Bile Salt Hydrolase (Bsh) *Activity Screening of Lactobacilli: In Vitro Selection of Indigenous Lactobacillus Strains with Potential Bile Salt Hydrolysing and Cholesterol-Lowering Ability.* 162–172. https://doi.org/10.1007/s12602-012-9101-3

Ledesma, A., Taranto, M., Bustos, A. (2021). *Characterization of substrate specificity and inhibitory mechanism of bile salt hydrolase from Lactobacillus reuteri* CRL 1098 using molecular docking analysis. Biotechnology Letters, 43, 1063-1073.

Long, S., Gahan, C., Joyce, S. (2017). *Interactions between gut bacteria and bile in healthand disease.* Molecular Aspects of Medicine, 3ra edición, 1-12.

Luz C., Calpe J., Quiles J.M., Torrijos R., Vento M., Gormaz M., Mañes J., Meca G. (2021). *Probiotic characterization of Lactobacillus strains isolated from breast milk and employment for the elaboration of a fermented milk product.* Journal of Functional Foods, 84.

MacKenzie D.A., Jeffers F., Parker M.L., Vibert A., Bongaerts R.J., Roos S., Walter J., Juge N. (2010). *Strain-specific diversity of mucus-binding proteins in the adhesion and aggregation properties of Lactobacillus reuteri.* Microbiol., 156, 11, 3368-3378.

Mandadzhieva, T., Ignatova-Ivanova, T., Kambarev, S., Iliev, I., & Ivanova, I. (2011). *Utilization of different prebiotics by Lactobacillus spp. and Lactococcus spp.* Biotechnology and Biotechnological Equipment, 117–120. https://doi.org/10.5504/bbeq.2011.0132

Margalho L.P., Feliciano M.D., Silva C.E., Abreu J.S., Piran M.V., Sant'Ana A.S. (2020). *Brazilian artisanal cheeses are rich and diverse sources of nonstarter lactic acid bacteria regarding technological, biopreservative, and safety propertie Insights through multivariate analysis.* J. Dairy Sci. 103, 7908–7926.

Merritt, M.E., Donaldson, J.R. (2009). *Effect of bile salts on the DNA and membrane integrity of enteric bacteria.* J. med. microbial., 58(12), 1533-1541.

Moussaid, S., Bouhlal, O. Benali, A., Rachid, M., Ounine, K., Maadoudi, E. (2021). *Technological characterization of indigenous lactic acid bacteria from Moroccan camel milk for their potential use as starter or adjunct culture.* Folia Microbiologica, 66(5), 761-774.

Olganero, G. (2015). *Functional Foods: Dietary Fibers, Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics.* Encyclopedia of Food Grains: Second Edition, 2–4, 11–16. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00245-X

Ohland, C. L., & Macnaughton, W. K. (2010). *Probiotic bacteria and intestinal epithelial barrier function.* Gastrointestinal

and Liver Physiology, 298, G807–19.
Parra, R. (2010). *Lactic acid bacteria: functional role in the foods.* Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1, 8, 93-105.
Plaza, M., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2008). *In the search of new functional food ingredients from algae.* Trends in Food Science and Technology, 19(1), 31–39. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.07.012
Ramírez, J., Rosas, P., Yanira, M., Velázquez, M., Ulloa, J., Arce, F. (2011). *Bacterias lácticas: importancia en alimentos y sus efectos en la salud.* Revista Fuente, 7, 1-16.
Sáez, G., Flomenbaum, L., Palacios, J., Zárate, G. (2014). *Technological evaluation of relevant microorganisms for the food industry.* IDITeC, 3, 53-62.
Swennen, K., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2006). *Non-digestible oligosaccharides with prebiotic properties.* Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 46(6), 459–471. https://doi.org/10.1080/10408390500215746
Taboada, N., Nuñez, M., Medina, R., López, M. (2014). *Characterization and technological properties of lactic acid bacteria isolated from traditional Argentinean goat´s milk products.* Food Biotechnology, 28, 123-141.
Taranto, M., Fernández Murga, M., Lorca, G., & Valdez, G.D. (2003). *Bile salts and cholesterol induce changes in the lipid cell membrane of Lactobacillus reuteri.* J. appl. microbiol., 95(1), 86-91.
Terzic, A., Veljovic, K., Tolinacki, M., Zivkovic, M., Lukic, J., Lozo, J., Fira, D., Jovcic, B., Strahinic, I., Begovic, J., Popovic, N. Miljkovic, M., Kojic, M., Topisirovic, L., Golic, N. (2020). *Diversity of non-starter lactic acid bacteria in autochtonous dairy products from Western Balkan countris – Technological and probiotic properties.* Food Research International, 109494.
Tomaro-Duchesneau, C., Jones, M. L., Shah, D., Jain, P., Saha, S., & Prakash, S. (2014). Cholesterol Assimilation by Lactobacillus *Probiotic Bacteria: An in Vitro Investigation.* BioMed Research International, 2014. https://doi.org/10.1155/2014/380316
Uroic, K., Nikolic M., Kos B., Pavunc A.L., Beganovic J., Lukic J.,

Jovcic B., Filipic B., Miljkovic M., Golic N., Topisirovic L., Cadez N., Raspor P., Suskovic J. (2014). *Probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from Croatian fresh soft cheese and Serbian white pickled cheese.* Food Technology and Biotechnology, 52, (2): 232-241

Van Tassell M.L., Miller M.J. (2011). *Lactobacillus adhesion to mucus.* Nutrients 3, 613–636.

Wang, J., Zhang, H., Chen, X., Chen, Y., Menghebilige, & Bao, Q. (2012). S*election of potential probiotic lactobacilli for cholesterol-lowering properties and their effect on cholesterol metabolism in rats fed a high-lipid diet.* Journal of Dairy Science, 95(4), 1645–1654. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4768

VALOR AGREGADO A LA CARNE CAPRINA DE REFUGO MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE SNACK

Lara V. Lescano Farias[1], Kimey Elsener[1], Bruno Zanni[1], Julia Luna[1], Maria E. Ninich[1], Maria S. Pacheco[1], Aylen Acosta[1], María M. Paz[1], Miriam T. Nediani[1]

Resumen

Los objetivos de este proyecto fueron: Elaborar snacks a base de carne caprina con dos formulaciones S1 y S2 y evaluar sus características físico-químicas y microbiológicas. Los snacks se elaboraron utilizando carne caprina de un ejemplar macho castrado, de raza Anglo-Nubian, mediante un procedimiento similar a la obtención de charqui, los cuales fueron secados en estufa convectiva a flujo de aire caliente a 70ºC, durante 24hs. Se determinaron pH, actividad del agua, humedad y cenizas al producto final. El análisis microbiológico se realizó utilizando las técnicas establecidas en la legislación vigente, determinándose aerobios mesófilos totales, coliformes totales y fecales,

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Departamento Ingeniería de Procesos. Cátedra de Carnes y subproductos. Santiago Estero del Estero, Argentina

Escherichia coli, estafilococos coagulasa positivos, Salmonella sp., Listeria monocytogenes, anaerobios sulfito-reductores, hongos y levaduras. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los Snacks tanto en los parámetros fisicoquímicos como microbiológicos, observándose que S2 presentó valores por debajo de los considerados como indicativos de actividad microbiana indeseable, enmarcándose como un producto de calidad higiénico-sanitaria.

Palabras clave: carne, caprina, snack, valor

1. Introducción

1.1 Situación actual de la explotación caprina a nivel nacional y provincial

Santiago del Estero representa el 12 % del stock caprino nacional, posicionándose en el cuarto lugar (luego de Mendoza, Neuquén y Chaco) y en el primero a nivel regional. Entre 2015 y 2019 el stock descendió un 7 %. La provincia representa el 25 % de la faena nacional. En 2018 se faenaron formalmente casi 29 mil cabezas caprinas. Sin embargo, existe un importante número de cabezas que se faenan informalmente. Las exportaciones resultan marginales. La provincia posee 3.960 establecimientos (último dato a marzo de 2017), de los cuales el 46 % posee majadas que no superan las 100 cabezas (SENASA, 2022).

La ganadería caprina, en la provincia de Santiago del Estero, se divide en función de dos zonas diferenciadas por las características del suelo y del clima. Una es la zona de secano y otra es el área de riego del río Dulce. Los departamentos que concentran el mayor porcentaje de stock ganadero son Moreno y Alberdi, que conjuntamente representan el 30 % del stock, seguidos de Aguirre y Rivadavia (6 % respectivamente).

La actividad caprina es realizada mayoritariamente por agricultores familiares con un manejo extensivo, con escasa suplementación invernal, utilizándose el aprovechamiento del monte como principal sustento nutricional y adicionándose maíz o sorgo en épocas y a categorías específicas. Podemos decir que el pie de cría autóctono, es de cabras criollas con incorporaciones de las razas Anglo Nubian y Boer, que debido a la constante inserción de machos se han ido mestizando los rebaños, de manera de que el actual pie de cría es una cruza absorbida de estos animales con el criollo. Los rebaños en general poseen entre 60-100 cabras en sistemas extensivos, con pastoreo a monte sin límites definidos, un manejo de rodeo básico, con servicio continuo y no estacionado. Su infraestructura, es en general precaria pero funcional, contando con un corral general de encierre nocturno, corral de cabritos, que no siempre cuentan con techo. Se destaca la capacidad de adaptación de este tipo de rumiantes menores a ambientes agroecológicos difíciles para el desarrollo de actividades agropecuarias por la condición de aridez y desertificación.

La sanidad de las majadas se limita principalmente a desparasitaciones y eventualmente antibióticos en caso de enfermedades ya detectadas, agudas a graves. Se cuenta en general con la asistencia sanitaria del Departamento de Rumiantes Menores del Gobierno de la Provincia, y con apoyo técnico de la Secretaría de agricultura familiar campesina indígena (SAFCI) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

La comercialización se realiza fundamentalmente a través de canales informales. Se conoce que las categorías caprinas comercializadas en nuestro mercado nacional son los cabritos/as, cabrilla/chivitos y chivo/machos cabríos/chivato y las categorías de menor comercialización son el capón y la cabra adulta (más de tres pariciones). El cabrito no posee un mercado concentrador de referencia, sino que se vende «en pie» en el establecimiento productor. Existen dos mataderos frigorí-

ficos en la provincia, que cuentan con habilitación de tráfico federal y para exportación, uno en la ciudad de Ojo de Agua y otro en Lavalle (Dirección Nacional de Control Comercial Agropecuario, 2022).

El uso de carne de animales adultos de menor valor comercial que reúne condiciones adecuadas que indican su buen estado de salud y corporal, que garanticen la buena calidad de la materia prima para la elaboración del producto snack, permitiría dar valor agregado a este tipo de animales. Un animal adulto presenta un músculo con contextura compacta y propenso a una buena deshidratación, debido a las propiedades funcionales de las proteínas de la carne y sus modificaciones por las condiciones ambientales, que influyen sobre las características sensoriales de un producto alimenticio y determinan el comportamiento del mismo durante su elaboración y conservación. Las proteínas miofibrilares son los principales componentes funcionales y estructurales de los productos cárnicos. Ellas determinan las características de textura, retención de agua y la apariencia de estos productos (Hermansson A. y M. Lucisano (1982)).

Una característica del animal adulto es que presenta una dentadura desgastada, lo cual no le permite alimentarse bien, por lo tanto, son animales de poca grasa, situación que es favorable para la elaboración de un producto Snack. Se reporta que, de cada animal sacrificado, se pierde un promedio aproximado de 15 kg de pulpa de carne al deshuesar una hembra adulta Anglo Nubian (Herrera, 2005; García et. al., 2008), lo cual representa un valor importante para ser recuperado y utilizado en la elaboración de productos cárnicos. Algunos autores informaron que la carne de animales más pesados y sobre todo de mayor edad es más adecuada para ser procesada y tratada con sales de curado y/o ahumada o secada (Webb et. al., 2005; Nediani et. al., 2017).

1.2 Conocimiento general sobre snack a nivel internacional y nacional

1.2.1 Internacional

En Santiago de Chile se procesa el charqui de camélidos, un producto propio de la cultura Aymara que permite, a través de su procesamiento en invierno, conservarlo para disponer de él en otros periodos del año. La selección de los animales utilizados en la elaboración de charqui estaría relacionada con el tipo de animales presentes en los rebaños. Las principales etapas del proceso, que corresponden al salado y secado, no se diferencian entre ganaderos y se caracterizan por utilizar técnicas simples y precarias. La utilización del charqui por los ganaderos estaría asociada a su uso como fuente de proteína en su alimentación, ya que se elaboraría principalmente para consumo familiar (Alache Díaz, 2013).

En los Estados Unidos de Norteamérica, en la actualidad, se conoce con el nombre Jerky, en un sentido genérico, a una gama de productos elaborados a base de carne salada en seco o marinada y deshidratada en secadores. Para la elaboración del Jerky se utiliza carne de diversas especies, aunque principalmente se usa la de vacuno, existiendo variabilidad considerable en las condiciones del procesado (Hegenbart, 1999). Estos productos cárnicos tienen en común el que están listos para su consumo sin previo tratamiento térmico (en los Estados Unidos se dice que son dryed-meat snack food), convenientemente envasados, son estables a temperatura ambiente y son ricos en proteína. Por estos motivos, su consumo es especialmente adecuado para deportistas, viajeros y montañeros (Albright et al., 2000, Choi et al., 2008).

1.2.2 Nacional

Luego de una búsqueda exhaustiva de información sobre el tema en estudio, snack de carne, no se encontraron divulgaciones científicas sobre el mismo en Argentina. Solo se encontraron artículos periodísticos que cuentan experiencias de empresarios que lanzaron al mercado un snack cárnico a base de carne vacuna.

En el 2020 se informó en la página Web www.vinosmanos.com sobre la experiencia de dos empresarios y de una investigadora sobre el tema.

Con el título "El País del asado le da la bienvenida al charqui, la carne Prêt-Â-Porter", se menciona sobre un producto snack a base de carne vacuna en fetas parecido al jamón crudo seco, salado o ahumado, ideal para mordisquear por la calle o como refuerzo proteico para deportistas de alto rendimiento y lo comparan con un producto masivo que se elabora en EE. UU, El beef jerky. Sin conservantes, ni químicos, de sabor intenso y salado, en algunos casos ahumado y picante, puede sonar como lo opuesto a un paquete de Lincoln, pero de a poco ya no será tan raro en la Argentina merendar un cacho de nalga vacuna. Al menos a eso apuestan quienes lo producen, como Cultura Cárnica, que trabajaron durante un año junto con el Instituto Industrial de Tecnología Industrial (INTI) para desarrollar el producto elaborado y lanzado en el año 2020. Cuentan que "Son productores ganaderos de establecimiento "Los Juancitos", en la zona de Balcarce. También se ha informado de otra marca exclusiva de charqui, el "Charquiquí".

La Argentina tiene su propia tradición de charqui, sobre todo en las zonas andinas. Pero ese charqui tradicional autóctono no funciona como snack. Presenta una textura de mayor dureza y se utiliza para comidas elaboradas. En altura, se seca durante el día al sol y por la noche se congela. Al día siguiente pasa de congelado a vapor, dejando una carne más dura y con más sabor por no usar el calor directo para secarlo.

En agosto de 2021 se reportó en www.infocampo.com.ar, sobre la asistencia del INTI a la empresa familiar "Los Juancitos" que se dedica desde hace años a la ganadería (Angus y Hereford) en la localidad bonaerense de Balcarce, para el desarrollo de un producto Snack cárnico de nombre "Cultura Cárnica" y que tiene potencial exportador. En este reporte se informa que este producto es una evolución del "charqui" o "charque" que hacían los abuelos para poder agregar valor a su producción, elaborar y comercializar un alimento en base a carne. El resultado de los emprendedores argentinos y el trabajo de los especialistas del INTI fue un snack de carne, rico en proteínas con alto potencial exportador, fácil de transportar y que se puede consumir en cualquier lugar. Al principio habían elaborado un snack, pero carecía de vida útil y la inocuidad no estaba estandarizada, entre otras características que se debían corregir. Luego del apoyo y asesoramiento del INTI, lograron hacer un producto industrializado, más tierno, más sabroso y muy seguro de consumir ya que se cumplen los ciclos de cocción que aseguran la inocuidad del producto.

El Código Alimentario Argentino (CAA), regula los productos alimenticios que se pueden elaborar y comercializar a nivel nacional y éste no define el Snack cárnico, como tal, pero si otro producto similar como el "charqui".

Artículo N° 292: "Se entiende por Charque o charqui, la carne magra de las especies de consumo permitido, secada al aire, al sol, con calor artificial o al humo, con adición de sal. No se incluye en esta designación el preparado sin sal".

También se encuentra en el CAA las definiciones de otros productos similares:

Artículo N° 289: Se entiende por Cecina, una salazón preparada con carne magra de cerdo o vacuno salada y secada al aire, al sol, al humo u otro medio aprobado.

Artículo N° 290: Se entiende por Chalona, una salazón preparada con carne de ovino, salada y secada al aire, al sol, al

humo u otro medio aprobado.

Artículo 291: Se entiende por Tasajo, una salazón preparada con carne vacuna, salada y secada al aire.

En la Argentina existen investigaciones con respecto al uso de Charqui elaborado con diferentes especies cárnicas. Miguel Condori, (2002), informa que, en el altiplano sudamericano, que incluye al norte argentino, se consume habitualmente carne deshidratada de vacunos y camélidos, producto que se conoce con el nombre de charqui. El charqui elaborado en forma tradicional se obtiene colgando grandes trozos de carne de espesor delgado, previamente salados con salazón seca, bajo la sombra del alero de una casa o un árbol frondoso. Este tipo de charqui requiere varios días de exposición a las condiciones ambiente, tiempo que suele ser del orden de dos semanas. Existe una variante de este producto seco que corresponde al secado de carne con huesos, por ejemplo, costillares, que se comercializa con el nombre de chalona. El tiempo que se requiere para la producción de chalona es mucho mayor que para el charqui. En Salta y Jujuy, la elaboración de charqui de llama es menos habitual que el de carne de vaca, pero presenta buenas perspectivas de comercialización ya que es un alimento nutritivo con niveles reducidos de colesterol, siendo saludable su consumo.

Con este trabajo se intenta fomentar la producción del snack de carne caprina con valor agregado y su comercialización. Ponemos de relieve que este producto se produce con cortes de primera calidad, eliminando al máximo la cantidad de grasa. Además, crea otra opción para la comercialización de un producto regional, elaborado a base de carne caprina adulta que es de bajo precio comercial, lo cual produciría un desarrollo económico e innovador en la industria cárnica caprina de nuestra región. Es por ello que los objetivos de este trabajo fueron: Elaborar snack a base de carne caprina en condiciones higiénico-sanitarias utilizando diferentes formulaciones y

analizar microbiológicamente los mismos a fin de verificar su aptitud para el consumo.

2. Materiales y Métodos

2.1 Elaboración del snack caprino

2.1.1 Etapas de procesamiento

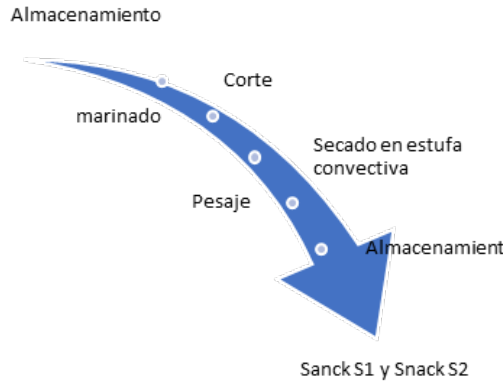


Figura 1. Diagrama de flujo de las etapas de la elaboración de la salazón.

2.1.1.1 Almacenamiento

Al inicio del proceso de elaboración se realizó la observación y corte de la res caprina, como se muestra en la Figura 2. Al inicio del proceso de producción, se realizó el prolijado o acondicionamiento de la carne retirando grasa y tendones que pudieron estar presentes; se pesó en balanza electrónica marca SYSTEL; se registró el peso y el pH con tiras de pH marca Universal Test Paper (rango de pH1-14). En cada tiempo muerto del proceso

de producción, la carne se almacenó en refrigeración en un rango de temperatura de 4ºC a 7ºC en heladera carnicera con motor EMBRACO de 1 HP, 220 Volt, 50/60 Hz.



Figura 2. Observación y corte de la res caprina

2.1.1.2 Corte de filetes

El corte de la carne se obtuvo manualmente con ayuda de cuchillos y tablas de PVC higienizados y desinfectados. El corte homogéneo entre las distintas piezas se realizó en filetes delgados de espesor predeterminado en la misma dirección que las fibras musculares con el fin de mejorar la calidad del proceso de secado. La homogeneidad de las piezas se logró con un modelo de cada forma, tira o ya sea en cuadrado, midiendo con regla a precaución las demás porciones de carne.

2.1.1.3 Marinado

El marinado de las piezas cortadas se logró exponiendo la carne a condiciones de salazón, con adición de especias y sal común en recipientes plásticos. Se usaron dos recetas, preparadas por los alumnos, como se muestra en la Figura 3, S1 con el procedimiento de salazón seca y S2 con el procedimiento de salazón húmeda:

Snack	Forma	Formulaciones
S1	Tiras enruladas	Salazón seca 1 kg sal 50 g pimienta negra 80 g orégano 60 g pimentón
S2	Cuadrados	Salazón húmeda 1 kg sal 50 g pimienta negra 200 ml salsa de soja

Tabla 1. Distintas formulaciones para el Snack 1 (S1) y Snack 2 (S2).



Figura 3. Preparación de la premezcla

Las piezas se acomodaron en camas de sal, como se muestra en la figura 4. El tiempo de exposición a la salazón fue de 3 a 5 días, dependiendo la velocidad de secado de las muestras en almacenamiento refrigerado.

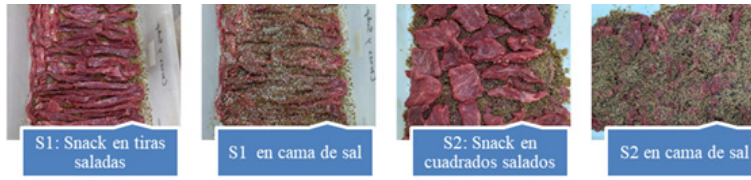


Figura 4. Filetes en camas de sal

2.1.1.4 Secado en estufa convectiva

El secado de las piezas de carne se realizó en estufa de circulación forzada, marca DALVO, modelo DHR/F/I, serie PED potencia 2600 W. El secado consistió en acomodar en cuatro bandejas las piezas saladas ubicadas paralelamente unas de otras, dos bandejas por forma de pieza cárnica como se muestra en la figura 5, y éstas fueron expuestas al flujo de aire caliente a 70ºC de temperatura, el tiempo de exposición depende de cada tipo de corte de carne. Antes de iniciar el secado, se pesaron las bandejas identificadas en la balanza electrónica marca SYSTEL.

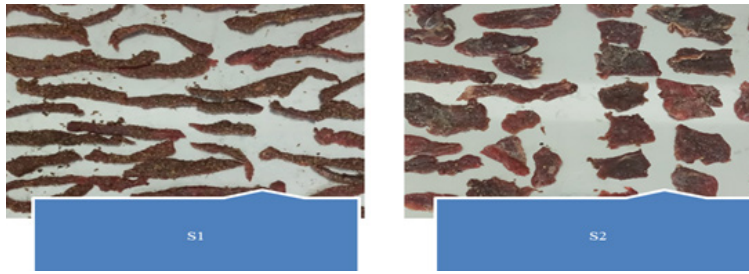


Figura 5. Snacks marinados acomodados en bandejas para un posterior secado.

2.1.1.5 Pesaje

Al finalizar el secado, se pesaron las bandejas identificadas en la balanza electrónica marca SYSTEL y por diferencia de peso, se obtuvo el peso de cada lote.

2.1.1.6 Almacenamiento después del secado

El producto seco se almacenó con cuidado en bolsas de vacío, como se muestra en la Figura 6. El vacío se logra con la envasadora Turbosaver TS 1100, con grado de vacío de -0,6bar, y

con bolsas de micronaje 80 e identificadas. Posteriormente, se pesó y registraron los datos.



Figura 6. Muestras de snacks en bolsas de vacío

2.2 Determinaciones fisicoquímicas

2.2.1 Determinación de pH

A cada muestra de snack caprino, S1 y S2, se le realizó la determinación de pH con el pHmetro PH700 con electrodo de punta de lanza LabSen 761, Apera.

2.2.2 Determinación de actividad de agua (aw)

Para la medición de la aw del snack, se usó el instrumento Rotronic Instrument, corp. sobre muestras picadas con cuchillo colocadas en el porta muestras hasta un espesor de 5mm.

2.2.3 Determinación de humedad

Para la determinación de humedad se usó el método indirecto, eliminación térmica de agua y su determinación por pérdida de peso a través de la técnica AOAC 27.3.06 (1995)

2.2.4 Determinación de Cenizas

Para la determinación de cenizas se usó el método de incineración en mufla a 550°C con la técnica AOAC 32.10.5 (1995).

2.3 Determinaciones microbiológicas

2.3.1 Preparación de las muestras

Se siguió la metodología establecida por la ANMAT según CAA mezclando 25 g de Snack cárnico con 225 mL de agua de peptona tamponada al 0,1% estéril (Britania, Buenos Aires, Argentina) y homogeneizada durante 2 min en Stomacher (Lab blender 400, Seward Medical, Londres, Reino Unido). Se realizaron diluciones decimales apropiadas de las muestras, se prepararon y se sembraron por triplicado en medios selectivos para enumerar la microbiota.

2.3.2 Medios y cultivos y técnicas utilizadas

Se utilizaron los siguientes medios y condiciones de incubación: (a) agar recuento en placa (PCA, Britania) para bacterias aerobias mesófilas totales (AMT) (37° C; 48 h) (ICMSF, 1998), (b) coliformes en caldo de lauril sulfato (Britania) por la técnica de NMP (Número más probable) (30° C, 48 h) y confirmado en caldo bilis lactosa (2 %) verde brillante incubados durante 24 a 48 h, (ICMSF, 1998) (c) en caldo EC (Britania) (45 C, 48 h) para coliformes que crecen a 45 °C generalmente asociado con E. coli enterohemorrágica (ICMSF, 1998),(d) Caldo Telurito Manitol Glicina/ 37 °C/ técnica NMP (37° C; 72 h) para estafilococos coagulasa positivos (CPS) ISO 15213:2003, (e) Medio de agar H & L (Britania) para hongos y levaduras (28 C; 7 días) ISO 21527-2:2008, (f): Caldos de pre-enriquecimiento y de enriquecimiento, Caldo lactosado, Selenito Cisteína y tetrationato verde brillante (43 C; 24 h) y medio de agar sulfito de bismuto, agar verde brillante y agar Salmonella-Shigella (SS) (35 C; 48 h), BAM–FDA:2007 para determinación de Salmonella, (g) caldo lactosado como medio de pre-enriquecimiento y medio Oxford modificado agar base (Britania) técnica establecida

por USDA/FSIS (37 °C; 24h) para determinación de Listeria, (e) Agar Sulfito Hierro (37 °C; 24 – 48h) ISO 15213:2003, técnica de siembra en doble capa para anaerobios sulfito-reductores.

2.4 Análisis estadístico

La comparación entre unidades experimentales para cada variable medida se realizó mediante análisis de la variancia ANOVA y el test de Duncan con un nivel de significación $p < 0,05$ a través del programa estadístico Infostat (2020) (Universidad de Córdoba, Argentina).

3. Resultados y Discusión

3.1 Elaboración del producto snack de carne caprina

Después de realizar el acondicionamiento de la carne caprina, se obtuvieron 1,1 kg de desperdicio, materia grasa y tendones no aptos para el proceso del Sanck. En el marinado se evidenció la exudación esperada debida al propio peso del producto encimado y al proceso bioquímico de la deshidratación causada por la sal común. El tiempo de secado resultó en 24 horas a 70ºC, pero por costos energéticos, podría ser lógico en casos futuros considerar tiempos menores de secado. No obstante, varios investigadores han concluido que el tiempo mínimo necesario de un tratamiento térmico a 68.5°C para asegurar la inocuidad y ausencia de E. coli 0157:H7, Listeria mococytogenes y S. aureus es de 4 horas (Campuzano y Jaramillo Dávila, 2015). Se puede observar en Tabla 2, el pesaje final después del secado y pérdida de peso de S1 y S2.

Snack	Peso después del secado (g)	Diferencia de peso (g)
S1 (tiras)	740	70
S2 (cuadrados)	620	80

Tabla 2. Pérdida de peso para ambas formulaciones S1 y S2

Para todas las determinaciones tecnológicas y fisicoquímicas se empleó estadística descriptiva, expresada como promedios y desviaciones estándares. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 3:

Parámetros	Snack	
	S1	S2
pH	5,78 ± 0,04 ^{A}	5,77 ± 0,04 ^{A}
a_w	0,31 ± 0,01 ^{A}	0,55 ± 0,01 ^{B}
% Hs	3,24 ± 0,12 ^{A}	10,13 ± 0,39 ^{B}
% Cenizas	21,47 ± 4,39 ^{A}	39,63 ± 3,02 ^{B}

Tabla 3. Valores de pH, aw, %Hs y % Cenizas de S1 y S2.

Test Duncan con α=0,5 (pH aw) y Test de Tukey con α=0,05 (% Hs % Cenizas) (Valores medios ± desviación estándar). Medias con una letra mayúscula común no son significativamente diferentes.

La carne caprina registró un valor de pH inicial de 5 y la temperatura alcanzada en el almacenamiento refrigerado fue de 1 °C.

Analizando los datos arrojados de valor de pH de S1 y S2, muestran una baja dispersión de los datos sin diferencia signi-

ficativa entre el proceso usado en cada snack. Pero, comparando a S1 y S2 con otros datos de pH de diferentes snacks de especies cárnicas, existe similitud pero ligeramente inferior al valor de SA, de carne de alpaca (Mamani-Linares y Cayo, 2011).

Parámetros	Snack				
	SB	SC	SP	SLl	SA
pH	5,65	5,73	**	5,78	5,84
a_w	0,73	0,7	0,77	0,65	0,62
% Hs	29,7	**	**	19,03	15,07
% Cenizas	4,03	5,03	5,17	8,31	29,96

Datos referenciales del trabajo de Mamani-Linares y Cayo del 2011.
(**) No reporta datos.

Tabla 4. Valores de pH, aw, % Hs y % Cenizas de SB (Snack Bovino), SC (Snack cerdo), SP (Snack pavo), SLl (Snack llama), SA (Snack alpaca)

La actividad del agua describe el estado de equilibrio termodinámico del snack, éste debe ser estable para evitar cambios de calidad durante su almacenamiento y ser menor de 0,65 para una inhibición de crecimiento microbiológico.

Los valores de aw entre S1 y S2 muestran una diferencia significativa con prueba de Duncan con α=0,005, esto es factible por una superficie de contacto a la transferencia de masa y calor diferente respecto a las formas S1(tiras) y S2 (cuadrados), por lo que la exposición al pasaje del aire de secado en contacto con la muestra es diferente, viéndose más afectada S1 con mayor superficie de contacto. Los valores de aw respecto a los valores arrojados por los autores Mamani-Linares y Cayo en el 2011 secado en forma artesanal bajo condiciones climáticas en la zona del Altiplano de Oruro, Bolivia, presentan una

marcada diferencia, siendo los snacks S1 y S2 los de valor de aw más bajo. Sin embargo, todos los tratamientos cumplieron con el parámetro establecido de aw para la comercialización de charqui menor a 0.85 (García, 2009 citado de Campuzano y Jaramillo Dávila, 2015).

Para las determinaciones fisicoquímicas también se empleó estadística descriptiva, expresada como promedios y desviaciones estándares. El contenido de humedad, según la USDA (2012), no asegura la inocuidad del producto, por lo que es la variable de menor peso. No obstante, Lim et al. (2014) explicaron la importancia del contenido de agua en la textura de charqui (Campuzano y Jaramillo Dávila, 2015). Los datos de la determinación de humedad expresada en base seca, S1 y S2, muestran baja dispersión de los datos. Y valores de % Hs en S1 y S2, resultan concordantes con el parámetro tecnológico de aw que es bajo en ambos casos. Respecto a los datos de % Hs entre S1 y S2 presentan una diferencia significativa, y son inferiores respecto a los demás datos, SB , SC , SP, SLl , SA . Por último, respecto a el parámetro fisicoquímico determinación de % de cenizas, existe diferencia significativa entre ellas y con el resto de los datos de las demás especies SLl, SB, SC, SP, estando más próximo al snack de carne de alpaca.

Microorganismo	S1	S2
AMT[b]	4,29	2,11
Colif. a 30 °C[a]	$4 \pm 0{,}42^{A}$	$<3^{B}$
Colif. a 45 °C[a]	$4 \pm 0{,}26^{A}$	$<3^{B}$
H y L[b]	$5{,}14 \pm 0{,}19^{A}$	$4{,}8 \pm 0{,}15^{A}$
St. aureus[a]	1100^{A}	$<3^{B}$
Salmonella spp./ 25 g	P	A

Listeria monocytogenes / 25 g	A	A
Anaerobios sulfito reductores [b]	$<10^{A}$	$<10^{A}$

Test: Tukey alfa= 0. Valores medios ±desviación estándar. Medias con una letra mayúscula común no son significativamente diferentes ($P \leq 0,05$); a: NMP/g b: Log (UFC/g); A: ausencia; AMT (aerobios mesófilos totales).

Tabla 5. Análisis Microbiológico

En la Tabla 5, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de los snacks, donde se observa que el snack S1 presentó mayores recuentos de AMT, coliformes a 30°C y 45°C y Staphylococcus aureus que S2. Los recuentos de AMT fueron de 4,29 Log UFC/g y 2,11 Log UFC/g para S1 y S2 respectivamente, mientras que los recuentos de coliformes a 30°C fueron de 4 NMP de células viables/g para S1 y menos de 3 NMP células viables/g para S2, valores que coinciden con los de coliformes a 45°C, encontrándose diferencias significativas ($p<0,05$) entre ambas muestras para estos tres tipos de microorganismos. Los valores de recuentos para Staphylococcus aureus fueron 1100 y menor a 3 NMP de células viables /g para S1 y S2 respectivamente, encontrándose diferencias significativas ($P<0,05$) entre muestras. Por otro lado, no se detectó Salmonella en ambas muestras, mientras que Listeria monocytogenes solo se detectó en S1. En cuanto a los recuentos de microorganismos anaerobios sulfitos reductores fueron menores a 1 unidad logarítmica en ambas muestras. Los mayores recuentos y la presencia de Listeria monocytogenes en S1 pueden deberse a la mayor manipulación en las etapas de elaboración del Snack S1, deshuesado, cortado y enrulado utilizando palitos brochet. Si bien la legislación Argentina vigente, a través del CAA, no estipula valores microbiológicos límites para estos tipos de productos, se compararon los mis-

mos con productos similares elaborados en otros países con otras especies de animales. Salvá y Mateo, (2018) encontraron valores similares en cuanto a AMT, mientras que para el caso de coliformes y Staphylococcus aureus reportaron valores por debajo de los encontrados en este estudio para charqui deshilachado y entero de alpaca peruana. Ayala, (2018) encontraron, en charqui de llama boliviana, valores similares de AMT, mientras que reportaron ausencia de coliformes y Salmonellas en charqui secado al sol y en secadero solar. Yalcin y Şeker (2016) observaron que la reducción del contenido de agua en carnes es más efectiva que altos niveles de sal para disminuir el crecimiento de AMT, Staphylococcus aureus, hongos y levaduras. Similares resultados se han encontrado en cecina de vacuno. Por otra parte, Lara et al. (2003), comprobaron que valores de actividad de agua entre 0,70 y 0,75, inhibieron el crecimiento de Staphylococcus aureus enteropatógenos en charqui brasileño de vacuno.

4. Conclusiones

El snack caprino estudiado se caracterizó por tener un nivel alto de contenido de cenizas, una baja actividad de agua y un contenido de humedad final bajo. Las características fisicoquímicas presentaron similitud con los valores reportados de charqui de bovino, cerdo, pavo, llama y alpaca.

Con las condiciones de marinado y conservaciones estudiadas, el snack caprino logró un pH que es aceptable como un alimento tipo colación apto para el consumo humano y que además le permitirá tener un tiempo prolongado de conservación en góndola.

Respecto a la técnica de secado, se logró obtener un producto de apariencia, textura, sabor y funcionalidad para ser utilizado además como ingrediente en diversas recetas tradicionales.

En cuanto al análisis microbiológico, los resultados obtenidos indicaron, que el snack S1 no cumplió con los estándares de calidad higiénico-sanitaria requerida, mientras que S2 presentó valores aptos para el consumo. El presente estudio contribuyó a incrementar la escasa literatura científica referente al charqui caprino.

Cabe destacar que el trabajo fue realizado en su totalidad por alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, aportando mayor experiencia y desarrollando habilidades propias de una formación académica y de investigación como de trabajo grupal.

Referencias

Alache Díaz (2013). *Descripción del proceso de elaboración tradicional, uso y consumo de charqui de camélido en el altiplano chileno de la provincia de Parinacota.* NC repositorio.uchile.cl

Albright, S. N, Kendall, P. A., & Sofos, J. N. (2000). *Sensory properties of beef Jerky processed under various conditions.* En Proceedings of IFT annual meeting, Session 11, June 10–14, Dallas, TX, USA.

Allen, K. D., Cornforth, D., Whittier, D., Vasavada, M. & Nummer, B. (2007). *Evaluation of high humidity and wet marinade methods for pasteurization of jerky.* Journal of Food Science, 72, 351-355.

AOAC International (2005). *Official methods of analysis of AOAC International.* AOAC International

Ayala Vargas, C. (2018). *Caracterización del proceso de transformación y conservación de la carne de camélidos (charqui).* Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales. Versión impresa, ISSN 2409-1618.

Campuzano, D. C. y Jaramillo Dávila, J.F (2015) *Efecto del tiempo de secado y el tipo de músculo sobre las características físico-químicas y sensoriales de carne seca (Charqui).*

Choi, J., Jeong, J., Han, D., Choi, Y., Kim, H., Lee, M. et al. (2008). *Effects of pork/beef levels and various casings on quality properties of semi-dried jerky.* Meat Science, 80, 278-286.

Condori Inenco, 2002. *Diseño y Construcción de Secadores Solares Destinados a la Producción de Carne Deshidratada.* Instituto UNSa-CONICET, Universidad Nacional de Salta, Vol. 6, Nº 1, 2002. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

García, L.; Martínez, S.; Paz, M.; Roldan, N.; Díaz, J. (2008). *Rendimiento de faena de capones caprinos.* Actas del IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida – V Congreso de Ambiente y Calidad de Vida.

Garcia, L. (2009). F*unctional properties and utilization of high pH beef.* Tesis de doctorado. Universidad Texas A&M, Texas, Estados Unidos.

Hegenbart, S. (1999). *Snack meats.* Disponible en http://www.foodproductdesign.com/archive/1999/0199ap.html

Hermansson, A. y M. Lucisano (1982). *Gel characteristics- water binding of blood plasma gels and methodological aspects on the water binding of gel system*

Herrera D. R. (2005). *El salame de cabra.* Boletín Técnico Nº 1:16-23. www.produccion-animal.com.ar

International comission on microbiological specifications for foods ((ICMSF). *Microrganismos de los alimentos 1: técnicas de análisis microbiológico*. 1982. 2. ed. Zaragoga: Acribia, p 431

Lara, J. A. F., Senigalia, S. W. B., Oliveira, T. C. R. M., Dutra, I. D. S., Pinto, M. F., & Shimokomaki, M. (2003). *Evaluation of survival of Staphylococcus aureus and Clostridium botulinum in charqui meats.* Meat Science, 65(1), 609-613.

Lim, H.J., Kim, G.D., Jung, E.Y., Seo, H.W., Joo, S.T., Jin, S.K., y Yang, H.S. (2014). *Effect of curing time on the physicochemical and sensory properties of beef jerky replaced salt with soy sauce, red pepper paste and soybean paste.* Asian-Australas Journal Animal Science. 27(8):1174-1180.

Lyon, B.G., (1987). *Development of chicken flavor descriptive attribute terms aided by multivariate statistical procedures.* J. Sensory Stud. 2: 55-67.

Mamani-Linares, W., & Cayo, F. (2011). *Características físico-químicas del charqui de llama.* Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 22(4), 290-300.

Nediani, M. T., García, L., Saavedra, L., Martínez, S., López Alzogaray, S., y Fadda, S. (2017). *Adding value to goat meat: biochemical and technological characterization of autochthonous lactic acid bacteria to achieve high-quality fermented sausages.* Microorganisms, 5(2), 26.

Payano, I. U., Aylas, M. V. C., Luján, L. E. T., Eulogio, C. Q., & Gómez, E. A. (2022). *Efecto edad de alpacas huacaya en peso vivo, carne fresca, deshidratada, humedad, proteína, grasa y ceniza criadas en Pachacayo, Junín, Perú.* Yotantsipanko, 2 (2).

Reinke Mariana (2021). *Producto Snack cárnico de nombre "Cultura Cárnica"*, artículo disponible en www.infocampo.com ar.

Salvá, Bettit K. y Mateo, Javier (2018). *Contenido de aminas biógenas y calidad microbiológica del charqui de alpaca. Biogenic amine content and microbiological quality of alpaca charqui.* Journal of High Andean Research, 2018; 20(2): 179 – 188.

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (2022). *Caracterización de existencias caprinas.* Coordinación General de Sistemas de Gestión Sanitaria. Dirección Nacional de Sanidad Animal, República Argentina. https://www.argentina.gob.ar/senasa/caprinos-sector-primario

Torres, E., Pearson, A., Gray, J. & KU, P. K. (1989). *Lipid Oxidation in Charqui (Salted and Dried Beef).* Food Chemistry, 32, 257-268.

Torres, E. A., Shimokomaki, M., Franco, B. D., Landgraf, M., Carvalho, B. C. & Santos, J. C. (1994). P*arameters Determining the Quality of Charqui, an Intermediate Moisture Meat Product.* Meat Science, 38, 229-234.

Webb, E. C. (2014). *"Goat meat production, composition, and quality"*. Animal Frontiers, 4(4), pp. 33–37. doi: 10.2527

Weissfeld, Claudio (2020). *El país del asado le da la bienvenida al charqui, la carne pret-A- porter. art.* Disponible en https://vinomanos.com/2020/05/charqui/

Yalcin M.Y. y Seker M. (2016). *Effect of salt and moisture content reduction on physical and microbiological properties of salted, pressed and freezedried turkey meat.* LWT - Food Science and Technology Volume 68, Pages 153-159.

PROPIEDADES NUTRICIONALES, FÍSICAS Y TEXTURALES DE PANES LIBRES DE GLUTEN DE HABAS, MISTOL Y CHAÑAR

Natalia E. Lescano[1,2], Karina E. Costa Macias[1,2], Fernanda Quiroga[3], Pablo Ribotta[3] , Myriam E. Villarreal[1,2]

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar las propiedades nutricionales, físicas y texturales de los panes libres de gluten (LG) elaborados a partir de mezclas con harinas de haba (*Vicia faba*) (H), arroz (*Oryza sativa*) (A) y las harinas obtenidas a partir de los frutos de mistol (*Ziziphus mistol*) (M) y chañar (*Geoffroea decorticans*) (Ch). Los productos panificados obtenidos aportan proteínas (18 a 23 g/100g) y fibra dietaria total (10 a 11 g/100g).

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Departamento Académico de Ingeniería de Procesos. Cátedra de Fenómenos de Transporte. Santiago del Estero, Argentina.
2 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Santiago del Estero. Argentina.
3 Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Córdoba, Argentina

Los panes con mayores contenidos de fibra retrogradaron a menor velocidad que el pan control comercial (1,3 g/100g) y su aceptabilidad global (6,4/10) fue superior al pan control (5,2/10). Este estudio demostró que una adecuada combinación de las harinas permite diseñar formulaciones, de buen valor nutricional y textural que pueden ser destinadas a personas intolerantes al gluten.

Palabras clave: Panes libres de gluten, chañar, mistol, habas

1. Introducción

Desde la antigüedad, los productos alimenticios a base de cereales han sido fundamentales para la nutrición humana. Diversas variedades de trigo se han cultivado en la región mediterránea durante al menos 10.000 años y se han utilizado para la producción de pan (Catzeddu, 2019), lo cual lo ha convertido en un alimento milenario básico para un gran porcentaje de la población mundial (Ahlborn, Pike, Hess & Huber, 2005; Arranz-Otaegui, Carretero, Ramsey, Fuller & Richter, 2018). Aunque se han utilizado una gran variedad de granos, el trigo es el más empleado en panificación, debido a la presencia del gluten, proteína de bajo valor nutritivo, que posee la capacidad de retener aire en la matriz proteica durante el amasado y es responsable de la interacción proteína-almidón que proporciona propiedades viscoelásticas específicas a la masa.

El proceso de elaboración de pan tiene como principal objetivo convertir la mezcla de ingredientes en una estructura esponjosa (miga) a partir de la obtención de una masa con propiedades mecánicas apropiadas que producen durante el horneado, una pieza de pan expandida con una estructura de miga pareja (Ahlborn et al., 2005, Vázquez & Balzani, 2020).Al igual que el gluten, el almidón juega un papel importante en

la calidad panadera y la vida útil, ya que sufre una transición de fase (gelatinización) durante el horneado y retrogradación, durante el enfriamiento y almacenamiento, que deteriora su calidad en el tiempo debido a una re-asociación de las moléculas de almidón (retrogradación de la amilosa solubilizada y recristalización de las moléculas de amilopectina), dando lugar a un estado más ordenado o cristalino que provoca el endurecimiento del pan (Jia, Zhang, Shu, Li & Wu, 2007; Rocha Parra, Ribotta & Ferrero, 2015; Paciulli, Rinaldi, Cirlini, Scazzina & Chiavaro, 2016), transformaciones a las que se le suma un descenso gradual y consistente de la humedad en la miga y un incremento de la misma en la corteza del pan (Ahlborn et al., 2005; Gallagher, Kunkel, Gourmley & Arent, 2003; Marco & Rosell, 2008; Mariotti, Pagani & Lucisano, 2013; Ronda & Villanueva, 2017; Sciarini, 2011; Sciarini et al., 2012).

Si bien el gluten juega un rol importante en la obtención de panes de buena calidad elaborados a partir de trigo, avena, cebada o centeno (TACC), es un alérgeno que provoca, en determinados individuos genéticamente susceptibles, una enteropatía inmunomediada (Estévez, Ayala, Vespa & Araya, 2016; Khemiri, Khelifi, Nunes, Ferreira, Gouveia, Smaali & Raymundo, 2020; Kraft, Bierke, Renaudin, Ruëff, Hofmeier, Treudler, Pföhler, Hawranek, Poziomkowska-Gęsicka & Jappe., 2021). En este marco, la industria panadera LG (Libre de gluten) realiza una búsqueda permanente de harinas alternativas que permitan ampliar la formulación y desarrollo de panes aptos para el consumo de este sector de la población. Las formulaciones de estos productos generalmente siguen una combinación de harina ricas en almidones (harina de arroz "A", mandioca, maíz entre otras), grasas e hidrocoloides, incrementándose en los últimos años el enriquecimiento con proteínas y fibras (Naqash, Gani, Gani & Masoodi, 2017; Turkut et al., 2016; Jagelaviciute and Cizeikiene, 2021). Sin embargo, estos panes debido a la ausencia de gluten presentan estructuras de miga y corteza y propiedades

organolépticas pobres y son más propensos al envejecimiento (Gallagher, Kunkel, Gourmley & Arent, 2003; Carmela et al., 2016; Ribotta & Ferrero, 2014; Sciarini, Ribotta & Leon, 2010; Smith et al., 2010; Naqash et al., 2017, Arribas, Cabellos, Sánchez, Cuad rado & Guillamón, 2019), esto último es debido a que durante el almacenamiento del pan se observa una migración del agua desde la miga hacia la corteza. Este proceso afecta y deteriora, de manera sustancial, todas las características sensoriales y físicas del pan (Ribotta & Le Bail, 2007), por lo que la industria se enfrenta al desafío, en términos de tecnología y nutrición, de atender adecuadamente la creciente demanda de panes LG de alta calidad (Moroni, Dalbello, & Arendt, 2010). El estudio de este proceso de "envejecimiento" involucra la evaluación de variables macroscópicas, como el estudio de la disminución de la humedad en la miga y el aumento de la dureza de los panes y microscópicas, como el cambio en la entalpía de retrogradación.

Eliasson (2010) utiliza el término retrogradación para describir los cambios que ocurren en el almidón después de la gelatinización, generalmente durante un período de almacenamiento. Las transformaciones del almidón pueden observarse y analizarse a través de ensayos de calorimetría diferencial de barrido. El efecto de la combinación de harinas no tradicionales ricas en fibra, y proteínas que favorezcan la estructura de la miga, el manejo tecnológico de la masa y mejoren su valor nutritivo y perfil sensorial de los panes LG depende no sólo de la materia prima utilizada sino de su naturaleza, de la proporción empleada, de las propiedades funcionales, de los parámetros tecnológicos, entre otros aspectos (Sciarini, et al., 2010, Cappa et al., 2013, Tsatsaragkou et al.,2012, Turkut et al. 2016gluten free breads (GFBs, Calle, Benavent-gil & Rosell, 2020 y Morais, Cruz, Faria & Bolini, 2013), siendo muy difícil predecir el efecto real en diferentes formulaciones, lo cual hace necesario profundizar los estudios tendientes a obtener productos de calidad. En este contexto las harinas de Chañar (Ch), mistol (M) y

habas (H), resultan materias primas promisorias debido a sus buenos contenidos de Fibra Dietaria Total (FDT) (≈32 g/100g b.s., ≈21g/100g b.s. y ≈24g/100g b.s., respectivamente), minerales (≈5g/100g b.s., ≈5g/100g b.s. y ≈3g/100g b.s., respectivamente), proteínas (≈27 g/100g b.s.) aportadas por la harina de H y con potencial capacidad prebiótica de las harinas de M. Asimismo, estas harinas presentan propiedades físicas, funcionales y de "pasting" que aportarían a mejorar la humedad, viscosidad y textura final de los productos panificados elaborados a partir de ellas. El objetivo del presente capítulo fue formular panes LG de buena calidad nutricional a base de harinas de Ch, M, H y A y evaluar el efecto de las pre-mezclas de harinas sobre los atributos de calidad (volumen específico, estructura de miga, color, textura y características sensoriales) del producto final y el envejecimiento durante el tiempo de almacenamiento.

2. Materiales y métodos

2.1. Formulación de productos horneados salados

Las formulaciones para la elaboración de los productos horneados tipo pan de molde se presentan en la Tabla 1.

Componente	Formulaciones			C (control)
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	
A	20,9	20,9	20,9	Harina Arroz
H	10,5	10,5	10,5	Fécula de maíz
M	1,1	3,2	5,3	Fécula de arroz
Ch	12,6	10,5	8,4	Harina de mandioca
Albúmina	4,2	4,2	4,2	Huevo

Sal	1,1	1,1	1,1	Sal
Levadura	1,1	1,1	1,1	Levadura
Margarina	1,1	1,1	1,1	Margarina
Ac. Cítrico	0,16	0,16	0,16	Goma xántica
Agua	47,4	47,4	47,4	Agua

Tabla 1. Formulaciones de panes tipo molde.

Las proporciones de las harinas de M y Ch fueron modificadas en las distintas formulaciones, manteniéndose un valor total constante de 26 g/100g b.s. de ambas harinas. El resto de los ingredientes fueron constantes en todas las formulaciones.

Se empleó un pan tipo lactal, como pan control (C) adquirido en una panadería de productos LG de la ciudad de Córdoba, Argentina, el cual se formuló a partir de harinas de arroz, mandioca, maíz y mejoradores químicos.

2.4. Elaboración de panes

Los panes LG a base de harinas de A, H, M y Ch se elaboraron a partir de la hidratación con agua de las harinas durante 15 min a temperatura ambiente, luego se realizó el mezclado de los ingredientes con una batidora planetaria de mesa, durante 3 min a 220 rpm. Una vez integrados y mezclados los ingredientes se realizó el leudado durante 90 min en cámara de fermentado a una temperatura de 37°C y a una humedad relativa del 95 %. Los panes leudados fueron horneados en horno de aire estanco eléctrico durante 20 min a 180°C, luego se desmoldaron y enfriaron a temperatura ambiente durante 1 h.

Cada ensayo de panificación se realizó por triplicado (n=3) en equipos de Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y del Instituto de Ciencia y

Tecnología de los Alimentos Córdoba (ICYTAC – CONICET) de la Universidad Nacional de Córdoba.

2.3. Composición proximal de panes

La humedad y los contenidos de cenizas y lípidos de los panes se evaluaron conforme a las técnicas oficiales 27.3.06, 32.10.5 y 32.1.14 de la Association of Oficial Analytical Chemists (AOAC, 1995), respectivamente, mientras que los contenidos de fibra dietaria total (FDT), fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI) y de proteínas se determinaron por los métodos descriptos por Prosky & Lee, (1996) y Hach, Bowden, Kopelove & Brayton (1987) con un factor de conversión de nitrógeno de 6,25, respectivamente. El contenido de hidratos de carbono se calculó por diferencia. Los ensayos fueron realizados por triplicado.

2.4. Propiedades físicas de panes

2.4.1. Volumen específico (VE)

El VE del pan se determinó siguiendo el método de desplazamiento de semillas de moha según la técnica descripta por López, Pereira & Gonçalves (2004), para lo cual se tomó por quintuplicado una unidad de pan enfriado a temperatura ambiente una hora después de finalizar el proceso de horneado. Las determinaciones se realizaron por triplicado. El VE se calculó mediante la ecuación 1:

$$VE\left(\frac{cm^3}{g}\right) = \frac{Volumen\ del\ pan\ (cm^3)}{Peso\ del\ pan\ (g)} \qquad (1)$$

2.4.2. Color de corteza y miga

Las mediciones de color en 10 puntos diferentes de la miga y de la superficie (corteza) de los panes se realizaron empleando

un equipo Minolta Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta Photo Imaging, Inc., New Jersey, USA) y los resultados fueron expresados usando las coordenadas cartesianas del espacio de color CIELAB: los valores L* "Luminosidad" desde 0 (total absorbancia de luz y, por lo tanto, completamente negro) a través de gris (50) a 100 (reflectancia de luz completa), a* "rojo-verde" desde -60 (verde) hasta gris a +60 (rojo) y b* amarillo-azul" -60 (azul), hasta +60 (amarillo). El instrumento fue calibrado, previo a realizar las mediciones, con una placa de cerámica blanca, patrón provisto por Konica Minolta Photo Imaging. Cada unidad de pan se consideró como una repetición experimental, se realizaron 5 repeticiones y 10 mediciones por cada repetición.

2.5. Estructura de la miga de panes

Para analizar la estructura de la miga se tomaron muestras de la parte central de los distintos panes a las 24h de elaborados (tiempo T1). Las imágenes se obtuvieron con cámara digital Panasonic Lumix, modelo DMC-TZ3 con iluminación fija e igual en cada ensayo. Las fotografías se tomaron sin flash, sin zoom, con auto disparador, en modo macro y con ajuste en "modo fino". Se colocó una regla milimetrada que sirvió como referencia para calibrar las imágenes y convertir pixeles en cm. Las imágenes fueron digitalizadas utilizando una Scanner (HP Scanjet 3670). Las imágenes RGB en formato de archivo JPG se analizaron con el programa ImageJ versión 1.49m (National Institutes of Health, USA). Los ensayos se realizaron por triplicado y los parámetros evaluados fueron: cantidad total de alveolos (Na), área promedio de un alveolo (mm^2) (Ta), área total alveolos (mm^2) (Aa) calculada a partir de la ecuación 2:

$$A_a(mm^2) = N_a \times T_a\,(mm^2) \qquad (2)$$

2.6. Ensayos de textura de miga.

El perfil de textura de la miga de pan fue determinado usando un texturómetro TA. XT2i (CT3 Brookfield - Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) bajo las siguientes condiciones: celda de compresión de 4,5 kg; velocidad del cabezal de 0,5 mm/seg; deformación máxima del 50 %. Se trabajó con panes almacenados en bolsas de polietileno de alta densidad a una temperatura ambiente controlada de 23 °C, el pan se almacenó durante 196 h y se realizaron las determinaciones cada 24 h. Se cortaron tres rebanadas de 2,5 cm de espesor cada una, descartando los extremos. Los parámetros del perfil de textura se determinaron utilizando el software Texture Expert 1.22 (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido). La fuerza en (g) requerida para comprimir la muestra (Dureza o Firmeza) se calculó a partir de un gráfico de fuerza-distancia (Figura 1). El parámetro firmeza se midió a intervalos de tiempo de 1 (T1), 2 (T2), 3 (T3), 4 (T4) y 7 (T7) días de almacenamiento. Se analizaron seis cortes por cada medición y se informaron los valores promedio.

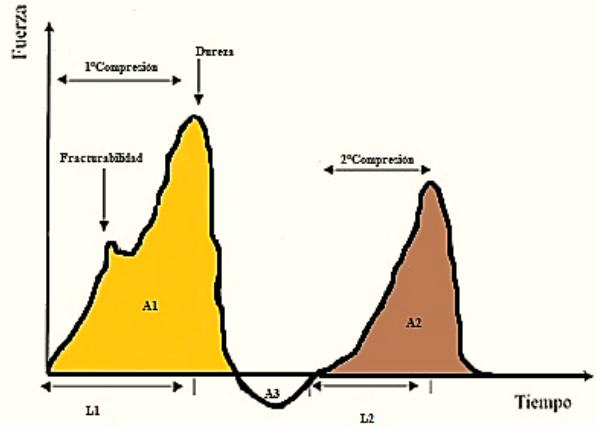


Figura 1. Curva típica de análisis de perfil de textura en alimentos (TPA) (falta Fuente).

Los parámetros evaluados fueron: Firmeza (N), definida como la fuerza máxima que tiene lugar, en cualquier tiempo, durante el primer ciclo de compresión (Bourne, Kenny & Barnard, 1979). Para el caso específico de panes, es la fuerza necesaria para comprimir una rodaja de pan hasta un 50 % del espesor original según el método 74-09 de la AOAC (1995). Elasticidad (mm), definida como la altura que el alimento recupera, luego de ser sometido a una deformación, durante el lapso transcurrido entre el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda (Bourne; Kenny & Barnard, 1979). Se calcula como el cociente entre la distancia (L2) y la distancia (L1) mostrada en la Figura 1. Otros parámetros evaluados fueron; Adhesividad (mJ), definida como la energía necesaria para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie del material con la que está en contacto, Cohesividad (adimensional) como el cociente entre las áreas A2 y A1 y Gomosidad en (N) como el producto de la Dureza y la Cohesividad, definida como la fuerza requerida para desintegrar un alimento semisólido hasta estar en condiciones de ser deglutido.

2.7. Retrogradación de panes LG durante el almacenamiento

Las propiedades térmicas de las migas de panes fueron analizadas usando un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) TA Instruments, Universal, modelo V4 2E Q100 V9.9. Las muestras fueron pesadas con precisión de 0,01 mg en cápsulas que luego, fueron selladas herméticamente y equilibradas hasta temperatura ambiente por aproximadamente 2 h. El equipo fue calibrado con Indio (punto de fusión 156,61 ºC y αH=28,54 J/g) y como referencia se utilizó una cápsula vacía. Luego se sometieron a barrido de temperatura desde 20ºC a 140°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min. Las curvas térmicas generadas se caracterizaron por los siguientes parámetros: temperatura de inicio [T0, ºC], temperatura de retrogradación

o de pico [Tg, ºC] y entalpía de retrogradación [ΔH, J/g] a partir de cada endoterma obtenida. Los distintos parámetros fueron determinados con un software STARe Default DB V9.00-1258 (Mettler Toledo, Suiza). La cantidad total de agua presente en las migas se determinó por secado de las cápsulas perforadas en estufa a 105 ºC hasta peso constante (g agua/ g miga inicial). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados experimentales se realizó a través del análisis de variancia de una sola vía (ANOVA) para un nivel de significancia ($p \leq 0,5$), usando el software InfoStat (InfoStat, 2008). La diferencia significativa entre medias se evalúo a través del test de comparaciones múltiples de Tukey.

3. Resultados y discusión

3.1. Composición proximal en panes LG

La composición proximal de las distintas formulaciones de panes se presenta en la Tabla 2. Los valores de proteínas, lípidos, ceniza, fibras e hidratos de carbono se calcularon sobre base seca (b.s.). Todas las formulaciones de panes presentaron un elevado contenido de HC digeribles (70 - 76 g/100g b.s.) pero significativamente menores ($p \leq 0,05$) al pan control (84,5 g/100g b.s.). Los contenidos de FDT (10 - 11 g/100g b.s.), de proteínas (18 - 23 g/100g b.s.) y de minerales (3 - 5 g/100g b.s.) fueron significativamente mayores ($p \leq 0,05$) a FC.

Panes	Humedad	Proteínas	Lípidos	Cenizas	FDT	FDS	HC
F1	54,62 ±1,12[a]	19,80 ±0,12[b]	2,32 ±0,47[b]	5,21 ±0,06[d]	11,22 ±0,80[b]	0,92 ±0,08[b]	72,67[b]
F2	54,86 ±2,07[a]	23,20 ±0,20[c]	1,59 ±0,42[a]	4,71 ±0,10[c]	10,78 ±0,99[b]	1,39 ±0,09[c]	70,39[a]
F3	56,38 ±0,40[b]	18,45 ±0,44[b]	1,54 ±0,23[a]	3,46 ±0,64[b]	10,34 ±0,59[b]	1,67 ±0,12[d]	76,55[c]
FC	58,88 ±3,78[c]	8,00 ±0,78[a]	4,28 ±0,22[c]	1,87 ±0,31[a]	1,32 ±0,12[a]	0,15 ±0,01[a]	84,51[d]

Valores medios ± DS, n=3. Superíndices distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones según test de Tukey. FDT: fibra dietaria total, FDS: fibra dietaria soluble, HC: hidratos de carbono. FC: formulación control; F1: formulación 1, F2: formulación 2, F3: formulación 3.

Tabla 2. Composición proximal de panes LG a base de M, Ch, H y A y pan control.

Los resultados obtenidos muestran que las formulaciones de los panes elaborados con las harinas de H, M y Ch presentaron un contenido de FDT, minerales y proteínas de hasta 10, 2,8 y 2,3 veces, respectivamente, superiores al obtenido en el pan comercial control. Olojede, Sanni & Banwo (2019) informaron incrementos en los contenidos de proteínas, FDT y FDS en panes LG formulados a partir de harinas de garbanzo, sorgo y arvejas Sin embargo, los mismos son inferiores a los obtenidos en este estudio. El aporte proteico de una ración de 100 g de pan LG, elaborado a partir de las mezclas de harinas de H, M y Ch, sería del orden de 15 g, lo cual resulta significativo en función de las recomendaciones indicadas por la FAO (2013)

quien aconseja un consumo de proteína entre 0,8-1 g/kg de peso del individuo. La contribución de FD también resulta elevada, ya que una ración de 100 g de pan aportaría hasta el 29 % de la FD diaria recomendada por la FAO (25-30 g de FDT al día). El contenido de FD de las harinas podría utilizarse para mejorar la estructura de productos alimenticios altamente viscosos como la masa y los productos de panadería (Ogungbenle, 2003). Se observó que, al incrementar la cantidad de harina de Ch, incrementó en el mismo sentido el contenido de cenizas de estas formulaciones, lo que favorecería directamente en el aumento de minerales aportados a la dieta.

Todas las formulaciones presentan un elevado contenido de HC, sin embargo, estos fueron significativamente menores al % presente en el pan FC y esto es debido al aporte que genera el elevado contenido de fibras presentes en las harinas de Ch, M y H.

Las tres formulaciones en estudio (F1, F2 y F3) han presentado significativamente menor humedad final en los panes obtenidos, lo que favorecería la extensión de su vida útil en el tiempo de almacenamiento

3.2. Calidad de los panes LG

3.2.1. Volumen específico (VE) y Humedad final (Hf)

El VE y la Hf (Tabla 3) de los panes LG de las distintas formulaciones fueron significativamente ($p \leq 0,05$) inferiores al pan control, posiblemente debido a los hidrocoloides y mejoradores incorporados en la formulación comercial. Las formulaciones no influyeron significativamente en el VE del pan, para el caso de la Hf, el pan F3 fue el que presentó el mayor contenido de humedad (50,59 g/100g b.s.) con respecto a F1 y F2.

Panes	VE (mL/g)	Hf (g/100g)
FC	2,40±0,12b	54,65±0,30c
F1	2,07±0,04a	48,54±0,35a
F2	2,06±0,09a	49,50±0,27a
F3	2,14±0,08a	50,59±0,51b

Valores medio ± DS, n= 3. Superíndices distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones, según test de Tukey.VE: Volumen especifico; Hf: Humedad final en panes.

Tabla 3. Valores de VE y Hf en panes.

El contenido de FDS de las formulaciones tuvo una correlación directa positiva con la Hf (Coeficiente de Pearson: $r = + 0,70$, $p \leq 0,11$). Este comportamiento podría atribuirse a la capacidad de la FDS de absorber y retener agua en la matriz alimentaria. Sin embargo, el pan control FC que presentaba un contenido de FDS hasta 10 veces menor al resto de las formulaciones, mostró un Hf significativamente superior ($p<0,05$), probablemente debido a la acción de agentes mejoradores, como las gomas. Los resultados obtenidos se encuentran en el rango de los informados por otros autores para panes LG ricos en fibras (Angioloni & Collar, 2012; Martínez et al., 2014; Taylor, Chavan, Kadam & Beuchat, 2014, Jagelaviciute et al., 2021) y similares a los reportados por Calle, Benavent-gil & Rosell (2020) y por Wolter, Arendt & Czerny, (2012) en panes LG a partir de harinas de taro y de arroz y quínoa, respectivamente.

El VE y la Hf presentaron una relación directa entre ellos (Coeficiente Pearson, $r= +0,989$; $p<0,11$), probablemente debido a que las cadenas hidratadas de la FD liberan parte del agua asociada a ellas cuando se someten a altas temperaturas durante el horneado, favoreciendo la interacción entre sus ca-

denas, lo cual conduce a una red más fuerte capaz de reducir las pérdidas de gas, mejorando así el VE sin perder significativamente la humedad de la pieza de pan (Haque & Morris, 1994; Mariotti et al., 2013, Jagelaviciute et al., 2021). Imágenes digitales de las piezas de pan se muestran en la Figura 2.

El agregado de gomas a las formulaciones puede ayudar a retener el gas en una matriz de masa sin gluten, mejorando el VE contrarrestando, de ese modo el efecto negativo de las harinas de M, Ch y H.

3.2.2. Estructura de miga

La estructura de la miga del pan es un atributo importante que determina la elección del producto por parte de los consumidores, preferentemente se eligen estructura finas y homogéneas. Las migas con menor cantidad de alveolos (Tabla 4) mostraron un tamaño promedio de celda alveolar significativamente ($p \leq 0,05$) mayor, y a su vez fueron las que presentaron mayor VE (Tabla 3), exhibiendo una correlación negativa alta ($r = -0,99$, $p \leq 0,05$) entre la cantidad de alvéolos y el VE. Los panes FC y F3 fueron los que presentaron un menor número de celdas con un mayor tamaño promedio de las mismas y un mayor VE. El área total de las celdas de aire de las migas de pan LG varió entre 37 y 40 % en las distintas formulaciones ricas en FD y fueron significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) con respeto al área total presentada por el pan control (28 %). Estos resultados se encuentran en el rango de los obtenidos por Marco & Rosell (2008) y Sabanis et al. (2009) para panes sin gluten enriquecidos con fibra.

Panes	Miga		
	Cantidad total de alveolos	Tamaño promedio de alveolos	Área total de alveolos (mm2)
FC	216,00±40,00a	1,38±0,12c	298,28±43,12a
F1	461,00±65,00d	1,04±0,09a	479,28±67,32b
F2	434,00±56,00c	1,14±0,08b	495,20±45,65c
F3	400,00±23,00b	1,28±0,09c	514,04±49,39d

Valores medios ± DS, n=3. Índices distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones, según test de Tukey. FC: Formulación control; F1: Formulación 1; F2: formulación 2; F3: Formulación 3.

Tabla 4. Estructura de miga de panes LG a las 24h.

Los panes de las distintas formulaciones mostraron buena estructura, aunque más densa que el pan control, con gran cantidad de pequeños alvéolos distribuidos de manera uniforme y regular. En la Figura 2, se presentan las imágenes de miga de los distintospanes.

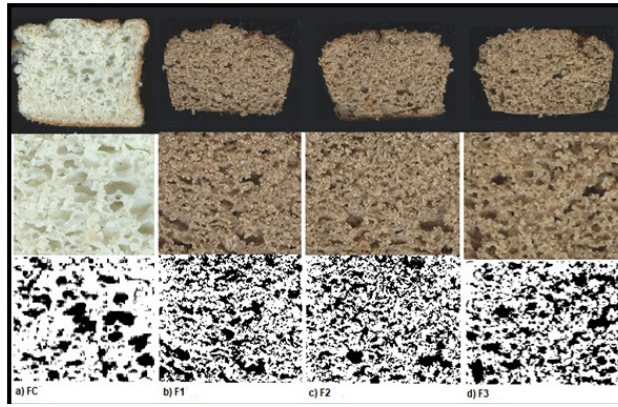


Figura 2. Estructuras de miga de panes frescos LG. (FC: Formulación control; F1: Formulación 1; F2: Formulación 2; F3: Formulación 3).

Migas compactas con gran cantidad de alvéolos de pequeño tamaño por mm^2 ($r = -0,90$, $p \leq 0,05$) son estructuras características de los panes LG, debido a una matriz estructural (red) más elástica o rígida que limita la capacidad de las masas de retener el CO_2 generado durante la fermentación, por lo que se producen piezas menos voluminosas (Cappa & Mariotti, 2013). Sin embargo, no se observaron en los panes, fracturas en la estructura y/o depresiones en el centro que determinen que la red haya colapsado y se produzca una rápida evaporación de agua durante la cocción y una contracción asociada de la estructura, sucesos que se presentan en panes LG informados por otros autores (Sciarini, Ribotta & Leon, 2010). Los panes cuyas formulaciones presentaron mayores contenidos de FDS (Tabla 1) mostraron tamaños de celda más grandes, lo cual condujo a migas más aireadas y de mejor porosidad. La calidad final de la estructura de miga depende del tipo de FD adicionada. Martínez et al. (2014), señalaron que la avena, las arvejas, la papa o el bambú, que contienen grandes proporciones de FDI, incrementan la consistencia y afectan al levado de la masa. Föste et al. (2019), por su parte, informaron que las FDI, especialmente aquellas de granulometría gruesa, crean puntos de ruptura en la matriz alimentaria que favorecen la liberación de los gases formados durante el leudado, a la vez que la adición de FD puede contribuir a la mayor disponibilidad de sustratos durante el leudado, debido a que algunas FD presentan enzimas de elevada actividad amilolítica. En este sentido, se puede inferir que una mezcla con proporciones adecuadas de FDI: FDS y de tamaño de partículas apropiado de harinas de frutos nativos representa una alternativa promisoria para ser incorporadas en productos panaderos de calidad.

3.2.3. Color de corteza y miga

El color del pan es una de las primeras características observa-

das por los consumidores, determinando elección y preferencia. Valores bajos de L* indican colores más oscuros, valores positivos de a* se encuentran asociados con el enrojecimiento de la miga, mientras que valores positivo b* indican colores amarillos. Los resultados de parámetros de color en miga y corteza se resumen en la Tabla 5.

Zona de muestreo	Panes	Parámetros de cromaticidad		
		L*	a	b
Corteza superior	F1	$18{,}40 \pm 1{,}71^{b}$	$11{,}60 \pm 0{,}67^{b}$	$9{,}70 \pm 0{,}71^{b}$
	F2	$13{,}78 \pm 0{,}51^{a}$	$9{,}62 \pm 0{,}24^{a}$	$6{,}05 \pm 0{,}37^{a}$
	F3	$11{,}50 \pm 0{,}71^{a}$	$10{,}24 \pm 0{,}94^{a}$	$4{,}60 \pm 0{,}71^{a}$
	FC	$78{,}33 \pm 1{,}23^{c}$	$-0{,}66 \pm 0{,}23^{c}$	$16{,}66 \pm 1{,}23^{c}$
Corteza inferior	F1	$18{,}26 \pm 0{,}66^{B}$	$12{,}71 \pm 0{,}19^{AB}$	$10{,}28 \pm 0{,}47^{B}$
	F2	$12{,}51 \pm 1{,}32^{A}$	$9{,}28 \pm 0{,}75^{A}$	$5{,}34 \pm 1{,}16^{A}$
	F3	$12{,}19 \pm 1{,}36^{A}$	$12{,}16 \pm 0{,}52^{AB}$	$5{,}26 \pm 1{,}00^{A}$
	FC	$72{,}13 \pm 0{,}23^{C}$	$-0{,}11 \pm 0{,}12^{C}$	$19{,}89 \pm 0{,}99^{C}$
Miga	F1	$19{,}32 \pm 1{,}34^{II}$	$11{,}72 \pm 0{,}40^{III}$	$10{,}34 \pm 0{,}75^{I}$
	F2	$12{,}51 \pm 1{,}32^{I}$	$9{,}28 \pm 0{,}75^{II}$	$9{,}34 \pm 1{,}16^{I}$
	F3	$12{,}30 \pm 1{,}13^{I}$	$12{,}84 \pm 0{,}97^{III}$	$9{,}22 \pm 0{,}86^{I}$
	FC	$84{,}22 \pm 0{,}33^{III}$	$-1{,}66 \pm 0{,}09^{I}$	$19{,}90 \pm 0{,}77^{II}$

Tabla 5. Parámetros de cromaticidad obtenidos en corteza y miga de panes.

Valores medios ± DS, n=50- Superíndice letra minúscula distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0{,}05$) entre las distintas formulaciones para la corteza superior según test de Tukey. Superíndice letra mayúscula distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0{,}05$) entre las distintas formulaciones para la corteza inferior según test de Tukey. Superíndice número romanos distintos en la misma columna demuestran diferencias signifi-

cativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas formulaciones para la miga según test de Tukey. FC: Formulación control; F1: Formulación 1; F2: Formulación 2; F3: Formulación 3.

La miga, corteza superior e inferior de los panes F1 fueron los que presentaron diferencias significativas con respecto al resto de las formulaciones y a la FC para los mismos parámetros. Los panes F2 y F3 presentaron valores bajos de L* entre 11,50 y 13,78 sin variaciones significativas entre sí, FC mostró valores elevados de L* debido a la elevada luminosidad que presentan las harinas de A y mandioca (ingredientes utilizados para la elaboración de FC). Las formulaciones con menor luminosidad fueron aquellas con mayor proporción de harina de M adicionada, siendo los panes F3 los que mostraron los menores valores de L* en todas sus zonas de muestreo. Los panes F1 mostraron los valores más altos de L*, lo que indica una mayor reflectancia de la luz en comparación con el resto de los panes. Además, se observó una miga más oscura en los panes F2 y F3. El oscurecimiento del color de la miga es deseable ya que los panes sin gluten generalmente tienden a tener un color más claro que los panes de trigo (Gallagher, Kunkel, Gourmley & Arent, 2003), y el pan más oscuro generalmente se asocia con productos a base de granos enteros saludables (Kim & Yokoyama, 2011).

Tsatsaragkou, Kara, Ritzoulis, Mandala & Rosell (2017) estudiaron las propiedades físicas en panes LG formulados con sustitución parcial de harinas de algarroba, e informaron valores de L* en el orden de 56 y Ribotta, Pérez, Añón & León (2010) han estudiado las propiedades físicas y sensoriales en panes de trigo con sustitución de soja y obtuvieron valores de L* en el orden de 40. Tsatsaragkou et al. (2017) y Ribotta et al. (2010) que investigaron panificados LG, utilizan como materia prima harina de arroz, mandioca y maíz; en consecuencia obtienen productos de elevada luminosidad (L* por encima de 80) y tendencias del color hacia los amarillos pálidos en concordancia con la FC.

Los valores de a* variaron en un rango entre -1,66 y +12,71. Los valores más altos fueron obtenidos en la miga de los panes con mayor contenido de harina de M (F3) y se diferenciaron significativamente del resto de las formulaciones. Los valores positivos de a* se asocian no solo a la mayor incorporación de harinas de M y Ch sino también al desarrollo de las reacciones de pardeamiento no enzimático (Maillard) durante el proceso de horneado (Hidalgo & Zamora, 2000) favorecidas por el alto contenido de azúcares reductores presentes en estos panes. FC presenta el menor valor de a*, debido al color propio de las harinas que la componen.

Los valores de b* variaron en un rango entre +4,60 y +19,90. Los valores más bajos se presentaron en la corteza superior de los panes F3, lo cual se traduce en un color significativamente menos amarillo comparado con el resto de las formulaciones ($p<0,05$). Los panes F2 y F3 no mostraron diferencias significativas en las distintas zonas de muestreo, pero si con respecto a F1 y FC, que fueron las formulaciones de mayores valores de b*, excepto para la miga en la que no se presentaron diferencias entre F1, F2 y F3, sin embargo, estas presentaron diferencias significativas con respecto a FC.

En base a los resultados del análisis de color, el uso de harinas de M, Ch y H proporciona un perfil atractivo para la formulación de productos LG, en virtud que aporta a que los productos se asemejen a panificados, tipo integrales ricos en fibras.

3.2.4. Envejecimiento de los panes LG

Pérdida de Humedad

La humedad afecta significativamente la estructura de la miga y la corteza de los panes sin gluten e incide en su calidad final. En la Tabla 6 se presentan los valores de humedad de los panes LG a lo largo del tiempo de almacenamiento. En todos

los casos el contenido de humedad disminuyó con el tiempo, observándose para cada formulación, diferencias significativas entre el primer día y el resto de los días, sin diferencias entre las 48h y 92h, y en todos a las 196h. Los panes F3, exhibieron humedades significativamente ($p \leq 0,05$) mayores que los panes F1 y F2, al mismo tiempo de almacenamiento, a partir de las 48h.

	Humedad (%)			
Tiempo	F1	F2	F3	FC
t1	$52,68 \pm 0,26^{aA}$	$52,72 \pm 0,27^{aA}$	$52,89 \pm 0,30^{aA}$	$54,65 \pm 0,10^{aB}$
t2	$50,09 \pm 0,65^{bA}$	$50,63 \pm 0,61^{bA}$	$51,40 \pm 0,25^{bB}$	$54,18 \pm 0,13^{aC}$
t3	$50,01 \pm 0,22^{bA}$	$50,35 \pm 0,22^{bA}$	$51,36 \pm 0,34^{bB}$	$53,76 \pm 0,24^{bC}$
t4	$50,00 \pm 0,42^{bA}$	$50,00 \pm 0,18^{bA}$	$51,22 \pm 0,71^{bB}$	ND
t5	$48,54 \pm 0,35^{cA}$	$49,50 \pm 0,27^{cB}$	$50,59 \pm 0,51^{cC}$	ND

Valores medios ± DS, n= 3; ND = No determinado. Primeros superíndices minúsculas distintos en la misma columna muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la humedad de los panes dentro de la misma formulación para cada tiempo según test de Tukey. Segundos superíndices mayúsculas distintas en la misma fila demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre la humedad de los panes entre formulaciones para el mismo tiempo según test de Tukey. t1:24h, t2:48h, t3:72h, t4:96h y t5:192 h posteriores al horneado FC: Formulación control; F1: formulación 1; F2: formulación; F3: Formulación 3.

Tabla 6. Humedad de panes LG en función del tiempo de almacenamiento.

El mayor contenido de FDS presente en M y la mayor cantidad de esta harina en los panes F3, incrementó significativamente la humedad de estos panes con relación a los panes F1 y F2, diferencias que se mantuvieron a lo largo del tiempo de almacenamiento. El incremento en el contenido de humedad de la miga de los panes F3, se atribuye a la mayor capacidad

de absorción (CAA) y retención de agua (CRA) que presenta la harina de M (Raghavendra, Ramachandra Swamy, Rastogi, Raghavarao, Kumar & Tharanathan, 2006; Jagelaviciute et al., 2021), con lo cual decrece el grado de degradación de la miga durante el almacenamiento en virtud de que se retarda la retrogradación del almidón. El pan control, por su parte, mostró contenidos de humedad significativamente ($p \leq 0,05$) superiores para cada tiempo a los exhibidos por el resto de los panes, esto determinó que luego de las 72h, estos panes presentaran un alto desarrollo microbiano, que condujo a su descarte.

3.2.5. Textura en panes

Se determinó el perfil de textura de los panes en sus distintas formulaciones y el control, a distintos tiempos de almacenamiento (Tabla 7). La firmeza de todos los panes incrementó con el tiempo de almacenamiento, mostrando la siguiente tendencia F1>F2>F3>FC. F1 fue la formulación que presentó la mayor firmeza en el tiempo t1, sin embargo, fue la que juntamente con F2 desarrolló menor incremento de la dureza a lo largo del tiempo de almacenamiento (9,1 % y 10,2 %, respectivamente). F3 fue la que presentó menor firmeza en el tiempo t1, sin embargo, mostró el mayor incremento en el transcurso del tiempo (41,3 %), con una variación total significativamente ($p \leq 0,05$) superior a las otras dos formulaciones. El pan control mostró una firmeza 5 veces inferior al resto y el menor incremento en el tiempo, debido probablemente al menor contenido de fibras (≈10 veces inferior) y a la mayor humedad (10 % superior) de FC, lo que también influyó, en el acortamiento de la vida útil del producto, la cual estuvo en el orden de las 72 h en contraposición con las 196 h del resto de las formulaciones. En los panes que contienen trigo, el gluten ralentiza el movimiento del agua, mientras que la ausencia de gluten aumenta la migración de agua de la miga de pan a la corteza, lo que da como resultado una miga más firme.

Por otro lado, Paciulli, Rinaldi, Cirlini, Scazzina & Chiavaro (2016) informaron que el aumento observado en la dureza de la miga en panes LG, elaborados a partir de mezclas con harinas de maní, se atribuyó principalmente al mayor contenido de FD. La disminución en la firmeza (mayor suavidad) obtenida en panes con mayor proporción de FDS (F3) está relacionado con el incremento de la CAA de la masa (Raghavendra, et al., 2006), que incide en su estructura interna y en la red que se conforma en la matriz, la cual ayuda a que las burbujas de aire queden retenidas dentro de la matriz y de esta manera se evita posibles fenómenos de coalescencia. A este hecho se suma que la FDS se disuelve en la fase acuosa de la masa, envuelve a los gránulos de almidón que disminuyen su capacidad de absorber agua. Consecuentemente, menos almidón gelatiniza durante la cocción y el enlace de hidrógeno entre la FD y el almidón pueden retrasar su retrogradación (Sabanis et al., 2009), por consiguiente la firmeza obtenida disminuye. Martínez et al. (2014) informaron que la utilización de FDS en la elaboración de panes LG permitirían obtener una miga de mayor Cohesividad y elasticidad en el producto final y por ende mejorar la calidad panadera, disminuyendo el desgranamiento propio de este tipo de producto.

Panes	Tiempo	Firmeza (N)	Gomosidad (N)	Adhesividad (J)	Elasticidad (mm)
F1	t1	12,18 ±0,41bc	5,40 ±0,25c	0,00019 ±0,00002b	1,01 ± 0,01b
	t2	12,07 ±0,26bc	7,65 ±0,47e	0,00015 ±0,00001a	0,86 ±0,01a
	t3	13,07 ±0,89bc	7,28 ±0,49e	0,00016 ±0,00008a	1,00 ±0,01b
	t4	14,03 ±2,09c	9,36 ±2,33e	0,00013 ±0,00001a	0,92 ±0,01a

	t5	13,29 ±1,32bc	9,55 ±0,64e	0,00013 ±0,00001a	0,83 ±0,01a
F2	t1	10,60 ±1,98bc	5,62 ±1,22c	0,00018 ±0,00001b	1,22 ±0,01c
	t2	11,66 ±0,48bc	8,43 ±0,94f	0,00015 ±0,00001a	0,81 ±0,01a
	t3	11,53 ±0,31bc	8,09 ±0,78f	0,00014 ±0,00001a	0,87 ±0,01a
	t4	12,86 ±1,02bc	8,92 ±1,14f	0,00015 ±0,00001a	0,93 ±0,01a
	t5	11,68 ±0,56bc	9,06 ±0,64f	0,00013 ±0,00001a	0,86 ±0,09a
F3	t1	7,86 ±1,24ab	3,38 ±0,89b	0,00019 ±0,00001b	1,34 ±0,01c
	t2	10,07 ±0,75bc	6,37 ±0,15d	0,00014 ±0,00001a	0,92 ±0,02a
	t3	9,18 ±0,32b	6,50 ±0,15d	0,00016 ±0,00001a	0,83 ±0,01a
	t4	11,12 ±0,38bc	7,91 ±0,78e	0,00016 ±0,00008a	1,00 ±0,01b
	t5	11,11 ±1,02bc	7,99 ±1,45e	0,00013 ±0,00001a	0,97 ±0,01b
FC	t1	1,80 ±0,01a	1,47 ±0,16a	0,00022 ±0,00002c	1,03 ±0,01b
	t2	2,06 ±0,12a	1,46 ±0,03a	0,00018 ±0,00003b	0,85 ±0.01a
	t3	2,18 ±0,55a	1,51 ±0,21a	0,00020 ±0,00001b	1,38 ±0,02c

Tabla 7. Perfil de textura en panes LG y pan control.

Valores medios ± DS, n= 6. Índices distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la propiedad textural de los panes de distintas formulaciones a igual tiempo, según test de Tukey.t1:24h, t2:48h, t3:72h, t4:96h y t5:192 h posteriores al horneado. FC: Formulación control; F1: Formulación 1; F2: Formulación 2; F3: Formulación 3.

Por otro lado, los panes LG elaborados con harinas con alto contenido de proteínas tienden a incrementar la dureza de la miga y corteza, situación que se mejora con el agregado de agua adicional, que suaviza el producto (Gallagher et al. 2003, Föste et al. 2019). La firmeza de las distintas formulaciones mostró una correlación fuerte e inversa con respecto al contenido de humedad ($r = -0,96$; $p<0,12$), esto coincide con lo informado por Every, Gerrard, Gilpin, Ross & Newberry (1998) y Baik & Chinachoti (2000). Al correlacionar la cantidad de alveolos observados en la estructura de la miga (Tabla 4) con la firmeza al tiempo t1, se observa una relación directa alta ($r = +0,98$, $p \leq 0,05$), exhibiendo los panes FC y F3 una menor cantidad de alveolos y una menor dureza, comparativamente con los panes F1 y F2.

Los panes control mostraron valores significativamente ($p \leq 0,05$) menores de gomosidad o masticabilidad con respecto a los panes ricos en FD y proteínas y no variaron significativamente en las 72h de almacenamiento, debido al mayor contenido de almidón de su matriz, esto incidió positivamente en la suavidad del producto (Onyango, Mutungi, Unbehend & Lindhauer, 2011). Para el caso de los panes F1, F2 y F3 se observó un incremento significativo a las 48h, manteniéndose sin diferencias hasta las 196h posteriores, en F1 y F2, mientras que en F3 se produjo un aumento adicional significativo a las 92h. Los panes F1 y F2 fueron los que presentaron mayor gomosidad inicial, F2 fue el que mostró la menor variación durante el almacenamiento (61,8 %), seguida por F1 (76,8 %) y F3 (136,4 %). El comportamiento mostrado por los panes F1, F2 y F3 podría

atribuirse a la pérdida de humedad durante el almacenamiento, observándose una relación fuerte e indirecta entre el contenido de humedad y la gomosidad ($r=-0,90$; $p<0,21$ en F1; $r = -0,98$; $p<0,19$ en F2; $r= -0,96$; $p<0,11$ en F3 y $r= - 0,71$; $p<0,20$ en FC). Por otro lado, Monthe et al. (2018) han informado que el incremento de la masticabilidad de panes durante el almacenamiento se debe al aumento de la firmeza provocado por el proceso de endurecimiento de los panes a causa del efecto de retrogradación de los almidones y la consiguiente pérdida de humedad. Turkut, Cakmak, Kumcuoglu & Tavman (2016) reportaron valores similares de gomosidad, a los obtenidos en este trabajo, en panes LG elaborados con harinas de trigo sarraceno y quinua.

La adhesividad, se considera una propiedad textural no deseada o negativa (Monthe et al., 2018), que indica el carácter pegajoso de la miga, su disminución implica un aumento de la elasticidad con el consiguiente efecto positivo sobre la calidad textural del pan (Tuta Simsek, 2020). Los panes F1, F2 y F3 mostraron valores de gomosidad significativamente ($p\leq0,05$) menores que FC, a tiempos homólogos. Todas las formulaciones disminuyeron significativamente ($p\leq0,05$) la adhesividad a las 48h de almacenamiento, no registrándose variaciones significativas posteriores a dicho tiempo hasta el final del período de estudio. La FC mostró una adhesividad superior al resto de las formulaciones a tiempos homólogos.

La elasticidad es un parámetro directamente relacionado con la frescura del pan, lo que significa que a mayor elasticidad hay mayor calidad panadera (Cornejo & Rosell, 2015). La elasticidad de los panes estudiados disminuyó durante el almacenamiento, con la siguiente tendencia F3>F2>F1; en general no se observaron diferencias significativas entre formulaciones para los mismos tiempos, pero si con la FC. Föste et al. (2019) atribuyeron las modificaciones en la elasticidad al tipo de FD y a los contenidos de agua presentes en la matriz del pan. La FD

y las proteínas presentes en una matriz alimentaria favorecen la retención de agua en la misma (Turkut et al., 2016; Ronda & Villanueva, 2017), contribuyendo a que la humedad en la miga y la corteza se distribuyan de manera homogénea, incrementando la elasticidad de la masa (Collar et al., 2013).

Los panes formulados con harinas de H, M y Ch mostraron mayor firmeza, elasticidad, y masticabilidad y una menor adhesividad que el pan control a los distintos tiempos de almacenamiento. Se observó una miga más cohesiva, menos quebradiza y una corteza menos dura y de menor espesor que el pan control y una mayor vida útil. A las 24h de almacenamiento, los panes F3, fueron los que presentaron mejores características texturales de las tres formulaciones estudiadas.

3.2.6. Retrogradación de panes LG durante el almacenamiento.

La re-asociación de cadenas de amilopectina dentro del gránulo de almidón, después de haber perdido parte de la amilosa presente en el mismo (retrogradación) y la migración del agua de la miga a la corteza son los dos fenómenos más importantes durante el envejecimiento del pan. En la Tabla 8 se muestran las temperaturas T_0, Tp, Tf y la variación de entalpía ΔH obtenidas, en los ensayos calorimétricos de los panes LG, durante el almacenamiento.

Panes	Tiempo	AH (J/g b.s.)	T_0 (ºC)	T_p (ºC)	T_f (ºC)	$T_0 - T_f$ (ºC)
F1	t3	0,59[a]	45,94[b]	60,30[b]	73,39[d]	27,45
	t4	0,76[c]	49,21[d]	63,20[c]	74,43[e]	25,22
	t5	0,91[d]	45,38[b]	58,23[a]	68,41[b]	23,03

F2	t3	0,74[b]	51,17[f]	61,50[b]	75,09[f]	23,92
	t4	0,74[c]	50,08[e]	60,30[b]	73,64[d]	23,56
	t5	1,47[e]	46,94[c]	63,50[c]	68,82[b]	21,88
F3	t3	0,62[a]	49,45[b]	61,20[b]	57,5[a]	25,53
	t4	0,89[d]	48,39[d]	60,80[b]	75,55[f]	27,16
	t5	1,69[f]	46,27[c]	57,5[a]	75,30[f]	29,03
FC	t2	0,98[d]	46,83[c]	58,50[a]	66,89[a]	20,06
	t3	0,87[d]	42,77[a]	59,70[a]	71,48[c]	28,71

Valores medios ± DS, n= 3. ND: No detectado. Superíndices distintos en la misma columna demuestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los distintos tipos de panes a idénticos tiempos de ensayo, según test de Tukey. t1:24h, t2:48h, t3:72h, t4:96h y t5:192 h posteriores al horneado. FC: Formulación control; F1: Formulación 1; F2: Formulación 2; F3: Formulación 3.

Tabla 8. Parámetros calorimétricos para panes con distintos tiempos de almacenamiento.

Los termogramas obtenidos mostraron cambios entálpicos entre 42ºC y 76°C para las distintas formulaciones, rangos que coinciden con los informados en la bibliografía para panes LG (Hug-Iten, Escher & Conde Petit, 2003; Jacksont & Hoseney, 1986; Mellado Salas & Haros, 2016; Mondragón, Mendoza Martinez, Bello Perez& Peña, 2006; Ribotta & Le Bail, 2007; Sciarini, Ribotta & Leon, 2010).

Todos los panes presentaron una única transición endotérmica, correspondiente al proceso de retrogradación del almidón a partir del tiempo t3, sin embargo, FC presentó un pico endotérmico a partir del tiempo t2, 24 h previas al de los panes

con harinas compuestas. La ΔH de las formulaciones F1, F2 y F3, a las 72 h de almacenamiento, fueron la mitad de las variaciones registradas por el pan control a las 48 h. Los valores de entalpía obtenidos entre las distintas formulaciones oscilaron entre 0,59 y 1,69 J/g (b.s). La variación de la entalpía de retrogradación de los panes LG, almacenados a 25ºC, en función del tiempo de almacenamiento (Figura 3) mostró una relación lineal directa, siendo la retrogradación de los panes control mayor con respecto al resto de las formulaciones. Los panes ricos en fibra y proteínas presentaron variaciones entálpicas con la siguiente tendencia F3>F2>F1 (pendientes de la recta: 0,0015mW/h, 0,001mW/h., 0,0007mW/h, respectivamente).

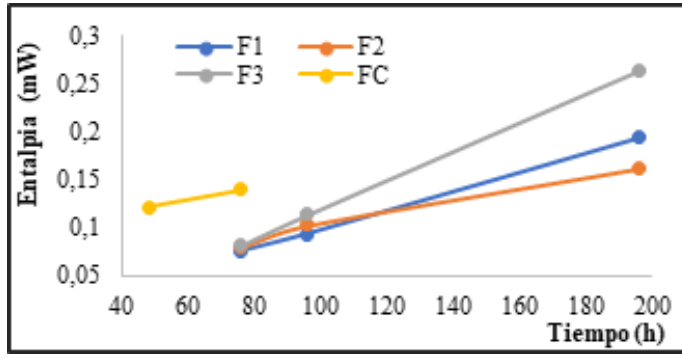


Figura 3. Variación de la entalpia con el tiempo de almacenamiento en las distintas formulaciones de panes LG.

Colombo, Ribotta, & León (2014) Mellado Salas & Haros (2016); Mondragón, Mendoza Martinez, Bello Perez & Peña (2006); Ribotta & Le Bail (2007); Sciarini; Ribotta & Leon (2010) y Sanz Ponce (2010) reportan que a medida que se incorporan proteínas, fibras y azúcares a diversas muestras almidonosas, se genera una disminución de la velocidad y de la magnitud de retrogradación de la amilopectina, debido a que estos componentes compiten por el agua, produciendo una alteración del

balance de agua entre los distintos componentes de la miga que restringe la hidratación e hinchamiento de los gránulos de almidón y reducción de la lixiviación de amilosa de los gránulos y un efecto de debilitamiento de la red de almidón por las restricciones de la unión entre las cadenas de amilosa, lo que produce un retraso en el inicio de la retrogradación. Esto indicaría que la FD y las proteínas de las harinas de M, Ch y H ejercerían un efecto inhibidor en la cristalinidad de almidón y explicaría el retraso en el inicio del proceso de retrogradación de los panes F1, F2 y F3. Esto se corresponde con estudios realizados por Ding et al. (2019).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos permitirían afirmar, que las pre-mezclas elaboradas a partir de harinas de M, Ch y H pueden constituirse en potenciales fuentes de FD, carbohidratos, minerales y proteínas, siendo la proporción de proteína y FDS muy superior a la obtenida en un pan comercial apto para celiacos. La estructura de miga de los panes ricos en fibra y proteínas presentó una distribución de celdas de aire y tamaño promedio de alveolos homogéneo, se obtuvieron panes más compactos en comparación al pan control y de menor volumen específico. El color de los panes fue con tendencia al color marrón rojizo, con buena aceptabilidad por parte de los consumidores. El envejecimiento de los panes de M, Ch y H se evidenció por una pérdida de humedad, un incremento de la dureza y la elasticidad de la miga y por la retrogradación del almidón. Los panes ricos en proteínas y fibra comenzaron el proceso de retrogradación 24h posteriores al pan control comercial. Los panes F3, de mayor capacidad de absorción y retención de agua, fueron los que presentaron mejores características texturales y de retrogradación. El uso de las harinas de M, Ch y H, representa

una alternativa promisoria para ser incorporadas en productos panaderos LG, por el aporte nutricional, la mejora en la vida útil y la aceptable calidad de los panes obtenidos, los cuales podrían perfeccionarse a través del uso de hidrocoloides que colaboren con la expansión y mejoramiento de la estructura de la miga y las propiedades texturales.

Referencias

Ahlborn G. J., Pike O. A., Hendrix S. B., Hess W. M., & Huber, C. S. (2005). *Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads.* Cereal Chemistry, 82, 328–335

Angioloni A., & Collar C. (2012). *Effects of pressure treatment of hydrated oat, finger millet and sorghum flours on the quality and nutritional properties of composite wheat breads.* Journal of Cereal Science, 56(3), 713–719.

AOAC. (1995). Official Methods of Analysis of the Association of *Official Analytical Chemists* (16th ed.).

Arribas B., Cabellos C., Sánchez C., Cuadrado E. & Guillamón M. (2017) *The impact of extrusion on the nutritional composition, dietary fiber and in vitro digestibility of gluten-free snacks based on rice, pea and carob flour blends, J. Funct.* Foods, 8 (10), 3654-3663

Arranz-Otaegui A., Carretero L., Ramsey M.N., Fuller D.Q., & Richter T. (2018). *Archaeobotanical evidence reveals the origins of bread 14,400 years ago in northeastern Jordan.* Proceedings of the National Academy of Sciences: 31, 115, 7925-7930.

Baik M., & Chinachoti P. (2000). *Moisture redistribution and phase transitions during bread staling.* Cereal Chemistry, 77, 484–488.

Bourne M. C., Kenny J.F., & Barnard J. (1979). *Computer-assisted readout of data from texture profile analysis curves.* Journal of Texture Studies, 9(3159), 481–494.

Calle J., Benavent-gil Y., & Rosell, C. M. (2020). *Food hydrocolloids development of gluten free breads from colocasia esculenta fl our blended with hydrocolloids and enzymes*. Food Hydrocolloids, 98, 105243.

Cappa C., Lucisano M., & Mariotti, M. (2013). *Influence of Psyllium, sugar beet fiber and water on gluten free dough properties and bread quality.* Carbohydrate Polymers, 98(2), 1657–1666.

Caruso C, Gragano F., Colangelo M.A., Condelli N., Scarpa, T., Tolve R., & Favati, F. (2016). *Evaluation of the oxidative stability of bakery products by oxitest method and sensory*

analysis. European Food Research and Technology.

Catzeddu P. (2019). *Sourdough breads.* in e. inc. (ed.), flour and breads and their fortification in health and disease prevention (pp. 177–188).

Colombo A., Ribotta P. D., & León A. E. (2014). *Thermal and rheological behavior of peanut protein concentrate and starch composites.* JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society, 91(11), 1911–1920.

Cornejo F., & Rosell C. M. (2015). LWT - *Food Science and Technology Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality.* LWT - Food Science and Technology.

Ding S., Peng B., Li, Y., & Yang J. (2019). *Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol.* Food Chemistry, 283, 123–130.

Eliasson A. C. (2010). *Gelatinization and retrogradation of starch in foods and its implications for food quality.* Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages, 296–323.

Estévez V., Ayala J., Vespa, C. & Araya M. (2016). *The gluten-free basic food basket: A problem of availability, cost and nutritional composition*. European Journal of Clinical Nutrition, 70(10), 1215–1217.

Every D.,Gerrard J., Gilpin M., Ross M. & Newberry M. P. (1998). *Staling in Starch Bread: the Effect of Gluten Additions on Specific Loaf Volume and Firming Rate.* Starch - Stärke, 443–446.

FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2013). *Niños sanos a término necesidades de energía: FAO / OMS.* Universidad de Buenos Aires, 1–11.

Föste M., Verheyen C., Jekle M. & Becker, T. (2019). *Fibers of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies.* Food Chemistry, 1–42.

Gallagher E., Kunkel A., Gourmley T.R. & Arent, E. K. (2003). *The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb*

characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. European Food Research and Technology, 44–48

Hach C.C., Bowden B.K., Kopelove A.& Brayton S. V. (1987). *More powerful peroxide Kjeldalh digestion method.* In Journal of Association of Analytical Chemist (Vol. 70, Issue 5, pp. 783–787).

Haque, A., & Morris, E. R. (1994). *Combined use of ispaghula and HPMC to replace or augment gluten in breadmaking.* Food Research International, 21, 379–393.

Hidalgo, B. F. J., & Zamora, R. (2000). *The role of lipids in nonenzymatic browning*. Grasas y Aceites, 51, 35–49.

Hug-Iten S., Escher F.& Conde Petit B. (2003). *Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes*. Cereal Chemistry, 80(60), 654–661.

InfoStat. (2008). InfoStat - Manual del Usuario, 1–336.

Jacksont G. M., & Hoseney R. C. (1986). *Effect of Endogenous Phenolic Acids on the Mixing Properties of Wheat Flour Doughs.* Journal of Cereal Science, 4(1), 79–85.

Jagelaviciute and Cizeikiene, (2021), *The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread,* LWT, 137, Article 110457

Jia, L., Zhang, Z., Shu X., Li C., & Wu D. (2007). *Starch Properties and Structure of A Wheat Mutant High in Resistant Starch.* The Open Agriculture Journal, 6, 5–10.

Khemiri, N. Khelifi, M.C. Nunes, A. Ferreira, L. Gouveia, I. Smaali, A. Raymundo (2020), *Microalgae biomass as an additional ingredient of gluten-free bread: dough rheology, texture quality and nutritional properties,* Algal. Res., 50, Article 101998

Kim, Yookyung & Yokoyama, W. (2011). *Physical and Sensory Properties of All-Barley and All-Oat Breads with Additional Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC) β -Glucan.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 741–746.

Kraft M. Bierke J., Renaudin F., Ruëff K.S., Hofmeier R., Treudler C. Pföhler T. Hawranek I., Poziomkowska-Gęsicka U., Jappe U. (2021) *Wheat anaphylaxis in adults differs*

from reactions to other types of food, J. Allergy Clinic. Immunol. ract., 9 (7), 2844-2852

Lazaridou A., Duta D., Papageorgiou M., Belc N., & Biliaderis, C. (2007). *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations.* Journal of Food Engineering, 79, 1033–1047.

Marco C., & Rosell C. M. (2008). *Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours*. Journal of Food Engineering, 88(1), 94–103

Mariotti M., Pagani M. A., & Lucisano M. (2013). *Food Hydrocolloids the role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures.* Food Hydrocolloids, 30(1), 393–400.

Martínez M. M., Díaz Á., & Gómez M. (2014). *Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making.* Journal of Food Engineering, 142, 49–56.

Matos M.E. & Rosell C. (2012). *Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads.* European Food Research and Technology, 107–117.

Matos M. E., & Rosell C. M. (2012). *Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: relationships between dough rheology and quality characteristics.* Food Bioprocess Technology, 1–11.

Mellado Salas M.M & Haros M. (2016). *Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz.* Brazilian Journal Food of Technology, 1–9.

Mondragón M., Mendoza Martinez A., Bello Perez L.& Peña J. (2006). *Viscoelastic behavior of nixtamalized maize starch gels.* Carbohydrate Polymers, 65, 314–320.

Monthe O. C., Grosmaire L., Nguimbou R. M., Dahdouh L., Ricci J., Tran T., & Ndjouenkeu R. (2018). *Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours.* LWT - Food Science and Technology, 1–33.

Morais E. C., Cruz A. G., Faria J. A. F., & Bolini H. M. A. (2013). *Pan prebiótico sin gluten: perfil sensorial e impulsores del gusto.* LWT - Food Science and Technology.

Moroni A.; Dal Bello F. & Arendt E. (2010). *Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue*- Food Microbiology, 26(7), 676–684.

Naqash F., Gani A., Gani A., & Masoodi F. A. (2017). *Gluten-free baking: Combating the challenges* - A review. Trends in Food Science & Technology, 66, 98–107.

Ogungbenle H. N. (2003). *Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa) flour.* International Journal of Food Sciences and Nutrition, 54(2), 153–158.

Olojede A. O., Sanni A. I., & Banwo K. **(2019).** *Effect of legume addition on the physiochemical and sensorial attributes of sorghum-based sourdough bread.* LWT - Food Science and Technology, 108769.

Onyango C., Mutungi C., Unbehend G., & Lindhauer M. G. (2011). M*odification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch*. LWT - Food Science and Technology, 44(3), 681–686.

Paciulli M., Rinaldi M., Cirlini M., Scazzina F., & Chiavaro E. (2016). *Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study.* LWT - Food Science and Technology, 70, 88–95.

Prosky L., & Lee S. C. (1996). Dietary Fiber and Its Applications: *Definitions, Analytical Methods and Their Applications.* Natural Antioxidants and Food Quality in Atherosclerosis and Cancer Prevention, 5, 303–310.

Raghavendra S. N., Ramachandra Swamy S. R., Rastogi N. K., Raghavarao K. S. M. S., Kumar S., & Tharanathan R. N. (2006). *Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber.* Journal of Food Engineering, 72(3), 281–286.

Ribotta P.D., Ausar S., Morcillo M., Pérez G., Beltramo D.& León A. (2004). *Production of gluten-free bread using.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 1974, 1969–1974.

Ribotta, Pablo D.; Le Bail, A. (2007). *Thermo-physical assessment of bread during staling*. LWT - Food Science and Technology, 40, 879–884.

Ribotta P. D., Pérez G. T., Añón M. C., & León A. E. (2010). *Optimization of additive combination for improved soy – wheat bread quality.* Food and Bioprocess Technology, 395–405.

Rocha Parra F., Ribotta, P.& Ferrero C. (2015). *Panificados libres de gluten enriquecidos con fibra de bagazo de manzana.* La Alimentación Latinoamericana, N° 317, 60–64.

Ronda, F.; Pérez-Quirce, S.; Angiolini, A. & Collar, C. (2013). *Impact of viscous dietary fibres on the viscoelastic behaviour of gluten-free formulated rice doughs: A fundamental and empirical rheological approach.* Food Hydrocolloids 32, 252-262

Ronda F., & Villanueva M. (2017). *Rheological properties of gluten-free bread doughs: relationship with bread quality.* Advances in Food Rheology and Its Applications, 297–334.

Sabanis D., Lebesi D., & Tzia C. (2009). *Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread*. LWT - Food Science and Technology, 42(8), 1380–1389

Sanz Ponce, N. (2010). *Desarrollo de panes especiales con harina integral de amaranto.* Universidad Politécnica de Valencia.

Sciarini L., Ribotta P., & León, A. E. (2010). *Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality.* International Journal of Food Science & Technology, 2306–2312.

Sciarini L. (2011). *Estudio del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad y la conservación de panes libres de gluten* (Tesis Doct).

Sciarini L. S., Ribotta P. D., León A. E., & Pérez G. T. (2012). *Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality.* Journal of Food Engineering, 111(4), 590–597

Smith J. P., Daifas D. P., El-khoury W., Koukoutsis J., El-khoury A., Smith J. P., Daifas D. P., El-khoury W., Koukoutsis J., & El-khoury A. (2010). *Shelf life and safety concerns of bakery products — a review shelf life and safety concerns of bakery products — A Review.* Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 8398, 1–38.

Souza-Borges K. & Conti-Silva A. (2018). *Sensory profile and evaluation of the degree of acceptability of bread produced with inulin and oligofructose.* Brazilian Journal Food of Technology, 1–8.

Taylor P., Chavan J. K., Kadam S. S., & Beuchat L. R. (2014). *Critical reviews in food science and nutrition nutritional improvement of cereals by sprouting.* Food Science and Nutrition, 37–41.

Taylor P., Cookies S., Pareyt B., Delcour J. A., Pareyt B. & Delcour J. A. N. A. (2008). *The ole of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: a review on the role of wheat flour constituents, sugar and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies.* Food Science and Nutrition, November 2014, 37–41.

Tsatsaragkou K., Yiannopoulos S., Kontogiorgi A., Poulli E., Krokida M., & Mandala I. (2012). *Mathematical approach of structural and textural properties of gluten free bread enriched with carob flour.* Journal of Cereal Science, 56(3), 603–609.

Tsatsaragkou K., Kara T., Ritzoulis C., Mandala I., & Rosell C. M. (2017). *Improving carob flour performance for making gluten-free breads by particle size fractionation and jet milling.* Food and Bioprocess Technology.

Turkut G. M., Cakmak H., Kumcuoglu S., & Tavman S. (2016). *Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality.* Journal of Cereal Science, 69, 174–181.

Tuta Simsek S. (2020). *Evaluation of partial-vacuum baking for gluten-free bread: Effects on quality attributes and storage properties*. Journal of Cereal Science, 91.

Varela P., & Ares G. (2012). *Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization.* Food Research International, 48(2), 893–908.

Vázquez, D., & Balzani, A. (2020). *Uruguayan wheat proteins: their relationship with traditional parameters and how are they affected by genotype and environment.* Agrociencia (Uruguay), 24(1), e147.

Wolter A. H. A., Arendt E. K., & Czerny M. (2012). *Investigation of*

product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. European Food Research and Technology, 333–344.

X-Rate Incorporation. (2002). *Entender la comunicación del color.* In X-Rite, Incorporated – World Headquarters, 1–26

CAMBIOS BIOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS A LO LARGO DE LA MADURACIÓN DE QUESOS FRESCOS ELABORADOS CON LECHE CAPRINA Y CULTIVOS AUTÓCTONO

Natalia Taboada[1], Héctor Neme[1],
Soledad López Alzogaray[1]

Resumen

Se diseñaron dos cultivos diferentes compuestos por bacterias lácticas autóctonas, S (cultivo iniciador con *Lactobacillus (L.) rhamnosus* UNSE308, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* UNSE309, *Streptococcus* (*S. thermophilus* UNSE314, *S. thermophilus* UNSE321) y A (cultivo iniciador S más cultivo adjunto con *L. plantarum* UNSE316, *L. plantarum* UNSE317, *Pediococcus (P). pentosaceus* UNSE22, *P. pentosaceus* UNSE253). Los cultivos S, A y C (cultivo comercial liofilizado de *Streptococcus thermophilus*) se utilizaron para fabricar quesos frescos o de pasta blanda (CS, CA y CC) con leche caprina pasteurizada. El impacto de estos cultivos sobre los parámetros microbiológi-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Santiago del Estero, Argentina

cos, bioquímicos y fisicoquímicos se evaluó durante la maduración (30 días, 12ºC, 85 % humedad). Los quesos experimentaron moderadas lipólisis y proteólisis, liberando compuestos de aroma y sabor. Los valores de NaCl estuvieron de acuerdo con los informados en la bibliografía. La impresión global de CS y CA se calificó como buena en comparación con CC que se calificó como regular.

Palabras clave: Queso fresco de cabra, cultivo iniciador nativo, cultivo adjunto nativo, análisis fisicoquímico

1. Introducción

La producción mundial de leche caprina se concentra en pocos países, mayormente en Asia y África. En estos países el destino principal de la leche es el consumo humano. En la Unión Europea, Francia, España y Grecia, además de ser los principales países productores de leche dentro de la UE, son a su vez, los que presentan el mayor desarrollo en cuanto a la producción de quesos, tecnologías, calidad de productos y valor agregado. En Sudamérica, Brasil es el principal productor de leche, seguido de Argentina (FAO, 2013), donde las regiones Noroeste Argentino (NOA) y central son las principales productoras, según la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA-Agroalimentos) y el queso, es el principal producto elaborado (Martínez y Suárez, 2018). Sobre todo, se elaboran dos tipos de quesos: el semiduro (generalmente se elabora a escala industrial) y el queso de pasta blanda (generalmente se elabora artesanalmente). Este último ha recibido poca atención, en la actualidad se reportan pocos datos sobre los cambios bioquímicos producidos durante la maduración, los que son responsables de las características organolépticas y sensoriales de este tipo de queso. Según la legislación argentina,

los quesos de pasta blanda deben estar elaborados con leche pasteurizada (ANMAT, 2023). La pasteurización inactiva tanto las enzimas como la microbiota autóctona presente en la leche cruda (Buffa et al.2004); por lo tanto, el queso resultante desarrolla un sabor menos intenso y madura más lentamente que el queso elaborado con leche cruda (Fox y Mc Sweeney, 2004).

Una forma de aumentar la intensidad del sabor y mejorar el proceso tecnológico consiste en la adición a la leche pasteurizada de cultivos iniciadores y adjuntos, compuestos por bacterias lácticas (BL) seleccionadas (Coppola et al., 2008). Los cultivos iniciadores provocan una rápida acidificación de la leche través de la producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico (Leroy y De Vuyst, 2004). La mayoría de los cultivos iniciadores incluyen especies mesófilas (Lactococcus y Leuconostoc) o termófilas (diversas especies de Lactobacillus (Lb.) y Streptococcus (S.) thermophilus) (Mäyrä-Mäkinen y Bigret, 2004; Reinheimer y Zalazar, 2006). Los cultivos adjuntos generalmente son lactobacilos mesófilos heterofermentadores facultativos (Lb. plantarum), así como Pediococcus (P.), Leuconostoc y micrococos (Burns et al., 2012) los que crecen durante el proceso de maduración (Settanni y Moschetti, 2010). En trabajos previos, hemos estudiado las propiedades bioquímicas, tecnológicas y relacionadas con la salud, de BL aisladas de fuentes caprinas del noroeste de Argentina (Taboada et al., 2014a, b; 2015) para seleccionar apropiados cultivos iniciadores y adjuntos. El propósito del presente trabajo fue emplear cultivos nativos y comerciales en la elaboración de quesos frescos de cabra elaborados con leche pasteurizada y evaluar el impacto de estos cultivos en los parámetros microbiológicos, bioquímicos, fisicoquímicos y sensoriales del producto final

1.1 Materias primas usadas y ensayos realizados

1.1.2 Bacterias lácticas empleadas en las elaboraciones

Las bacterias autóctonas usadas en este estudio se aislaron en trabajos previos, a partir de leche caprina y de quesos caprinos artesanales y se seleccionaron cuidadosamente a partir de sus propiedades tecnológicas (Taboada et al., 2014a, b). Se usaron las siguientes cepas: *L. rhamnosus* UNSE308, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* UNSE309, *S. thermophilus* UNSE314, *S. thermophilus* UNSE321, *L. plantarum* UNSE316, *L. plantarum* UNSE317, *P. pentosaceus* UNSE22, *P. pentosaceus* UNSE253.

2. Ensayo para determinar la capacidad de acidificación de las bacterias lácticas

Este ensayo se realizó para determinar la capacidad acidificante de las BLs en condiciones de procesamiento similares a las que se presentan durante la elaboración del queso. Se usó la técnica de Hynes et al. (2000) con modificaciones. Botellas conteniendo 100 ml de leche caprina pasteurizada (a 65ºC por 30 min) se colocaron en un baño de agua a 38ºC. Luego, se añadieron 0,2 g/L CaCl2. A continuación, se añadió el inóculo, al 2 %, compuesto por un cultivo activo de 1.10^8 ufc/ml de cada una de las cepas mencionadas en el punto 2.1. Se añadió 0,014 g/L de quimosina (MAXIREN 150, Delft, The Netherlands) para cortar la leche en 40 minutos. El crecimiento celular se midió de modo indirecto a través de determinaciones de pH; estas se realizaron, a partir de la inoculación, cada 30 minutos, durante 7 horas

2.1 Composición del cultivo autóctono

A partir de los resultados del ensayo de la capacidad acidificante individual de las cepas y del ensayo de compatibilidad entre cepas (Collins et al., 1991), diferentes combinaciones de BLs se usaron en la elaboración de los quesos, de acuerdo a la siguiente tabla:

Cepas	Cultivo iniciador (S) (%, v/v)	Cultivo iniciador S + Cultivo adjunto (A) (%, v/v)
L. rhamnosus UNSE308	30	30
L.delbrueckii subsp. *bulgaricus* UNSE309	30	30
S. thermophilus UNSE314	20	18
S. thermophilus UNSE321	20	17
L. plantarum UNSE316	0	1.25
L. plantarum UNSE317	0	1.25
P. pentosaceus UNSE22	0	1.25
P. pentosaceus UNSE253	0	1.25

Tabla 1. Composición de cepas de los cultivos autóctonos

2.2 Leche para la elaboración de los quesos

En este trabajo, se empleó leche de cabras Criollas, provista por un productor local. La leche refrigerada a 4ºC, se transportó a la planta piloto del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, UNSE (Santiago del Estero, Argentina), durante un período de lactación de seis meses. La composición química se determinó usando un analizador Lactostar (Funke Gerber

Lactostar, Funke-Dr. N. Gerber Labortechnik GmbH, Berlín, Germany). Los métodos oficiales AOAC (Association of Official Analytical Chemists) se usaron para las determinaciones de densidad y acidez. El pH se midió con un pHmetro Metrohm 962 (Herisau, Switzerland).

2.3 Protocolo para la elaboración de los quesos

Los quesos se elaboraron usando los tres cultivos siguientes: el cultivo iniciador (S) o el cultivo iniciador S más el cultivo adjunto (A) o el cultivo comercial liofilizado de Streptococcus thermophilus (C). Tanto las cepas autóctonas como el cultivo comercial liofilizado, se activaron en medio de cultivo MRS líquido (Britania), luego los cultivos se inocularon para su multiplicación en leche caprina pasteurizada, manteniéndolos a 35ºC hasta coagulación. Para la elaboración de los quesos los cultivos se usaron con una concentración de 1.108 ufc/ml. El siguiente protocolo se usó para elaborar los quesos: la leche de cabra (35 l) se pasteurizó (65ºC, 30 min) y enfrió a 38ºC, se añadió CaCl2 (0,2 g/l) y el inóculo al 2 % del cultivo iniciador (S) o el cultivo iniciador S más el cultivo adjunto (A) o el cultivo comercial liofilizado de Streptococcus thermophilus (C), dependiendo de la variedad de queso a elaborar.

La leche se coaguló con quimosina (0,014 g/L), se dejó reposar por 40 minutos. Se cortó la cuajada en porciones de grano de maíz y se colocó en moldes cilíndricos de 12 cm de diámetro y 10 cm de alto, aplicando ligera presión por 120 minutos. Los quesos se colocaron en cámara fría a 5ºC por 12 horas. Luego, se procedió al salado por inmersión en una solución de NaCl al 16 % (p/v) a 5ºC por 2 horas. La maduración se realizó a 12ºC y 85 % de humedad, por 30 días. Al finalizar la maduración, se envasaron al vacío. Se obtuvieron quesos de aproximadamente 700 g. Se realizaron tres ensayos independientes para cada tipo de queso CS, queso elaborado con el cultivo

iniciador autóctono S; CA, queso elaborado con el cultivo autóctono A (cultivo iniciador más cultivo adjunto); CC, queso elaborado con el cultivo comercial). Se tomaron muestras en el primer y último día de maduración, para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Durante la maduración, se realizaron volteos diarios para limpiar la superficie y eliminar el desarrollo de hongos, cuando resultó necesario.

2.4 Análisis para determinar la composición global de los quesos

Se determinaron los contenidos de grasa, de NaCl y de acidez (AOAC, 2006). Se midieron la materia seca (Standard IDF 4A (1982), el nitrógeno total (Rossi et al., 2004), el nitrógeno no proteico (Standard IDF 25 1964), la acidez de la grasa (Standard IDF 6A 1969), la actividad del agua (aw) mediante el equipo ROTRONIC aw Quick (USA), de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Los ácidos grasos libres (FFAs) se extrajeron a partir de la grasa del queso por una columna cromatográfica de separación en etapas (Deeth et al., 1983). FFAs desde C4:0 to C18:1 se determinaron mediante cromatografía gaseosa usando un cromatógrafo gaseoso Shimadzu CG-17A equipado con un detector de ionización de llama (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) y con una columna Nukol (Supelco, Inc., Bellefonte, PA, USA, 30 m×0.25 mm ID×0.25 μm de espesor de film). El gas carrier fue N2 a una velocidad de flujo de 3 ml/min, el programa para la temperatura del horno fue 100°C (0 min), 16 °C.min^{-1}, 210°C (30 min). Los FFAs se detectaron al día 1 (FFA1) y al finalizar la maduración (FFA30).

2.5 Análisis microbiológicos realizados a los quesos

Para los análisis microbiológicos, 10 g de queso se colocaron en 90 ml de solución de citrato de sodio al 2 % p/v, se homogeneizaron en un Stomacher (Laboratory Blender Stomacher

model 400, Seward Medical, London, U.K.) empleando peptona solución salina como diluyente, este homogenado se usó para inocular los medios de cultivo específicos. Los análisis microbiológicos se realizaron por triplicado, al primero y al último día de maduración). Se determinaron bacterias lácticas mesófilas (MRS agar pH 6.5, a 35ºC- 48 h) y según ANMAT (2023), se determinaron: hongos y levaduras (HyL agar, 5 días a 30ºC), microorganismos aerobios mesófilos totales (APC, 35ºC, 48 h). Según ANMAT (2014), coliformes a 30ºC (método MPN, serie de tres tubos, Brilliant Green Lactose Bile Broth, 48 h a 30ºC) y a 45ºC (método MPN, serie de tres tubos, Brilliant Green Lactose Bile Broth, 48 h a 45ºC).

2.6 Análisis sensorial realizado a los quesos

Para obtener el perfil sensorial de los quesos al final de la maduración, un panel interno de 9 jueces evaluó sensorialmente a los quesos. Dicho panel estuvo compuesto por 6 varones y 3 mujeres entre 30 a 45 años, preparados y entrenados en análisis sensorial de quesos. Los panelistas definieron la terminología para describir los atributos sensoriales de los quesos caprinos en tres sesiones de entrenamiento. Se aplicó el análisis descriptivo de acuerdo a la técnica del consenso (IRAM, 1997; Chamorro y Losada, 2002) y se realizó en tres sesiones con muestras de cada tipo de queso, dichas muestras se sirvieron refrigeradas a (4 ± 1ºC). Los atributos sensoriales de olor y flavor se evaluaron usando una escala de intensidad de cinco puntos, partiendo de menos intenso a más intenso para la mayoría de los atributos. Se analizó estadísticamente el valor medio de las tres evaluaciones para cada atributo para cada panelista. La impresión global del producto se obtuvo considerando tanto la intensidad de las notas de flavor presentes como las mezclas de las mismas y se calificó como buena (intensidad alta), regular (intensidad media) y mala (intensidad baja).

2.7 Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Los resultados corresponden al valor medio de tres ensayos independientes para cada tipo de queso, durante un período de seis meses y se expresan como el valor medio $\pm$ el desvío estándar (DS). Se realizó el Análisis de la Varianza (InfoStat 2011, Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) para determinar diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre muestras. Se usó el test de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación post-hoc entre medias.

3. Resultados y Discusión

Ensayo para determinar la capacidad de acidificación de las bacterias lácticas Durante la elaboración de quesos, se ha observado que la actividad de las BLs iniciadoras produce una disminución en el pH de la leche, y a consecuencia de ello, se acorta el tiempo de coagulación y rápidamente se logra elevada firmeza en el coágulo de caseína (Brule y Lenoir, 1990). De todas las cepas estudiadas, *L. plantarum* UNSE316 y *S. thermophilus* UNSE314 presentaron la mayor capacidad de acidificación. Las cepas de *S. thermophilus* y de *L. bulgaricus* se usan habitualmente como iniciadoras, ellas alcanzaron el pH deseado de 5,2 después de 4 y 5 horas de incubación, respectivamente. Dado que las cepas de *L. plantarum* se usan habitualmente como adjuntos, se colocaron en menor proporción en el cultivo A. La disminución del pH (al menos por debajo de 5,3) lleva a una disminución de cargas negativas en las caseínas y esto puede favorecer la compactación del coagulo por formación de enlaces; por otro lado, esto conduce a la disolución del fosfato de calcio desde las micelas de caseínas actuando en sentido contrario al incremento de las cargas negativas. Probablemente, el balance entre estos efectos pueda explicar

el efecto del pH sobre la firmeza del gel (Janhøj y Qvist, 2010). Para determinar la proporción óptima de inoculación de los cultivos A y S, se realizó el ensayo para determinar la capacidad de acidificación inoculando en distintas proporciones (1, 1,5 y 2 % v/v) los cultivos S y

A. Los resultados se muestran en las Figuras 1 y 2.

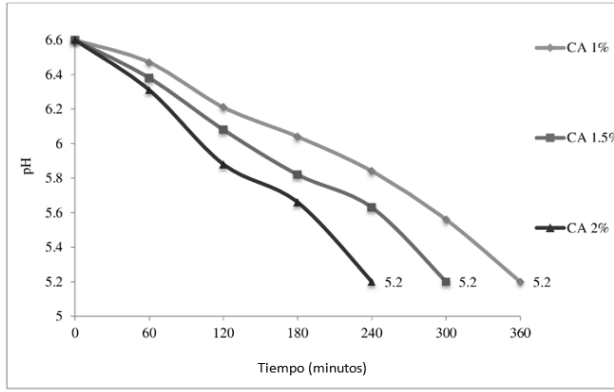


Figura 1. Curva de acidificación en la elaboración de queso con el cultivo A en distintas proporciones.

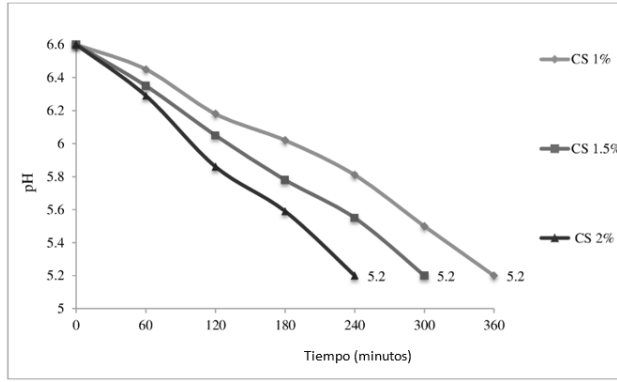


Figura 2. Curva de acidificación en la elaboración de queso con el cultivo iniciador S en distintas proporciones.

Los cultivos A y S al 2 % (v/v) alcanzaron el pH deseado (5,2) después de 4 horas de incubación de la cuajada. En consecuencia, esta proporción de 2 % (v/v) se seleccionó para la elaboración de los quesos.

3.1 Composición química de la leche

Los valores (valores medios ± desviación estándar) de los parámetros fisicoquímicos de la leche usada en la elaboración de los quesos fueron (% p/v): lactosa, 4,80±0.01; proteína, 3,82±0.01; grasa, 5,85±0,04; total de sólidos no grasos, 9,40±0,01; punto de congelación (ºC), -0,523 ± 0,000; acidez, 0,17 % (p/v) expresada como ácido láctico; densidad (a 15ºC) (g/ml) 1,0320 ± 0,0023 y el pH fue 6,5±0,10.

3.2 Composición global de los quesos

En la Tabla 2 se presentan parte de los resultados de los análisis realizados.

Los valores medidos de grasa en la materia seca (25,0-44,9 %) y los valores de humedad (46,0-55,0 %), están de acuerdo al rango establecido por ANMAT, 2014 para quesos semi grasos y para quesos frescos, respectivamente. Los resultados evidencian que CC, CA y CS no mostraron diferencias significativas ($p<0,05$) en los contenidos de: proteína, grasa, NaCl, acidez, acidez de la grasa y aw, medidos en los mismos tiempos de maduración. Los contenidos de grasa y de proteína fueron similares a aquellos informados para quesos frescos de cabra (Franco et al., 2003; Janštová et al., 2010). En todos los quesos elaborados (quesos experimentales) en este ensayo, la acidez titulable incrementó progresivamente durante la maduración. Los valores finales de acidez (1,05 %) fueron el doble de aquellos informados por López Alzogaray et al., (2007) en quesos caprinos elaborados sin la adición de cultivos iniciadores, pero

fueron ligeramente menores a los informados por González y Zárate (2012) (1.26 %) en quesos caprinos elaborados con cultivos iniciadores nativos. El pH final de CS (4,92) y de CA (4,88) fueron ligeramente mayores que los encontrados por Areti Asteri et al., (2010) (4,53) en queso fresco. De todos los quesos experimentales, CC mostró el mayor valor de pH (5,05). Los valores de pH menor que 4,0, corresponden a un queso muy ácido y quebradizo, los valores de pH mayores a 5,0 no son adecuados para asegurar la conservación de la calidad de este tipo de queso (Alichanidis y Polychroniadou, 2008). Ya que los cambios en la acidez de la grasa muestran la evolución de la lipólisis, todos los quesos experimentales evidenciaron ligera lipólisis, alcanzando valores finales equivalentes a ~3.2 mEq de ácido/100 g de grasa). Se detectaron moderados niveles de ácidos grasos libres al finalizar la maduración en todos los quesos experimentales (~3 g kg^{-1}), siendo la relación FFA30/FFA1 cercana a 6,8. De acuerdo a Collins et al. (2003), en quesos que experimentaron ligera lipólisis, moderados niveles de FFAs, en el orden de 2–7 g kg-1, se liberan durante la maduración, contribuyendo al flavor y al aroma característicos de los quesos elaborados tanto con leche cruda como pasteurizada.

La proteólisis es el evento más complejo que ocurre durante la maduración y contribuye significativamente al flavor, a través de la liberación de aminoácidos y pequeños péptidos (Fox y Cogan, 2004). En los quesos experimentales se detectó ligera proteólisis ya que los valores de nitrógeno no proteico expresados como porcentaje del nitrógeno total fueron menores (4,54- 4,49 %) que los informados para quesos sujetos a moderada proteólisis (18,20 %) (Fontecha et al.,1990) pero mayores a los encontrados por Olarte et al.,(2000) (4,12 %) y Albenzio et al., (2006) (0,2-0,4 %). De todos los quesos experimentales, en CC se determinaron los menores niveles de proteólisis durante la maduración. Los niveles de NaCl tienen una influencia marcada en el flavor y en el aroma del queso y, en

consecuencia, sobre la calidad global (Guinee, 2004). Los valores de sal detectados en los quesos experimentales (1,27 %) estuvieron de acuerdo a los informados para la mayoría de los quesos (0,5 a 2 %) (Hardy, 1990). Se destaca que el protocolo de elaboración descripto en este trabajo permitió el control exitoso de los factores que afectan la captación y la distribución de sal en el queso, en consecuencia, se detectaron moderados valores del contenido de sal sin afectar la calidad global del queso.

Los valores son la media de tres ensayos para cada tipo de queso. Letras diferentes en cada columna al mismo tiempo de maduración indican diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$) entre quesos experimentales. [a]Quesos experimentales, CC (queso elaborado con cultivo comercial C), CS (queso elaborado con cultivo iniciador autóctono S), CA (queso elaborado con cultivo iniciador autóctono y cultivo adjunto A).

Días de maduración	Quesos[a]	Acidez titulable g de ácido láctico /100g de queso	NPN (%TN)	Acidez de la grasa mg KOH 0,1N/ g de grasa
0	CS	0.75 ± 0.07^{B}	$1{\cdot}48\pm0.34^{C}$	0.180 ± 0.007^{A}
	CA	0.73 ± 0.04^{B}	$1{\cdot}43\pm0.22^{C}$	0.182 ± 0.005^{A}
	CC	0.70 ± 0.07^{B}	$1{\cdot}41\pm0.20^{C}$	0.183 ± 0.005^{A}
30	CS	1.05 ± 0.07^{A}	4.54 ± 0.22^{A}	$1.790\pm0{\cdot}006^{B}$
	CA	1.04 ± 0.07^{A}	4.49 ± 0.22^{A}	$1.782\pm0{\cdot}005^{B}$
	CC	1.02 ± 0.06^{A}	4.18 ± 0.22^{B}	$1.757\pm0{\cdot}008^{B}$

Tabla 2. Valores de acidez titulable, nitrógeno no proteico y acidez de la grasa de los quesos experimentales al inicio y al finalizar la maduración

Los valores son la media de tres ensayos para cada tipo de queso. Letras diferentes en cada columna al mismo tiempo de maduración indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) entre quesos experimentales. [a]Quesos experimentales, CC (queso elaborado con cultivo comercial C), CS (queso elaborado con cultivo iniciador autóctono S), CA (queso elaborado con cultivo iniciador autóctono y cultivo adjunto A).

Días de maduración	Quesos[a]	Proteína (% TS)	Grasa (% p/p)	Sólidos totales (% p/p)
0	CS	32.73 ± 0.30^{B}	30.27 ± 0.32^{B}	48.52 ± 0.30^{B}
	CA	32.80 ± 0.32^{B}	30.52 ± 0.28^{B}	48.73 ± 0.33^{B}
	CC	32.48 ± 0.20^{B}	30.12 ± 0.36^{B}	48.40 ± 0.23^{B}
30	CS	34.90 ± 0.30^{A}	33.70 ± 0.39^{A}	52.50 ± 0.30^{A}
	CA	34.98 ± 0.25^{A}	33.83 ± 0.35^{A}	52.55 ± 0.28^{A}
	CC	34.68 ± 0.22^{A}	33.23 ± 0.33^{A}	52.68 ± 0.28^{A}

Tabla 3. Composición en proteína, grasa y sólidos totales de los quesos experimentales al inicio y al finalizar la maduración

3.3 Análisis microbiológicos realizados a los quesos experimentales

Los resultados evidencian que CC, CA y CS no se diferenciaron significativamente ($p < 0.05$) en los conteos de microbios aerobios mesófilos y de coliformes a 30ºC, en los mismos tiempos de maduración. Los conteos detectados de coliformes totales por gramo a 30ºC fueron menores que el máximo permitido por la legislación argentina (m=5000; M=10000), para quesos de alta humedad (46,0-55,0 % humedad) (ANMAT, 2023). No se

detectaron coliformes a 45ºC. Los resultados confirmaron que el protocolo empleado para la elaboración permitió obtener quesos microbiológicamente seguros. Durante la maduración de los quesos, los conteos de BLs mesófilas en MRS agar incrementaron aproximadamente un ciclo logarítmico (se evidenció por el incremento en la acidez titulable), mientras que coliformes disminuyeron aproximadamente un ciclo logarítmico. A los 30 días, de todos los quesos experimentales, CC presentó los mayores conteos de hongos y levaduras y los menores conteos de BLs. Los resultados indican que BLs permanecen viables en los quesos a los 30 días de maduración y contribuir a una moderada lipólisis ya que los lactobacilli homofermentadores obligados usados en el cultivo iniciador (L.rhamnosus UNSE308, L.delbrueckii subsp.bulgaricus UNSE309) y los lactobacilli heterofermentadores (L.plantarum UNSE 316 y UNSE317) y pediococci (Pediococcus pentosaceus UNSE22 y UNSE253) usados como cultivos adjuntos evidenciaron actividad esterasa y esterasa- lipasa en estudios previos (Taboada et al., 2014a). Análisis sensorial realizado a los quesos experimentales.

Los resultados de la evaluación sensorial mostraron que CA recibió la más alta calificación, seguido de CS, en comparación con CC, a los 30 días de maduración. CA y CS mostraron diferencias significativas en los atributos de olor como leche fresca, frutal y ácido propiónico. CA presentó la más alta calificación para los atributos frutal y ácido propiónico, y también notas caprinas más potentes en relación a CC (Figura 3). Con respecto al flavor (Figura 4), todos los tipos de quesos mostraron diferencias significativas para los atributos de flavor como crema, picante, ácido propiónico y amargor. Se destacó CA por obtener la más alta calificación para crema y picante y la menor calificación para los atributos de amargor. La impresión global de CA y CS se calificó como buena comparada con CC, que recibió la calificación de regular.

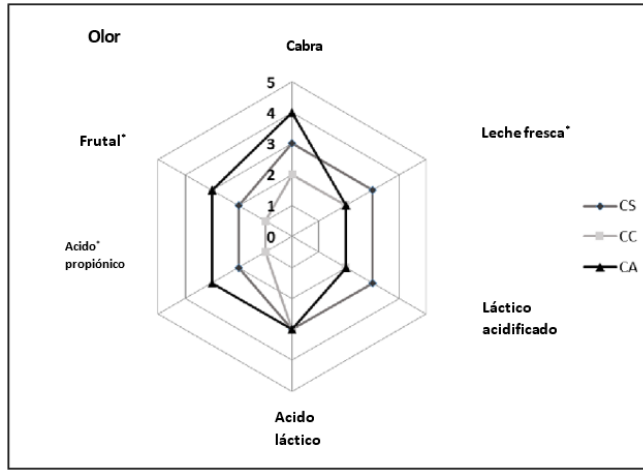


Figura 3. Perfil sensoral cuantitativo de tres tipos de quesos de frescos (CS, CA, CC) al final de la maduración (30 días) (*p<0,05) Atributo Olor.

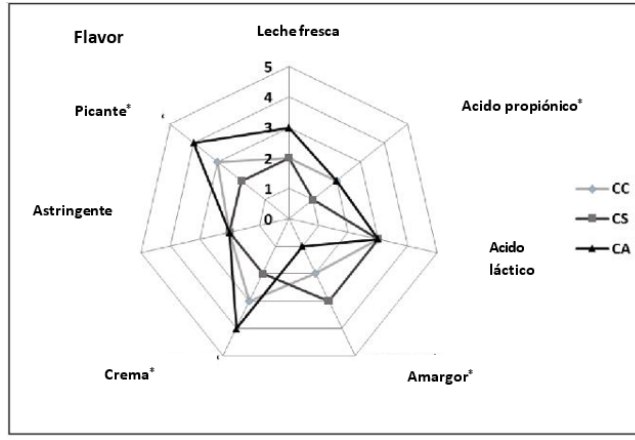


Figura 4. Perfil sensorial cuantitativo de tres tipos de quesos de frescos (CS, CA, CC) al final de la maduración (30 días) (*p<0,05) Atributo Flavor.

4. Conclusiones

Los quesos frescos de cabra elaborados con cultivos autóctonos evidenciaron moderados procesos de lipólisis y de proteólisis durante la maduración de 30 días, obteniéndose un producto con apropiado flavor típico y con características sensoriales generales satisfactorias. Estos resultados pueden ser de gran interés para la eventual elaboración de este tipo de queso a escala industrial bajo condiciones controladas.

Referencias

AACREA-Caprinos, Agroalimentos II. Disponible en http://www.produccion- animal.com.ar/produccion_caprina/produccion_caprina/22- produccion_caprinos_aacrea.pdf.

Albenzio, M., Caroprese, M., Marino, R., Muscio, A., Santillo, A., Sevi, A. (2006). Characteristics of Garganica goat milk and Cacioricotta cheese. Small Rumin Res. 64: 35–44.

Alichanidis, E., Polychroniadou, A. (2008). Characteristics of major traditional regional cheese varieties of East-Mediterranean countries: a review. Dairy Sci Technol. 88: 495–510.

ANMAT, (2023). Alimentos lácteos In: Chapter 8 in Código Alimentario Argentino. www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp (acceso 5-04-2023). pp93-94.

AOAC, (2006). Titrimetric acidity of milk, official method 947.05. Dairy Products. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington, DC, USA.

AOAC, (2006). Density, official method 925.22. Dairy Products. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington, DC, USA.

AOAC, (2006). Titrimetric Acidity of cheese, official method 920.124. Dairy Products. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington, DC, USA.

AOAC, (2006). Titrimetric salt in cheese, official method 975.20. Dairy Products. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington, DC, USA.

AOAC, (2006). Titrimetric fat in cheese, official method 933.05. Dairy Products. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington, DC, USA.

Areti Asteri, I., Kittaki, N., Tsakalidou, E. (2010). The effect of wild lactic acid bacteria on the production of goat's milk soft cheese. Int J Dairy Technol. 63:234-242.

Banks, J.M. (2007). Cheese yield: Cheese Problems Solved. McSweeney, P.L.H. (ed.).

Woodhead Publishing series. Cambridge.pp 100-110.

Brule, G., Lenoir, J. (1990). The general mechanisms of transformation of milk into cheese. Coagulation of milk. Omega editions. Barcelona, Spain. pp. 3-21.

Buffa, M., Guamis, B., Saldo, J., Trujillo, A.J. (2004). Changes in organic acids during ripening of cheeses made from raw, pasteurized or high pressure-treated goats' milk. LWT – Food Sci Technol. 37:247–253.

Burns, P., Cuffia, F., Milesi, M., Vinderola, G., Meinardi, C., Sabbag, N., Hynes, E. (2012). Technological and probiotic role of adjunct cultures of non-starter lactobacilli in soft cheeses. Food Microbiol. 30:45–50.

Chamorro, C., Losada, M.M. (2002). El análisis sensorial de los quesos, AMV Ediciones. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Collins, C.H., Lyne, P.M., Grang, J.M. (1991). Antimicrobial susceptibility and assay tests. In: Microbiological Methods. 6th ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, pp. 155–168.

Collins, Y.F., McSweeney, P.L.H., Wilkinson, M.G. (2003).Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge. Int Dairy J.13:841–866. Coppola, S.,

Blaiotta, G.,Ercolini, D. (2008). Dairy Products: Molecular Techniques in the MicrobialEcology of Fermented Foods. Cocolin, L., Ercolini, D (eds). New York, USA, pp.35

Deeth, H.C., Fitzgerald, C.H., Snow, A.J. (1983). A gas chromatographic method for the quantitative determination of free fatty acids in milk and milk products. New Ireland J Dairy Sci Technol. 18: 13-20.

FAO. (2013). FAOSTAT Database. Available: http://faostat3.fao.org. accessed: June 9, 2016.

FIL-IDF (1964). Determination of the Non-protein nitrogen content of the processed cheese products. IDF Standard 25. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.

FIL-IDF (1969). Milk fat products and butter. Determination of fat acidity. IDF Standard 6A. International Dairy Federation. Brussels, Belgium.

FIL-IDF (1982). Cheese and Processed Cheese – Determination of total solids content.

IDF Standard 4A. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.
Franco I, Prieto B, Bernardo A, González Prieto J and Carballo J. (2003). Biochemical changes throughout the ripening of a traditional Spanish goat cheese variety (Babia- Laciana). Int Dairy J. 13:221–230.
Fox, P.F., McSweeney, P.L.H. (2004). Cheese: An Overview in Cheese: chemistry, physics and microbiology. Fox, P.F., McSweeney, P.L., Cogan, T.M., Guinee, T.P., eds. London: Elsevier Academic Press, pp. 8.
Fox, P.F., Cogan, T.M. (2004). Factors that affect the quality of cheese. Cheese: chemistry, physics and microbiology. Fox, P.F., McSweeney, P.L., Cogan, T.M., Guinee, T.P., eds.London: Elsevier Academic Press, pp. 583-608.
Fontecha, J., Peláez,C., Juárez, M., Requena, T., Gómez, C.(1990). Biochemical and Microbiological Characteristics of Artisanal Hard Goat's Cheese. J Dairy Sci. 73:1150-1157.
Guinee, T.P. (2004). Salting and the role of salt in cheese. (2004). Int J Dairy Technol.
Hardy, J. (1990). The cheese. The general mechanisms of transformation of milk into cheese. Water activity and salty cheeses. Omega editions. Barcelona, Spain. P 35- 55.
Hynes, E., Ogier, J.C., Delacroix-Buchet, A. (2000) Protocol for the manufacture of miniature washed curd cheeses under controlled microbiological conditions. Int. Dairy. J. 70:733-37.
González, L., Zárate, V. (2012). Influence of an autochthonous starter culture and a commercial starter on the characteristics of Tenerife pasteurised goats' milk cheese. Int J dairy technol. 65: 542-547.
IRAM 20012:1997. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Métodos para determinar el perfil de flavour. Buenos Aires, Argentina.
Janštová, B., Dračková, M., Cupáková, Š., Přidalová, H., Pospíšilová, M., Karpíšková, R., and Vorlová, L. (2010). Safety and Quality of Farm Fresh Goat's Cheese in the Czech Republic. Czech J. Food Sci. Vol. 28, No. 1: 1–8.
JanhØj, T., Qvist, K.B. (2010).The formation of cheese curd Te-

chnology of Cheesemaking. Second Edition. Law B.A., Tamime, A.Y. (Eds). U.SA.pp.130-156

Leroy, F., and De Vuyst, L. (2004) Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. Trends Food Sci Technol 15:67-78

López Alzogaray, S., Taboada, N., Neme, H., Núñez, M. (2007). Contributions to the Characterization of Artisanal Goat Cheese in the Province of Santiago del Estero. Latin American Dairy Technol. 47: 46-9.

Martínez, G.M. y Suárez, V.H. (2018). *Lechería Caprina: producción, manejo, sanidad, calidad de leche*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_lecheria_caprina.pdf. Acceso en la Fecha 24/04/2023.

Mäyrä-Mäkinen, A., Bigret, M. (2004). Industrial use and production of lactic acid bacteria. In: Salminen, S., Von Wright, A., Ouwehand, A.C., eds. Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects. New York: Marcel Dekker, pp. 175–198.

Olarte, C., Sanz, S., Gonzalez-Fandos, E., Torre, P. (2000).The effect of a commercial starter culture addition on the ripening of an artisanal goat's cheese (Cameros cheese). J Applied Microbiol. 88:421–429.

Oliszewski, R., Rabasa, A.E., Fernández, J.L., Poli, M.A., Núñez de Kairúz, M.S. (2002). Composición química y rendimiento quesero de la leche de cabra Criolla Serrana del noroeste argentino. Zootecnia Tropical. 20:179-189

Reinheimer, J., Zalazar, C (2006). Cheese Ripening and its Control: Advances in Microbiology, Biochemistry and Technology of Cheese: edited by Reinheimer, J., and Zalazar, C. A. Santa Fé, Argentine: National University of Litoral, pp.177-244. Rossi, A.M., Villarreal, M., Juárez, M.D., Samman, N. (2004). Nitrogen content in food: comparison between the Kjeldhal and Hach method. J Argentine ChemSociety. 92:99–108.

Settanni, L., Moschetti, G. (2010). Non-starter lactic acid bacteria used to improve cheese quality and provide health benefits. Food Microbiol. 27:691–697.

Taboada, N., Núñez, M., Medina, R., López Alzogaray, M.S.

(2014a). Characterization and technological properties of lactic acid bacteria isolated from traditional Argentinean goat's milk products. Food Biotechnol. 28: 123–141.

Taboada, N., López Alzogaray, S., Abeijon Mukdsi, M., Medina, R. (2014b). Esterase activities and biochemical properties of lactic acid bacteria isolated from goat's milk cheese in Argentina. J Agr. Sci Tech. B 4: 752–760.

Taboada, N., Van Nieuwenhove, C., López-Alzogaray, S., Medina, R. (2015). Influence of autochthonous cultures on fatty acid composition, esterase activity and sensory profile of Argentinean goat cheeses. J Food Comp Anal. 40: 86–94.

EFECTO DEL ESCALDADO SOBRE LA ACTIVIDAD CATALÍTICA DE LIPOXIGENASA DE HORTALIZAS

Analía V. Medina[1], Lucrecia L. Chaillou[1], Mónica A. Nazareno[1,2]

Resumen

Las arvejas y el choclo son alimentos ricos en lípidos insaturados que poseen enzimas prooxidantes, como la lipoxigenasa (LOX), que promueven procesos de oxidación lipídica con las consiguientes pérdidas nutricionales y organolépticas. El escaldado es uno de los procesos que se usa para la inactivación enzimática total o parcial. Además, la metodología de superficie de respuesta (MSR) permite la combinación óptima de variables en procesos operativos complejos. En este trabajo se utilizó la inactivación de LOX como indicador de la eficacia del proceso, usando MSR se establecieron las condiciones óptimas para el

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto de Ciencias Químicas. Santiago del Estero, Argentina

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero. Argentina

escaldado de granos de choclo y de arveja. Los resultados obtenidos permiten proponer a la LOX como indicador de la eficiencia del escaldado en varios vegetales como una promisoria alternativa en lugar de la peroxidasa utilizada convencionalmente.

Palabras clave: actividad enzimática, arvejas, choclo, escaldado, lipoxigenasa

1. Introducción

Las frutas y verduras son alimentos cuya incorporación es recomendada por los nutricionistas para una dieta saludable debido a que constituyen una excelente fuente de agua, minerales, fibras y compuestos bioactivos tales como polifenoles, carotenoides, tocoferoles y ácido ascórbico, entre otros, a los cuales se les atribuyen efectos benéficos para la salud humana (Li et al., 2017). Además, en las últimas décadas se ha hecho evidente una mayor preocupación por parte de los consumidores en escala global, respecto a la calidad e inocuidad de los alimentos que ofrece el mercado. En ese sentido, existe una marcada tendencia hacia la búsqueda de productos saludables y/o que no representen riesgos significativos para la salud y que, además de esto, ofrezcan una mayor frescura y practicidad a la hora de su consumo y/o elaboración en el hogar, así como también que se puedan almacenar durante días o incluso períodos más largos (Rodríguez y Qüesta, 2013; Rodríguez et al., 2017).

Durante la recolección, manipulación, acondicionamiento y almacenamiento de vegetales, pueden ocurrir cambios nutricionales y sensoriales. En consecuencia, la industria agroalimentaria ha tenido, y tiene, como desafío la generación de tecnologías de conservación que permitan ofrecer alimentos con una buena calidad sanitaria, cuyas características iniciales se mantengan al máximo posible y que puedan ser consumidos

de manera directa como producto fresco, o bien que se reduzcan los procesos de elaboración a los que deben ser sometidos, una vez sacados del empaque. Bajo estos principios, surgen los Alimentos Mínimamente Procesados (AMP), los cuales combinan frescura y practicidad, siendo empacados y comercializados como los procesados. De esta forma, las frutas y hortalizas mínimamente procesadas o de la IV gama, son aquellas en cuya elaboración se incluyen las operaciones convencionales de selección, clasificación, lavado, pelado (opcional), cortado (opcional), desinfección, secado y empacado, y que por lo general se transportan y comercializan a baja temperatura (Wiley, 1997; Rodríguez y Qüesta, 2013; Rodríguez et al., 2017).

Para extender la vida útil de las frutas y verduras, y antes de los procesos industriales de conservación de alimentos tales como el secado, la congelación, la fritura y el enlatado, se utilizan diferentes métodos para inactivar o reducir la actividad enzimática; entre ellos, el más utilizado continúa siendo el escaldado, que permite preservar la calidad del vegetal tratado.

1.1 Escaldado

El escaldado es un tratamiento térmico de corta duración que se lleva a cabo calentando rápidamente el alimento hasta una temperatura predeterminada, manteniéndolo a esta temperatura durante un tiempo dado y, luego, enfriándolo o pasándolo al siguiente proceso de elaboración sin pérdida de tiempo. Generalmente, se emplea en frutas y hortalizas antes de aplicar procesos de conservación más intensos tales como la congelación, el secado o el enlatado (Brenann, 1998; Fennema, 2000).

Los alimentos congelados o deshidratados que no fueron previamente escaldados, experimentan cambios negativos, relativamente rápidos, en las propiedades de calidad como color, sabor, textura y valor nutricional, debido a la continua actividad de las enzimas (Netemeyer et al., 2003). Es por esto que se

aplica el escaldado o blanqueo para, principalmente, inactivar enzimas antes de la congelación o la deshidratación.

Los objetivos del escaldado son los siguientes:

- Limpiar el producto e inhibir las reacciones enzimáticas indeseables, por destrucción térmica de las enzimas que si estuvieran activas darían lugar a aromas, sabores o coloraciones extrañas; provocando un efecto adverso en la calidad y valor nutritivo del producto (Lago y Noreña, 2014).
- Posibilitar un mejor aprovechamiento de los recipientes al disminuir el tamaño de la materia prima, como consecuencia de la coagulación forzada de las proteínas y contracción por la liberación de agua (Afoakwa, 2013; Barrett y Theerakulkait, 1995).
- Remover el aire atrapado en los tejidos que puede causar reacciones de oxidación durante el almacenamiento en frío (Barrett y Theerakulkait, 1995; Xiao et al., 2017).
- Mejorar el sabor y estabilizar el color verde de los vegetales por activación de las clorofilas (Fenema, 2000).
- Reducir la carga microbiana viable, ya sean células vegetativas, levaduras y/o hongos (Afoakwa, 2013; Barrett y Theerakulkait, 1995).
- Disminuir el tiempo de cocimiento del producto final (Afoakwa, 2013).
- Incrementar la flexibilidad de los productos, lo que permite su manipulación más segura en el momento del envasado, reduciéndose las roturas y consiguiéndose un mejor aprovechamiento del volumen del envase (Xiao et al., 2017).

Muchos vegetales congelados, así como los deshidratados y enlatados, se deben someter a escaldado, especialmente si se almacenarán por periodos de tiempo prolongados, puesto que, con el tiempo, los vegetales que no fueron escaldados son más fibrosos, menos dulces e insípidos y sin sabor ni

aroma atractivos; cualidades que siguen deteriorándose, perdiendo, en muchos casos, la frescura después de 6 meses de almacenamiento. Después de un año o más, el sabor y el aroma son desagradables al cocinarlos, siendo similares al heno. Sin embargo, el tratamiento no debe ser excesivo, ya que el sobreescaldado produce una excesiva lixiviación de minerales, pigmentos, vitaminas, pérdida de sabor y valor nutricional (Gonçalves et al., 2010). Por ello, se deben aplicar tratamientos cortos a temperatura moderada (Woodroof, 1988).

1.2 Métodos de escaldado

Los dos métodos de escaldados más utilizados en la industria alimentaria son: (i) escaldado por inmersión en agua caliente, y (ii) escaldado con vapor de agua (Fennema, 2000).

El escaldado con vapor implica tiempos más cortos de tratamiento y causa menores pérdidas por lixiviación de nutrientes. Sin embargo, los beneficios ganados por el uso de vapor pueden perderse por su elevado costo de implementación (Woodroof, 1988), puesto que se consume una gran cantidad de energía. Por ejemplo, en un escaldador de vapor convencional, al que no se le hayan aplicado sistemas de recuperación, se puede perder cerca del 95 % del vapor consumido (Casp et al., 1999); y se utiliza una excesiva cantidad de agua para enfriamiento. Mendoza (2012) reportó que el escaldado con vapor limita las pérdidas de sólidos y apenas presenta diferencias en los tiempos de proceso con agua caliente, sin embargo, no es la alternativa usualmente escogida debido a que es difícil configurar un tratamiento uniforme y como la limpieza del alimento es limitada, se requieren limpiadores adicionales, entre otros aspectos (Brenann, 1998).

La doble pérdida de nutrientes, tanto por difusión como por lixiviación durante el escaldado por inmersión, puede ser reducida mediante un escaldado en serie, esto es, usando el

agua para el escaldado y para enfriar el producto, recirculándola en varias oportunidades. Ya que la pérdida de compuestos hidrosolubles se estabiliza luego de cierta concentración de nutrientes lixiviados en el agua de escaldado, la adición de ciertos minerales al agua de escaldado ayuda a estabilizar este proceso (Woodroof, 1988).

1.3 Control del escaldado

Para determinar los parámetros óptimos de escaldado, se utilizan modelos cinéticos, las variables del proceso son el tiempo y la temperatura de blanqueo, y la variable dependiente es la actividad enzimática residual en los alimentos. Si se conoce la cinética de la inactivación térmica de cualquier enzima, es posible predecir la fracción residual de la enzima en función de la temperatura, el tiempo de blanqueo, la geometría y las dimensiones del producto (Barreiro y Sandoval, 2006).

Las enzimas, al ser proteínas, se desnaturalizan por efecto de tratamientos térmicos, debido a una ruptura de las fuerzas que mantienen la estructura terciaria (pocas enzimas están activas a temperaturas superiores a 60 ºC y muchas de ellas se inactivan entre 40 y 50 ºC).

Ediriweera et al. (2016) señalan que debido a que la energía de activación para los procesos de desactivación térmica es más elevada para las enzimas que para otros compuestos tales como pigmentos, ácido ascórbico, etc., la velocidad de inactivación aumenta rápidamente con la temperatura. Este hecho es consistente con las altas entropías de formación del complejo activado debido a que la escisión de una gran cantidad de enlaces de baja energía conducen a una estructura más desordenada en el complejo activado (Adams, 1991).

Los parámetros termocinéticos que caracterizan a las enzimas son:

a) Constante de velocidad de reacción (*k*)

La inactivación de enzimas por el calor, a temperatura constante, puede representarse por la ecuación (1) (Manohan y Chen Wi, 2012):

$$\log\left(\frac{A_0}{A}\right) = \frac{kt}{2{,}303} \qquad \mathbf{(1)}$$

Dónde A_0 es la actividad al tiempo t y k es constante de velocidad de reacción

b) Energía de activación (E_a)

Esta energía se relaciona con la temperatura, se rige por la ecuación de Arrhenius (Fennema, 2000).

$$k = k_0\, e^{-\frac{Ea}{RT}} \qquad \mathbf{(2)}$$

Dónde k_0 Factor pre-exponencial o de frecuencia (constante), R = Constante universal de los gases ideales (8.31J/K mol), T es la Temperatura en grados absolutos y E_a es la Energía de activación que expresa el grado de dependencia respecto a la temperatura de la reacción en cuestión (Fennema, 2000).

1.4. Escaldado en la industria alimentaria

Entre los vegetales frescos que se consumen en todo el mundo, los granos de choclo (*Zea mays* L.) y las arvejas (*Pisum sativum* L.) son relevantes debido a su aporte nutricional (Shukla y Mishra, 2014). Estas hortalizas son ricas en proteínas, carbohidratos, fibras, aminoácidos esenciales, varios micronutrientes como minerales, vitaminas (De la Parra y Liu, 2007; Bhattacharya y Malleshi, 2012) y ácidos grasos insaturados, como ácidos oleico, linolénico y linoleico (Tharanathan y Mahadevamma, 2003). Además, los granos de choclo y las arvejas, como muchas otras semillas y legumbres, también contienen enzimas como peroxidasa (POD), LOX, lipasa, proteasa, catalasa, entre otras (Boyes et al., 1997), que actúan como agentes cruciales para la defensa de las plantas (Dwiecki et al. 2012). De hecho,

algunas de éstas, como las polifenoloxidasas (PPO), POD, LOX y fenolasa, pueden conducir al inicio de reacciones de deterioro oxidativo de los alimentos, es decir, color indeseable, sabor o cambios nutricionales (Gonçalves et al., 2010).

La LOX lleva a cabo la oxigenación o peroxidación de diversos compuestos insaturados, como ácidos grasos libres, triacilgliceridos, pigmentos y algunas vitaminas (Liavonchanka y Feussner, 2006). La LOX tiene una doble acción en las frutas y verduras: una benéfica y otra perjudicial; en el primer caso, como parte del metabolismo normal de estos alimentos, es la responsable de la síntesis de diversos alcoholes y aldehídos característicos del aroma agradable en productos frescos maduros. Sin embargo, después de la cosecha y durante el almacenamiento y procesamiento es la causante de cambios indeseables, ya que oxida lípidos y genera compuestos de olores desagradables. Su acción provoca la destrucción de los ácidos grasos esenciales y la formación de peróxidos, éstos, además, son capaces de oxidar a otras sustancias, descomponiéndose en compuestos carbonílicos de olor intenso (Porta y Rocha, 2002).

En la industria alimentaria, las actividades de POD y PPO se usan, comúnmente, como indicadores de la eficacia del blanqueo. PPO es responsable de las reacciones de pardeamiento de frutas y verduras que provocan cambios indeseables en la calidad (Tomás-Barberán y Espín, 2001). La POD cataliza una gran cantidad de reacciones asociadas con el deterioro de caracteres organolépticos tales como las pérdidas de color y de sabor, así como también de la composición nutritiva de alimentos de origen vegetal (Cruz et al., 2006; Brewer et al., 1995). Sin embargo, Bahçeci et al. (2005) reportaron que POD no es directamente responsable del deterioro de la calidad durante el almacenamiento congelado de vegetales y que es una de las enzimas más termoestables en frutas y verduras. Por lo tanto, la inactivación de POD implica el uso de altas temperaturas, causando la pérdida de otras enzimas que contribuyen a

mantener la calidad de los vegetales comestibles (William et al., 1986). Por ello, se ha propuesto considerar la inactivación de LOX, que participa en el deterioro oxidativo, como indicador de eficacia de escaldado (Barrett et al., 1995).

Por lo tanto, con base en los antecedentes antes mencionados, es indispensable un proceso térmico optimizado, en el cual se llegue a un equilibrio entre la inactivación térmica y la degradación de los atributos de calidad de los vegetales. Puntualmente, en este estudio se evaluó la posibilidad de optimizar la combinación de tiempo y temperatura de escaldado necesarios para la inactivación de LOX utilizando la metodología de superficie de respuesta.

2 Materiales y métodos

2.1. Reactivos y Solventes

Se utilizó como sustrato ácido linoleico (AL) al 99 % marca Riedel de Haën, Buenos Aires, Argentina. Para el aislamiento de la enzima se empleó Polivinilpolipirrolidona (PVPP) marca Anedra, Buenos Aires, Argentina y cloruro de calcio, $CaCl_2$ marca Biopack, Argentina. Los surfactantes utilizados corresponden a la marca Sigma: Monolaurato de sorbitán polioxietileno (Tween 20).

Todos los reactivos utilizados fueron de calidad analítica. Todas las soluciones acuosas fueron preparadas con agua Mili-Q.

2.2 Equipamiento

Las determinaciones espectrofotométricas se realizaron en un espectrofotómetro UNICAM UV2 con Software de control Visión V3.20.

Para triturar las muestras que se sometieron a la extracción de LOX se utilizó el Homogeneizador Bio-Gen series Pro 200

Pro Scientific y para separar el sobrenadante de la extracción se utilizó la Centrífuga refrigerada marca HERMLE Z323K.

2.3 Material de estudio

Se emplearon arvejas y granos de choclo fresco, adquiridos en mercados locales de Santiago del Estero, Argentina.

Se retiraron las hojas protectoras de las mazorcas, y los granos de maíz se separaron de las mismas con un cuchillo. Las arvejas se retiraron de las vainas. Inmediatamente, estos vegetales frescos se sometieron a escaldado, por separado.

2.4. Diseño de tratamientos de escaldado

El proceso de escaldado se realizó por inmersión de la muestra en agua caliente dentro de un recipiente de acero inoxidable. Las combinaciones de tiempos y temperaturas para granos de choclo fueron 80, 90 y 100 °C, durante 4; 6,5 y 9 min, para arvejas fueron 85, 90 y 95 °C, durante 1, 2, 4 y 8 min. Luego del tratamiento, se extrajeron las muestras y se enfriaron en un baño de agua a 8 °C. Finalmente, las hortalizas se secaron con papel tissue para eliminar el agua superficial. Todos los experimentos se realizaron por triplicado, reservando una muestra sin tratamiento como control de referencia.

2.5. Determinación de la actividad de LOX

El aislamiento de la enzima en arvejas se realizó de acuerdo con la técnica Gökmen et al. (2002), mientras que para granos de choclo se utilizó la metodología desarrollada por Kaur et al. (1999).

La actividad de LOX se determinó utilizando un sistema de ácido linoleico, Tween 20 y agua desionizada. La solución se clarificó con NaOH 1 N y se diluyó con buffer fosfato hasta pH 6. Se tomó una alícuota de esta solución, se llevó a 30 °C y se

burbujeó con corriente de aire durante 2 min. Luego se añadió mL del extracto crudo de LOX. Se midió la absorbancia a 234 nm, utilizándose como blanco 1 mL de solución de sustrato con 4 mL de solución de NaOH 0,1 N.

2.6. Modelado matemático y tratamiento estadístico

Se aplicó la metodología de superficie respuesta (MSR) para establecer las condiciones óptimas de escaldado. Para ello, con base en la bibliografía (Pulido et al., 2012), se empleó un Diseño Central Compuesto (DCC) centrado en las caras, que estima la superficie de respuesta cuadrática a partir de la cual se pueden determinar los niveles de factor para minimizar la actividad catalítica. En el modelo seleccionado, se utilizaron dos factores para la optimización, la temperatura de escaldado (X_1) y el tiempo de escaldado (X_2) como variables independientes, mientras que la respuesta, es decir la variable dependiente, fue la actividad residual de LOX. Se realizaron 11 corridas con tres réplicas del punto central. Los efectos de la variabilidad no explicada en la respuesta observada debido a factores desconocidos se minimizaron aleatorizando el orden de los experimentos. El experimento se realizó por triplicado.

El planteo del diseño experimental de optimización y el análisis de los resultados obtenidos se realizaron empleando el paquete estadístico DESIGN EXPERT 7.0.0.

El programa INFOSTAT versión 2018 se utilizó para comparar estadísticamente los resultados de las experiencias realizadas mediante la aplicación del análisis de la varianza (ANOVA). Para efectos significativos ($p<0,05$) se utilizó como test de diferencia de medias la prueba de LSD-Fischer.

2.7. Evaluación de la actividad enzimática y determinación de los parámetros cinéticos

La actividad catalítica se determinó en función de la formación de hidroperóxidos conjugados resultantes de la oxidación de AL, midiéndose para ello la absorbancia a 234 nm. Una unidad de actividad LOX se definió como un aumento en la absorbancia a 234 nm de 0.001 unidades de absorbancia min^{-1} para una trayectoria óptica de 1 cm a 25 ° C y se expresó como unidades de actividad por gramo de muestra (UAg^{-1}).

El porcentaje de inhibición (%Inh) de LOX se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\%Inh = \frac{(A_0 - A)}{A_0} x100 \quad (3)$$

Donde, A_0 es la actividad de LOX del extracto crudo y A es la actividad de LOX cada condición de temperatura-tiempo.

La inactivación de la LOX se determinó acorde a Manohan y Chen Wai (2012), determinando la velocidad específica (*k*) de inactivación térmica con la pendiente del modelo de primer orden acorde a la ecuación (1).

El tiempo de vida media de la LOX se calculó utilizando la ecuación:

$$t_{1/2} = \frac{0{,}693}{k} \quad (4)$$

El tiempo de reducción decimal (D) fue estimado con la relación entre k y D acorde a la ecuación:

$$D = \frac{\ln 10}{k} \quad (5)$$

La energía de activación se calculó a partir de la ecuación de ecuación de Arrhenius (2) De esta ecuación se deduce que el gráfico de Ln (*k*) con respecto a 1/T es una línea recta, cuya pendiente corresponde al cociente entre E_a y R. La magnitud de E_a expresa el grado de dependencia respecto a la temperatura de la reacción en cuestión (Fennema, 2000).

Ling y Lund (1978) propusieron un modelo bifásico basado en un sistema enzimático formado por una fracción lábil y una fracción resistente al calor. Las curvas de inactivación térmica se describen en la ecuación (6).

$$\%\ \text{Actividad} = \frac{k_1 C_1 e^{-k_1 t} + k_r C_r e^{-k_r t}}{k_1 C_1 + k_r C_r} \qquad (6)$$

donde C_l y C_r son las actividades de las fracciones termolábiles y resistentes al calor, respectivamente, y k_l y k_r son las constantes de velocidad para isoenzimas termolábiles y resistentes al calor, respectivamente.

3. Resultados y discusión

A modo de ejemplo, en la Figura 1 se puede observar el comportamiento de la actividad catalítica de LOX de choclo y de arvejas en función del tiempo para una determinada combinación de parámetros de escaldado. Las cinéticas observadas se ajustan a un decaimiento exponencial de primer orden.

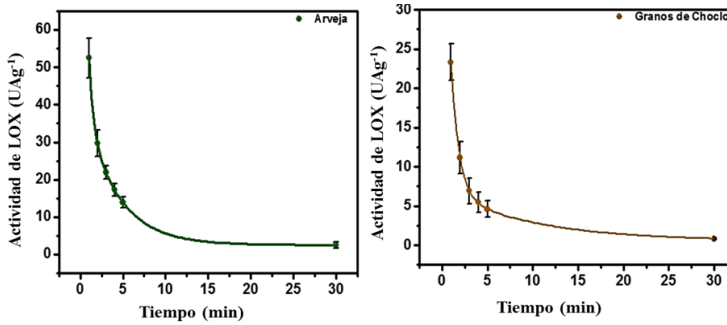


Figura 1. Evolución de la actividad de lipoxigenasas: Arveja (a 85 °C y 4 minutos de escaldado) y Granos de Choclo (a 90 °C y 4 minutos de escaldado) para n=3 repeticiones

En la Tabla 1 se presenta la actividad residual de LOX de arvejas y de granos de choclo luego de aplicar diferentes combinaciones de tiempo-temperatura de blanqueo.

Hortalizas	Temperatura (°C)	tiempo (min)	Actividad de LOX (AU g^{-1})	Actividad Residual (%)	Nivel de Inactivación Enzimática
Control		0,00	8,56±0,46^{a}	100	-
Arveja	85	1,00	2,58±0,12^{b}	30	medio
		2,00	2,24±0,08^{c}	26	medio
		4,00	1,31±0,04^{d}	15	medio
		8,00	0,84±0,03^{e}	10	alto
	90	1,00	2,19±0,11^{b}	26	medio
		2,00	1,73±0,07^{c}	20	medio
		4,00	0,97±0,05^{d}	11	alto
		8,00	0,70±0,03^{e}	8	alto
	95	1,00	1,80±0,09^{f}	21	medio
		2,00	1,22±0,06^{d}	14	medio
		4,00	0,64±0,03^{h}	7	alto
		8,00	0,56±0,02^{h}	6	alto
Control		0,00	5,53±0,12^{a}	100	-
Granos de choclo	80	4,00	4,80±0,01^{b}	87	bajo
		6,50	4,02±0,19^{c}	73	bajo
		9,00	3,76±0,11^{d}	68	bajo

Granos de choclo	90	4,00	3,64±0,06^{d}	66	bajo
		6,50	3,47±0,25^{e}	63	bajo
		9,00	2,50±0,06^{f}	45	medio
	100	4,00	2,91±0,14^{g}	53	medio
		6,50	2,53±0,15^{f}	46	medio
		9,00	2,06±0,09^{h}	37	alto

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según Test LSD Fisher ($p \leq 0,05$)

Tabla 1. Efecto de diferentes combinaciones de tiempo-temperatura sobre la efectividad de blanqueo en arveja y granos de choclo

La actividad catalítica de LOX fue de 5,53 UAg^{-1} en granos de choclo fresco. Este valor disminuyó después del blanqueo, siendo la actividad residual más baja 2,06 UAg^{-1} (un 37 % del valor de control) usando un tratamiento a 100 °C durante 9 min. Estos resultados son muy próximos a los reportados por Theerakulkait y Barrett (1995). Wiseman et al. (1988), quienes informaron que LOX se inactiva manteniendo la temperatura a 93°C durante 6 a 9 min; mientras que para lograr la inactivación de peroxidasa requirieron 18 a 20 min. Si la muestra vegetal se somete a blanqueo por períodos tan largos como los necesarios para inactivar la peroxidasa, se observan grandes pérdidas de caracteres organolépticos y compuestos nutritivos (Gonçalves et al., 2010). No se observaron diferencias significativas en los tratamientos a 80 y 90°C durante 4 y 9 min, respectivamente.

La actividad catalítica de LOX en arvejas en el tratamiento control fue 8,56 UAg^{-1}. Después del blanqueo, la menor actividad que se determinó, aplicando un tratamiento a 95 °C durante 8 min, fue 0,56 UAg^{-1}. El valor de actividad residual fue de 6 % con respecto al control. Bahçeci et al. (2005) sugirieron llevar a cabo un tratamiento durante 2 min a 80 °C para rete-

ner nutrientes como el ácido ascórbico y la clorofila. En este trabajo, la actividad residual de LOX en las mismas condiciones del tratamiento aplicado fue del 26 %.

Teniendo en cuenta que LOX sigue el modelo cinético de primer orden, sus parámetros de inactivación a las diferentes combinaciones de tiempos y temperaturas, se muestran en la Tabla 2.

Arvejas											
	Temperatura (°C)										
	85			90			95				
t (min)	k (min^{-1})	$t_{1/2}$ (min)	D (min)	k (min^{-1})	$t_{1/2}$ (min)	D (min)	k (min^{-1})	$t_{1/2}$ (min)	D (min)	E_a kJ/mol	Z (°C)
1	2,76	0,25	0,83	3,14	0,22	0,73	3,58	0,19	0,64	41,42	48,57
2	3,09	0,22	0,75	3,68	0,19	0,63	4,49	0,15	0,51	40,91	59,70
4	4,32	0,16	0,53	5,00	0,14	0,46	5,97	0,12	0,39	35,41	75,08
8	5,35	0,13	0,43	5,77	0,12	0,40	6,28	0,11	0,37	17,54	153,14
Granos de choclo											
	Temperatura (°C)										
	80			90			100				
4	0,04	19,58	65,05	0,10	6,80	22,61	0,16	4,32	14,34	76,08	30,46
6,5	0,05	14,12	46,92	0,07	9,66	32,11	0,12	5,76	19,14	51,69	51,36
9	0,04	16,16	53,71	0,09	7,85	26,10	0,11	6,31	20,98	49,01	102,46

Tabla 2. Parámetros de inactivación térmica y constantes de velocidad y energías de activación para la inactivación LOX de arveja y granos de choclo

Se puede observar que, la constante de inactivación térmica (*k*) aumentó con la temperatura, mientras que los parámetros cinéticos $t_{1/2}$ y D disminuyeron. Esto indica mayor termoestabilidad de la enzima.

Para los granos de choclo, el D requerido para reducir la actividad inicial de LOX en un 90% se redujo a la mitad aumentando 10ºCC la temperatura del proceso, de 80 a 90°C, con un valor de tiempo de reducción decimal final de 26,10 min. Estos valores son más altos para granos de choclo que para arvejas, lo que indica una mayor termoestabilidad de la LOX de choclo. Para la LOX de arvejas, los valores de k y D a 85°C están de acuerdo con Bahçeci et al. (2005) y Gökmen et al. (2005)

Considerando el modelo de primer orden, en el rango de temperatura estudiado a los 4 min, los valores de energía requeridos para iniciar la desactivación térmica LOX fueron 76,08 y 35,41 $kJmol^{-1}$ para choclo y arveja, respectivamente. Los valores de E_a fueron diferentes a los reportados por Chen y Whitaker (1986) para un rango de 35 a 80°C, y a los de Indrawati et al. (2001) entre 60-72°C, posiblemente debido a que el rango estudiado (85-90°C) involucró temperaturas superiores a las mencionadas y también a diferencias en el grado de maduración o metodología experimental. No se encontraron informes sobre los valores z para la inactivación considerando el modelo cinético de primer orden.

Los valores de energía de activación que se obtuvieron usando el modelo bifásico fueron para la fracción lábil 13,43 y 70,58 $kJmol^{-1}$; y para la fracción resistente al calor 91,69 y 43,10 $kJmol^{-1}$ para arvejas y granos de choclo, respectivamente.

Los parámetros cinéticos de inactivación de la LOX de granos de choclo no han sido reportados por otros autores. Sólo Barrett et al. (2000) informaron que se necesitan 6 minutos de blanqueo con vapor a 100 °C para inactivar la enzima del maíz en las mazorcas.

En la Figura 2 A y B, se observa una disminución pronunciada en la actividad de LOX en los primeros segundos de blanqueo, seguido de una disminución más suave en los minutos siguientes. Esto puede atribuirse a la presencia de al menos dos isoenzimas que difieren en su termoestabilidad. Varios re-

portes indicaron este comportamiento en LOX de arvejas verdes, maíz dulce, zanahorias y brócoli (Poca y col, 1990; Güneş y Bayindiril, 1993; Ganthavorn et al., 1991; Morales et al., 2002). Ling y Lund (1978) propusieron un modelo bifásico basado en un sistema enzimático formado por una fracción lábil y una fracción resistente al calor.

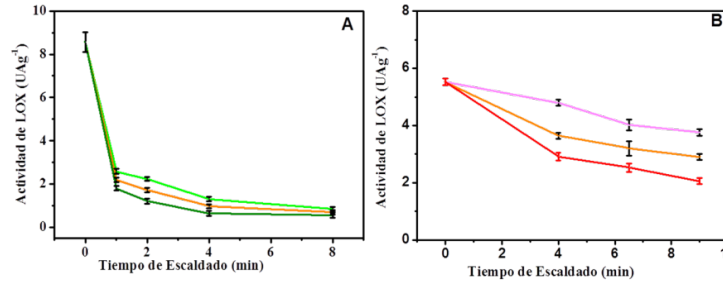


Figura 2. Curvas de Inactivación térmica de lipoxigenasa: (A) Arveja a: 85 °C (–), 90 °C (–) y 95 °C (–); (B) Granos de choclo a: 80 °C (–), 90 °C (–) y 100 °C (–).

En la Tabla 3 se muestran los parámetros cinéticos de inactivación de LOX aplicados a este modelo bifásico. Para arvejas, las constantes de velocidad aumentaron con la temperatura, los valores correspondientes a la fracción lábil de LOX de arvejas fueron más altos que la fracción resistente y los valores de E_{ar} están de acuerdo con lo informado por Güneş y Bayindirli (1993). Los coeficientes de correlación para el modelo cinético de primer orden son iguales a 0,9998, mientras que los correspondientes al modelo bifásico son menores a 0,6999.

No se encontraron estudios publicados sobre los parámetros de inactivación térmica de los granos de choclo utilizando el modelo bifásico. En la Tabla 3 se observa que las constantes de velocidad aumentan con la temperatura, los valores de k_r fueron mayores que k_l. Este comportamiento fue reportado en tomate por Anese y Sovrano (2006) y en chauchas y zanahorias por Güneş y Bayindirli (1993).

Hortalizas	T (°C)	k_r (min^{-1})	k_l (min^{-1})	E_{ar} ($kJmol^{-1}$)	R^2 Adj.	E_{al} ($kJmol^{-1}$)	R^2 Adj.
Arvejas	85	0,29	5,98	91,69	0,9998	13,43	0,9964
	90	0,43	6,37				
	95	0,67	6,76				
Granos de choclo	80	0,42	0,18	43,10	0,8557	70,58	0,8653
	90	0,76	0,47				
	100	0,92	0,65				

Tabla 3. Constantes de velocidad y energías de activación para la inactivación de LOX según el modelo bifásico

Modelo de superficie de respuesta y optimización

El comportamiento de la actividad catalítica de LOX de choclo y de arveja se analizó en función del tiempo y la temperatura del proceso, mediante la metodología Superficie Respuesta. Se utilizó un diseño compuesto centrado en las caras (DCC) para establecer las experiencias a realizar que contemplen la combinación de todos los factores y niveles involucrados. Los datos experimentales codificados se ajustaron a modelos lineales, cuadráticos y cúbicos, calculando la importancia de la regresión, la falta de ajuste y los coeficientes de determinación ajustados (R^2aj) y predichos (R^2pr).

Para las hortalizas estudiadas, se seleccionó el modelo cuadrático ya que mostró una mayor significación o idoneidad de la regresión ($p < 0.05$), menor falta de ajuste ($p > 0.05$) y mayores coeficientes de determinación.

De esta manera, el comportamiento del sistema fue explicado satisfactoriamente utilizando un modelo cuadrático para la respuesta estudiada que se representa como:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} (X_i)^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j \quad (7)$$

Donde Y representa la variable respuesta, $\beta 0$ es el coeficiente de intersección, βi es el coeficiente del efecto lineal, βii es

el coeficiente del efecto cuadrático y βij es el coeficiente del efecto interacción.

Los resultados obtenidos del ANOVA muestran que, si bien en algunos casos los factores estudiados o bien sus interacciones no fueron significativos ($p>0,05$) para explicar el comportamiento de la respuesta analizada, su inclusión en el modelo global contribuye a alcanzar una buena calidad en todos los ajustes dada por $R^2>0,9$ y $R^2adj >0,9$. Además, el modelo global fue significativo $p<0,05$. Por ello, se considera que la relación entre la variable dependiente e independiente debe ser explicada por el modelo cuadrático completo, es decir, donde se incluyan todos los factores influyentes (tiempo y temperatura) y sus interacciones (combinación de ambos factores).

Según los resultados del análisis estadístico, la temperatura ($p = 0,0030$) y el tiempo ($p = 0,0028$) mostraron una influencia significativa en la actividad LOX de choclo; siendo el modelo matemático completo:

Actividad LOX de granos de choclo = +17,9626 – 0,2131 Temperatura – 0,1019 Tiempo + 0,0035 Temperatura * Tiempo + 0,0006 Temperatura * Temperatura-0,0325 Tiempo * Tiempo . (8)

El comportamiento catalítico de LOX en función del tiempo y la temperatura del proceso ($R^2 = 0,9999$) se presenta en la Figura 3.

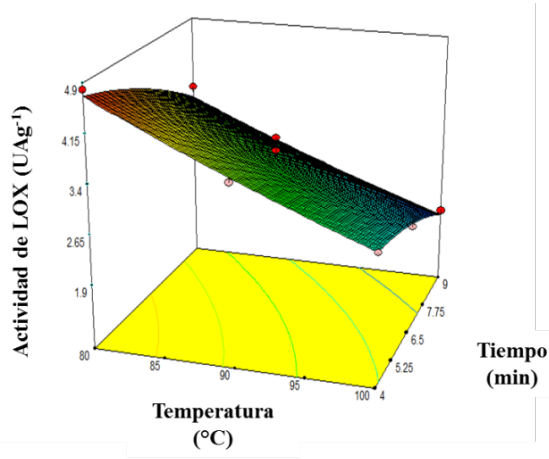


Figura 3. Superficie de respuesta basada en el modelo ajustado para la actividad LOX de granos de choclo en función de las condiciones de escaldado. Los puntos en la gráfica representan los datos experimentales.

Para arvejas, según los resultados del análisis estadístico, la temperatura (p = 0,0001), el tiempo (p = 0,0001), la temperatura de interacción * tiempo (p = 0,0003) y el tiempo * tiempo (p = 0,0001) mostraron una influencia significativa en la actividad de LOX de arveja; siendo el modelo matemático completo (R^2 = 0,9999) el indicado en la ecuación (9):

Actividad de LOX de arvejas = + 13,83167- 0,121500 Temperatura – 1,76304 Tiempo + 0,011964 Temperatura * Tiempo + 7,89E-18 Temperatura * Temperatura – 0,051458 Tiempo * Tiempo. (9)

El comportamiento catalítico de LOX de arveja en función del tiempo y la temperatura del proceso (R2 = 0,9999) se presenta en la Figura 4

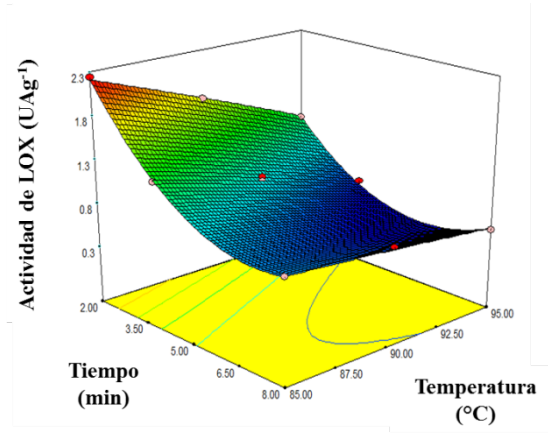


Figura 4. Superficie respuesta basada en el modelo ajustado para la actividad LOX de arveja en función de las condiciones de escaldado. Los puntos en la gráfica representan los datos experimentales.

El análisis estadístico mostró que las combinaciones de tiempo y temperatura de blanqueo de arvejas y de granos de choclo, tienen efectos significativos sobre la actividad catalítica.

Para encontrar las condiciones óptimas de blanqueo, se aplicó la función de deseabilidad (Pulido et al., 2012). Esta función permitió seleccionar restricciones tanto de los valores de las variables independientes (tiempo y temperatura) que influyen en el proceso de escaldado, como de la variable respuesta (actividad residual de LOX).

Con el programa estadístico, se calcularon dos funciones de deseabilidad, la primera fijando tiempo, temperatura y actividad de LOX mínimos (FD1), considerando que el blanqueo por períodos largos, como los necesarios para inactivar las enzimas POD y PPO, ocasiona grandes pérdidas de caracteres organolépticos y compuestos nutritivos (Gonçalves y col., 2010) y la segunda estableciendo corto tiempo, alta temperatura y mínima actividad de LOX (FD2), considerando la definición del proceso de escaldado.

A continuación, se realizó la verificación experimental de los valores de la respuesta predicha por las dos funciones de deseabilidad llevando a cabo los experimentos por triplicado en las condiciones óptimas. Los resultados experimentales y los de la optimización se muestran en la Tabla 4.

Para el primer proceso, el programa estadístico estableció para arvejas la combinación de 85 °C durante 4 min lográndose el 15% de actividad residual y para el segundo proceso la combinación óptima fue 95 °C a 3 min que permitió alcanzar 9 % de actividad residual. Mientras que para granos de choclo la actividad residual fue 66 % a 90 °C durante 4 min, para el primer proceso y para el segundo la combinación fue 100 °C durante 4 min obteniéndose un 51 % de actividad residual.

Se observó concordancia entre los valores predichos y los valores experimentales, es decir no se encontraron diferencias significativas entre ellos. Esto indica que los modelos ajustados cuentan con elevado potencial predictivo; y que los niveles de los factores encontrados como óptimos efectivamente lo son.

			Actividad de LOX (UAg^{-1})	
		Condiciones de optimización	Valor predicho	Valor experimental
Arvejas	FD1	T= 85 °C T= 4 min	$(1,21 \pm 0,04)^{a}$	$(1,31 \pm 0,06)^{a}$
	FD2	T=95 °C T= 3 min	$(0,79 \pm 0,06)^{b}$	$(0,81 \pm 0,04)^{b}$
Granos de choclo	FD1	T= 90 °C T= 4 min	$(3,76 \pm 0,15)^{c}$	$(3,64 \pm 0,025)_{c}$
	FD2	T=100 °C T= 4 min	$(2,80 \pm 0,10)^{d}$	$(2,91 \pm 0,14)^{d}$

Los valores predichos y los experimentales se expresan como medias ± desviaciones estándar, para n=3. Las letras diferentes (^{a,b,c,d}) en las filas representan valores medios estadísticamente diferentes ($p<0,05$).

Tabla 4. Comparación entre valores de variables dependientes predichas y experimentales a valores óptimos de variables independientes.

Para seleccionar la mejor combinación de variables que permitan optimizar el proceso de escaldado que tengan en cuenta los caracteres sensoriales, funcionales y nutricionales, se realizarán estudios experimentales que incluyan el análisis de caracteres de organolépticos, así como la determinación de contenido de vitamina C, y de actividad antioxidante.

4. Conclusión

Los resultados experimentales indican que el modelo cinético de primer orden describe adecuadamente las curvas de inactivación térmica de LOX de granos de choclo y de arvejas. La actividad residual de LOX de los granos de choco y arvejas después del escaldado depende de las características de la hortaliza y, también, de la temperatura y el tiempo de calentamiento, disminuyendo su valor con el aumento de estas dos últimas variables. La energía requerida para iniciar la desactivación térmica fue 76,08 y 35,01 $kJmol^{-1}$ para choclo y arveja, respectivamente. Estos valores muestran que la termoestabilidad LOX de choclo es aproximadamente el doble que la de las arvejas.

Los valores experimentales de la actividad residual de LOX están de acuerdo con los valores predichos por el modelo. Por lo tanto, el diseño central compuesto centrado en las caras puede usarse como un modelo matemático con un elevado potencial predictivo. El uso de LOX como indicador de la eficacia del escaldado de muchos vegetales permitiría acortar el tiempo de tratamiento minimizando las pérdidas de nutrientes y de caracteres organolépticos por el proceso térmico. Para ello es necesario continuar con los trabajos de investigación en esta línea.

Referencias

Adams, J. B. (1991). *Enzyme inactivation during heat processing of food-stuffs.* International Journal of Food Science Technology, 26(1), 1–20.

Afoakwa, E. O., Mensah-Brown, H., Hinneh, M. (2013). *Optimization of blanching time, sodium metabisulphite ($Na_2S_2O_5$) concentration and processing time on vitamin C content, microbial quality and sensory characteristics during canning of green pepper (Capsicum sinensis) using response surface methodology.* Journal of Food Science and Engineering, 3(6), 285.

Anese, M., Sovrano, S. (2006). *Kinetics of thermal inactivation of tomato lipoxygenase.* Food Chemistry, 95(1), 131–137.

Bahçeci, K. S., Serpen, A., Gökmen, V., Acar, J. (2005). *Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage*. Journal of Food Engineering, 66(2), 187–192.

Barreiro, J. A., Sandoval, A. J. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas.* Editorial Equinoccio. Caracas, Venezuela. 343p.

Barrett, D. M., Garcia, E. L., Russell, G. F., Ramirez, E., Shirazi, A. (2000). *Blanch time and cultivar effects on quality of frozen and stored corn and broccoli.* Journal of Food Science, 65(3), 534–540.

Bhattacharya, S., Malleshi, N. G. (2012). *Physical, chemical and nutritional characteristics of premature-processed and matured green legumes.* Journal of Food Science and Technology, 49(4), 459–466.

Boyes, S., Chevis, P., Holden, J., Perera, C. (1997). *Microwave and water blanching of corn kernels: control of uniformity of heating during microwave blanching.* Journal of Food Processing and Preservation, 21(6), 461–484.

Brennan, J.G.; Butters , J.R.; Cowel, N.D. (1998) . *Las operaciones de ingeniería de los alimentos.* Ed. Acribia. Zaragoza. España, 714 p.

Brewer, M. S., Begum, S., Bozeman, A. V. A. (1995). *Microwave and conventional blanching effects on chemical, sensory, and color characteristics of frozen broccoli.* Journal of Food Quality, 18(6), 479–493.

Casp, A., Abril, J. (1999). *Procesos de Conservación de Alimentos.* Ediciones Mundi Prensa. España. 494 p.

Chen, A. O., Whitaker, J. R. (1986). *Purification and characterization of a lipoxygenase from immature english peas.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 34(2), 203–211.

Cruz, R. M. S., Vieira, M. C., Silva, C. L. M. (2006). *Effect of heat and thermosonication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (Nasturtium officinale).* Journal of Food Engineering, 72(1), 8–15.

De la Parra, C., Serna Saldivar, S. O., Liu, R. H. (2007). *Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(10), 4177–4183.

Dwiecki, K., Siger, A., Czubinski, J., Nogala-Kalucka, M., Lampart-Szczapa, E. (2012). *The interactions between rapeseed lipoxygenase and native polyphenolic compounds in a model system.* Journal of the American Oil Chemists' Society, 89(3), 379–387.

Ediriweera, N., Akiyama, Y., Saio, K. (2016). *Inactivation of lipoxygenase in soybeans with retention of protein solubility.* Journal of Food Science, 52(3), 685–690.

Fennema, O. Química de los Alimentos. (2000). Ed. Acribia. S.A. Zaragoza. España. 1095 p.

Ganthavorn, C., Nagel, C. W., Powers, J. R. (1991). *Thermal inactivation of asparagus lipoxygenase and peroxidase.* Journal of Food Science, 56(1), 47–49.

Gökmen, V., Bahçeci, S., Acar, J. (2002). *Characterization of crude lipoxygenase extract from green pea using a modified spectrophotometric method.* European Food Research and Technology, 215(1), 42–45.

Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., Silva, C. L. M. (2010). *Carrot (Daucus carota L.) peroxidase inacti-*

vation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. Journal of Food Engineering, 97(4), 574–581.

Güneş, B., Bayindirli, A. (1993). *Peroxidase and Lipoxygenase Inactivation During Blanching of Green Beans, Green Peas and Carrots*. LWT - Food Science and Technology.

Indrawati, I., Ludikhuyze, L. R., van Loey, A. M., Hendrickx, M. E. (2000). *Lipoxygenase inactivation in green beans (Phaseolus vulgaris L.) due to high pressure treatment at subzero and elevated temperatures.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(5), 1850–1859.

Kaur, C., Kumar, S., Kapoor, H. C. (1999). *Heat stability of lipoxygenase and peroxidase during blanching of vegetables.* Journal of Scientific and Industrial Research, 58(12), 1005–1009.

Lago, C. C., Noreña, C. P. Z. (2014). *Kinetic and thermodynamic of thermal inactivation of the peroxidase, polyphenoloxidase and inulinase activities during blanching of yacon (Smallanthus sonchifolius) juice*. Food and Bioprocess Technology, 7(12), 3560–3568.

Li, L., Pegg, R. B., Eitenmiller, R. R., Chun, J.-Y., Kerrihard, A. L. (2017). *Selected nutrient analyses of fresh, fresh-stored, and frozen fruits and vegetables.* Journal of Food Composition and Analysis, 59, 8–17.

Liavonchanka, A., Feussner, I. (2006). *Lipoxygenases: Occurrence, functions and catalysis*. Journal of Plant Physiology, 163(3), 348–357.

Liing, A. C., Lund, D. B. (1978). *Detrminig kinetic parameters for thermal inactivation of heatresistant and heat-labile isozymes from thermal destruction curves.* Journal of Food Science, 43(4), 1307–1310.

Manohan, D., Chen Wai, W. (212). *Characterization of polyphenol oxidase in sweet potato (Ipomoea batatas L.).* Journal for the Advancement of Science Arts, 3, 14-31.

Mendoza, R. R.,(2012). *Evaluación de los procesos de precocción/ congelación de tres presentaciones de papa criolla (Solanum tuberosum grupo phureja) variedad Colombia*, (Tesis de Maes-

tría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
Montgomery, D. C. (2005). *Diseño y análisis de experimentos.* Limusa Wiley. 600p.
Morales-Blancas, E. F., Chandia, V. E., Cisneros-Zevallos, L. (2002). *Thermal inactivation kinetics of peroxidase and lipoxygenase from broccoli, green asparagus and carrots.* Journal of Food Science, 67(1), 146–154.
Nagy-Gasztonyi, M., Kardos-Neumann, A., Biacs, P. A. (2000). Potential indicator enzyme s at broccoli blanching tecnology. Acta Alimentaria, 29(2), 181–186.
Netemeyer, R. G., Bearden, W. O., Sharma, S. (2003). Scaling procedures: Issues and applications. Sage Publications. 205p.
O'Donnell, C. P., Tiwari, B. K., Bourke, P., Cullen, P. J. (2010). *Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance.* Trends in Food Science Technology, 21(7), 358-367.
Poca, E., Rabinovitch-Chable, H., Cook-Moreau, J., Pages, M., Rigaud, M. (1990). *Lipoxygenases from Zea mays L. Purification and physicochemical characteristics.* Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism, 1045(2), 107–114.
Porta, H. Rocha-Sosa, M. (2002). *Plant lipoxygenases. Physiological and molecular features.* Plant Physioly., 130, 15-21.
Poulsen, K. P. (1986). *Optimization of vegetable blanching.* Food Technology, 40(6), 122-129.
Pulido, H. G., De la Vara Salazar, R., González, P. G., Martínez, C. T., Pérez, M. D. C. T. (2012). *Análisis y diseño de experimentos.* New York, NY, USA, McGraw-Hill. 561p.
Rodríguez, S. del C. Questa, A. G. (2013). *Alternativas de procesamiento mínimo para vegetales producidos en la provincia de Santiago del Estero.* En el libro: Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial. Desde la FAyA al NOA. Editores: Albanesi, Paz, Sobrero, Helman y Rodriguez. p. 19 – 24.
Rodríguez, S. del C., Gutierrez, D.R., Torales, A.C. Questa, A. G. (2017). *Vegetales IV gama: producción, comercialización y aspectos sanitarios en la región del NOA y en la Argentina.* Aportes de la FAyA para el desarrollo agropecuario y agroindustrial del NOA. Buenos Aires - Argentina; p. 137 – 147.

Rodríguez, S. del C.; Banegas, M.; Gutierrez, D.R. Questa, A. G. (2008). *Tecnología de barrera aplicada a la conservación de mezclas de choclo y anco minimamente procesados.* Investigaciones en Facultades de Ingenieria del NOA. Santiago del Estero; Año: 2008; p. 40 – 44.

Sharma, S., Roy, I., Gupta, M. N. (2001). S*eparation of phospholipase D from peanut on a fluidized bed of crosslinked alginate beads.* Biochemical Engineering Journal, 8(3), 235–239.

Shukla, R. N., Mishra, A. A., others. (2014). *An experimental study and mathematical modeling of microwave drying of green peas.* International Journal of Advances in Engineering Technology, 6(6), 2618.

Tharanathan, R. N., Mahadevamma, S. (2003). *Grain legumes—a boon to human nutrition*. Trends in Food Science Technology, 14(12), 507–518.

Tomás-Barberán, F. A., Espín, J. C. (2001). *Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 81(9), 853–876.

Wiley, R. C., Fernandez-Salguero, J. (1997). *Frutas y hortalizas minimamente procesadas y refrigeradas.* Zaragoza. España. Acribia, 362 p.

Williams, D. C., Lim, M. H., Chen, A. O., Pangborn, R. M., Whitaker, J. R. (1986). *Blanching of vegetables for freezing: which indicator enzyme to choose.* Food Technology, 40(6), 130-140.

Wiseman, J. S., Skoog, M. T., Clapp, C. H. (1988). *Activity of soybean lipoxygenase in the absence of lipid hydroperoxide.* Biochemistry, 27(24), 8810–8813.

Woodroof, J. G. (1988). *Preparing vegetables for processing. Commercial Vegetable Processing.* 2nd Edition. Van Nostrand Reinhold, New York, New York.

Xiao, H.-W., Pan, Z., Deng, L.-Z., El-Mashad, H. M., Yang, X.-H., Mujumdar, A. S., ..., Zhang, Q. (2017). *Recent developments and trends in thermal blanching--A comprehensive review.* Information Processing in Agriculture, 4(2), 101–127.

Yonny, M. E., Medina, A. V, Nazareno, M. A., Chaillou, L. L. (2018). *Enhancement in the oxidative stability of green peas by Ilex paraguariensis addition in a blanching process before their refrigerated and frozen storage*. LWT, 91, 315–321.

APLICACIÓN DE ANTIOXIDANTES COMO INHIBIDORES DEL PARDEAMIENTO EN VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Diego R. Gutiérrez[1], Maria L. Lemos[1] ,
Mariana J. Farías[1,2], Silvia del C. Rodríguez[1,2]

Resumen.

El pardeamiento es un problema importante en la poscosecha de frutas y hortalizas recién cortadas. Este fenómeno se observa notablemente en la berenjena mínimamente procesada, ya que inmediatamente se vuelve marrón después del corte. El pardeamiento se relaciona principalmente con la acción de enzimas tales como la polifenol oxidasa y la peroxidasa, lo que provoca la oxidación de compuestos fenólicos a o-quinonas y posteriormente forman pigmentos marrones. Por lo tanto,

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Santiago del Estero. Argentina.
2 Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), Universidad Nacional de Santiago del Estero. CONICET. Santiago del Estero. Argentina.

al reducir las actividades de estas enzimas se puede prevenir o retardar el pardeamiento. En este capítulo se presentan estudios realizados sobre la evaluación de diferentes tratamientos antioxidantes para reducir el pardeamiento enzimático y mantener la calidad sensorial de berenjenas frescas cortadas durante su almacenamiento refrigerado. Se determinó que la aplicación de ácido ascórbico al 1,0 % fue el tratamiento más adecuado para su preservación, ya que mantuvo por un mayor tiempo los atributos característicos del vegetal.

Palabras clave: Vegetales mínimamente procesados, berenjenas, pardeamiento, antioxidantes

1. Introducción

La alimentación ha presentado en las últimas décadas modificaciones en sus patrones, asociadas a las transformaciones sociales y demográficas, motivadas fundamentalmente por una creciente preocupación de una alimentación más equilibrada. Esta tendencia, sumada al menor tiempo disponible en las familias para la elaboración de alimentos, produjo cambios de hábitos ya que las personas tienden a consumir alimentos fáciles de preparar, o prácticamente listos para el consumo, y a la vez saludables y nutritivos (Gutiérrez et al., 2019; Lemos, 2020; Torales et al., 2020). Esto ha llevado a que el mercado busque alternativas de nuevos productos que respondan a estas demandas. Es por ello, que los vegetales mínimamente procesados (VMP) vienen a satisfacer en gran medida estas necesidades, brindando productos frescos, con características similares a un producto original, y listos o de fácil de preparación para ser consumidos. Son alimentos que combinan funcionalidad y frescura (Gutiérrez et al., 2018; Lemos et al., 2022). De acuerdo con la Asociación Internacional de Productos Frescos

Cortados de EE.UU. (IFPA), los productos hortofrutícolas mínimamente procesados o productos frescos cortados o vegetales IV Gama, como se los denomina comúnmente, se definen como las frutas u hortalizas que fueron alterados de su forma original, pero mantienen su estado de fresco. Esto no incluye a vegetales que sólo fueron sometidos a operaciones básicas, tales como lavado, encerado y envasado. Es decir, los VMP son productos que han sido sometidos a algunas operaciones unitarias tales como pelado, cortado, rallado, picado, mezclado, etc., lavado, desinfección, y se envasan y recubren con polímeros plásticos adecuados y permanecen constantemente refrigerados y bajo atmósfera modificada activa o pasiva, salvaguardando así el producto elaborado de alteraciones mecánicas, microbiológicas y bioquímicas (Gutiérrez, 2016; Sheng y Zhu, 2021). Sin embargo, las operaciones mecánicas producen alteraciones del tejido, deteriorando la integridad de las células y desencadenando una serie de procesos bioquímicos, que generan modificaciones como sabores desagradables, pérdida de textura y color, pardeamiento y desarrollo microbiano, entre otros (Oliveira et al., 2015; Torales et al., 2020). Es por ello que las tecnologías postcosecha que se apliquen deben garantizar su seguridad, manteniendo una sólida calidad nutritiva y sensorial (Artés y Allende, 2015; De Corato, 2019).

2. Principales modificaciones de parámetros de calidad y procesos fisiológicos durante la elaboración de VMP

2.1 Modificación de la intensidad respiratoria

Durante el procesamiento de los VMP, las etapas tales como el corte mecánico o el pelado provocan estrés en el vegetal y, por lo tanto, un aumento en su tasa respiratoria, lo que induce a un incremento de la actividad enzimática del tejido, logrando

con ello una aceleración del metabolismo y de las reacciones bioquímicas, generando cambios en atributos tales como el color, textura, aroma, flavor y valor nutritivo, etc. Los cambios bioquímicos provocados por la respuesta celular incluyen la degradación de los carbohidratos, la activación de la glucólisis y la ruta de la pentosa fosfato, la activación de la actividad mitocondrial y el aumento de la síntesis de proteínas y actividades enzimáticas (Tapia et al., 2015). La temperatura también juega un papel importante en la tasa de respiración de las frutas y hortalizas cortadas, ya que a mayor temperatura de almacenamiento hay mayor intensidad respiratoria (De Corato, 2019). En general, el aumento típico de la respiración de los vegetales frescos cortados está en el rango de 2 a 10 veces respecto del producto entero (Pirovani et al., 2006; Torales, 2016).

2.2 Cambios en la calidad nutricional y en los compuestos con potencial acción sobre la salud

Los cambios en la calidad nutricional y potencial saludable pueden ocurrir como consecuencia de la alteración del contenido de compuestos bioactivos como la vitamina C y/o compuestos fenólicos. El contenido de ácido ascórbico (AA) disminuye como consecuencia de las operaciones de pelado y/o corte; sin embargo, este efecto depende del tipo de vegetal, del mecanismo de corte utilizado y la atmósfera empleada durante su almacenamiento. Por lo tanto, este componente es uno de los constituyentes más vulnerables a las condiciones de procesado y conservación. El AA puede disminuir o incluso inactivarse debido, además de los daños mecánicos, a la presencia de etileno, exposición a la luz y aire, reacciones enzimáticas y uso de cloro en la desinfección (Artés et al., 2009). Además, el AA es fácilmente oxidado, especialmente cuando se encuentra en solución acuosa, proceso que se ve favorecido, además, por la presencia de O_2, metales pesados, especialmente Cu^{+2}, Ag+ y

Fe^{+3} así como por pH alcalinos y altas temperaturas.

Por otra parte, los compuestos fenólicos, en general, tienden a aumentar durante los procesos de pelado y corte. Esto ocurre como una respuesta fisiológica a los daños mecánicos, con el fin de reducir la pérdida de agua y protegerse del ataque de microorganismos patógenos, ya que estos compuestos están relacionados con el crecimiento, reproducción y resistencia de la planta frente a situaciones adversas o de estrés abiótico (Cisneros Zeballos y Velázquez, 2020; Hu y col. 2022). El incremento de la concentración de fenoles totales depende del tipo de tejido vegetal y puede detenerse en función del tipo de atmósfera empleada durante su conservación (De Ancos et al., 2009).

2.3 Desarrollo microbiano

La microflora natural de las frutas y verduras crudas suele ser no patógena para los seres humanos y puede estar presente en el momento del consumo (Food y Drug Administration, 2008). Sin embargo, durante el crecimiento, cosecha, transporte y posterior procesamiento y manipulación, el producto puede contaminarse con patógenos provenientes de humanos, animales o fuentes ambientales (Inestroza-Lizardo et al., 2015). La preparación de los VMP ocasiona daños a nivel celular, dejando al alimento vulnerable al ataque de microorganismos que pudieran existir en la superficie del vegetal, así como también a aquellos incorporados en el alimento por malas condiciones de higiene y seguridad durante su manipulación. La acción de los microorganismos puede ser uno de los mayores problemas que presentan los VMP, debido a que es un alimento con un alto contenido de agua y contiene azúcares, facilitando el desarrollo de microorganismos. Esto se refleja no solo en el deterioro de los alimentos sino también en el riesgo de enfermedades transmitidas por los alimentos (Gutiérrez et al., 2019; Rodríguez et al., 2015). Por lo tanto, las condiciones adecuadas

de higiene de la materia prima aseguran una reducción de la carga inicial de microorganismos, y el uso de bajas temperaturas de almacenamiento permite reducir la velocidad de crecimiento, prolongando la vida útil de los productos vegetales.

2.4 Modificación de la calidad sensorial

Los cambios sensoriales son de importancia en los vegetales debido a que la aceptación está dada por las características propias de cada producto. Los principales atributos sensoriales son el aroma, el sabor, el color y la textura, por lo que estos, deben examinarse cuidadosamente cuando se determina la vida útil de los vegetales mínimamente procesados (Rodríguez y Generoso, 2012; Torales et al., 2020). El color y su uniformidad son dos de las principales características que determinan la calidad de una fruta u hortaliza y se utiliza frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto, ya que se los relaciona con la intensidad del sabor y la dulzura, siendo el más importante en la aceptabilidad del producto por parte del consumidor (Rodríguez y Generoso, 2012). Por otra parte, durante el almacenamiento se pueden generar aromas y sabores extraños, como producto de un envasado inadecuado, cuando la atmósfera del envase no es la ideal. Lo mencionado, puede ocurrir en casos donde los niveles de O_2 son muy bajos y niveles de CO_2 excesivamente elevados (Artés et al., 2009). La determinación de los atributos sensoriales individuales de un producto es fundamental, dado que la combinación de estos determina su calidad sensorial general.

2.5 Modificación de la textura

La herida producida como consecuencia de las etapas de preparación acelera la senescencia e induce el ablandamiento del tejido, lo que se considera una limitación importante de la vida

útil de los productos frescos (Soliva-Fortuny y Martin-Belloso, 2003). Muchos de los cambios de textura que se producen en las frutas frescas son una continuación de los eventos de maduración normales que conducen a un ablandamiento (Toivonen y Brummell, 2008). De este modo, en la fruta entera, las paredes celulares experimentan una degradación natural durante la maduración de la fruta, reduciendo la firmeza de la pared celular y la adhesión intercelular. En este sentido, el ablandamiento se atribuye a los cambios en la estructura y composición de las paredes celulares, como la ruptura de la matriz de pectina, por la acción secuencial de las enzimas *Pectin metil* esterasa (PME) y la Poligalacturonasa (PG) (Pinheiro y Almeida, 2008). Además, el ablandamiento puede atribuirse a la acumulación de solutos osmóticos en el espacio intercelular y, en parte, a la pérdida de agua posterior a la cosecha de la fruta que está madurando (Toivonen y Brummell, 2008). En frutos climatéricos, el etileno inducido por la herida tendría el mismo efecto que tratar el tejido con etileno exógeno, lo que provoca una aceleración de la maduración y el ablandamiento. En comparación con las frutas, las verduras generalmente tienen una proporción mucho mayor de células con paredes secundarias engrosadas y, por consiguiente, son mucho más firmes y menos susceptibles de ablandarse. La pérdida de la calidad de la textura está relacionada con los procesos de envejecimiento y senescencia, pérdida de agua, reducción de la turgencia y efectos de las heridas, incluyendo la fuga de solutos osmóticos.

2.6 Pardeamiento enzimático

En los vegetales, las reacciones enzimáticas son responsables de alteraciones sensoriales tales como olores no característicos, pérdida de firmeza, decoloración y pardeamiento. En los VMP, el proceso de pardeamiento puede ser uno de los factores que limitan la vida útil, y se desencadena cuando se

produce una pérdida de la compartimentalización celular que permite que los sustratos fenólicos, normalmente confinados en las vacuolas, sean liberados y entren en contacto con las enzimas responsables del pardeamiento, ubicadas en plástidos (Plazas et al., 2013). Esto ocurre por ejemplo durante el procesamiento de los vegetales en las etapas de pelado y cortado. Como consecuencia de la reacción se produce la formación de metabolitos secundarios no deseados (Figura 1).

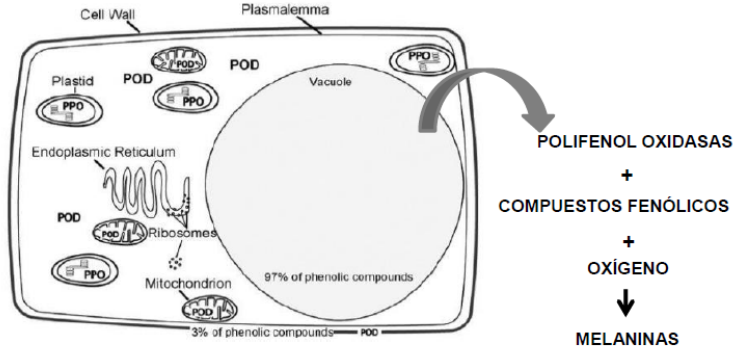


Figura 1. Localización de compuestos fenólicos y enzimas oxidantes (PPO y POD). Adaptado de Borrás Vallverdú (2018).

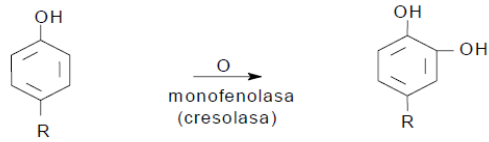
Los componentes que intervienen para el desarrollo del pardeamiento enzimático son: los sustratos apropiados (compuestos fenólicos), el oxígeno, la enzima polifenol oxidasa (PPO) principalmente, y el cobre en el centro activo de la enzima. Estos factores determinan la velocidad de pardeamiento, que puede tener lugar muy rápidamente, incluso en pocos minutos. La velocidad del cambio de color dependerá de la concentración y actividad de la enzima, de la cantidad y naturaleza de los compuestos fenólicos, del pH, de la temperatura, de la actividad del agua y de la cantidad de oxígeno disponible en el entorno del tejido vegetal (Tapia et al., 2015). Otros factores intrínsecos que influyen en la intensidad del pardeamiento son:

la especie, la variedad y el estado fisiológico del producto.

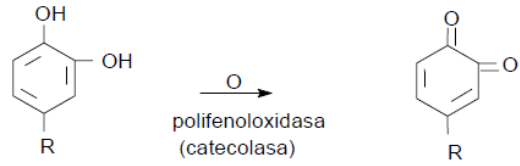
De igual manera, el pardeamiento enzimático también puede producirse como una respuesta de los vegetales a una situación de estrés y como un sistema de protección del tejido vegetal principalmente frente a patógenos. Las enzimas responsables del pardeamiento enzimático son del tipo oxidoreductasas, tales como la PPO y la peroxidasa (POD). La POD contiene hierro en su grupo prostético, oxidan los donantes de hidrógeno a expensas de los peróxidos y emplean a las quinonas como sustrato de los peróxidos. Sin embargo, debido a la baja concentración de H_2O_2 en el tejido de los vegetales, su contribución al deterioro es considerada en menor medida (Mishra et al., 2013).

Las PPO son metaloenzimas que contienen 0,2 % de Cu^{+2} y se localizan en organelas celulares tales como cloroplastos y mitocondrias. Se puede encontrar de dos formas distintas, bien unida a membranas, como a la membrana tilacoidal de los cloroplastos, o bien en forma soluble. La fracción soluble de PPO aumenta durante la maduración del fruto. Para que la enzima actúe sobre los compuestos fenólicos, el Cu^{+2} ha de encontrarse reducido a Cu^{+}, estado en el que la enzima puede ligar O_2. El Cu, situado en el centro activo del enzima, es esencial para la actividad de la PPO y su acomplejamiento da lugar a la inhibición de la misma. Bajo la genérica denominación de PPO, quedan comprendidos dos tipos de enzimas. El primer grupo corresponde a las catecol oxidasas y el segundo tipo, a las lacasas. Las primeras catalizan dos reacciones distintas, como se detalla a continuación:

a) Reacción 1 o Actividad cresolasa: hidroxilación de monofenoles en la posición orto para obtener o-difenoles.



b) Reacción 2 o Actividad catecolasa: oxidación de o-difenoles a sus correspondientes o-quinonas



Las lacasas oxidan a los o-difenoles y a los p-difenoles a sus correspondientes quinonas. No están presentes en muchos de los productos que se pardean, por lo que se cuestiona su participación (Pérez-Cabrera, 2003, Lemos, 2020). Las especies cultivadas comercialmente importantes, como peras, manzanas, berenjenas y bananas, así como sus productos tales como zumos, son muy sensibles al pardeamiento enzimático debido a su alta concentración en polifenoles y PPO.

2.6.1 Sustratos de la reacción del pardeamiento enzimático

Los sustratos de la reacción de las PPO son los compuestos fenólicos, conjunto de sustancias naturales que se caracterizan por poseer un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo. Sin embargo, esta definición bioquímica no se ajusta a la totalidad de compuestos que tradicionalmente se consideran polifenoles, tales como el ácido shikímico, elenóico y el quínico, ya que éstos no poseen en su estructura un anillo aromático. Entre los principales compuestos fenólicos que constituyen los sustratos de la reacción se pueden mencionar: compuestos fenólicos simples (catecol o la hidroquinona); ácidos fenólicos (cinámico, caféico y ferúlico); flavonoides (flavonas, isoflavonas, flavanonas, flavonoles), antocianos, lignina y taninos. El papel de los polifenoles en la alimentación engloba aspectos bien diferentes, todos ellos de importancia capital

para la industria agroalimentaria. De hecho, son compuestos importantes para la calidad sensorial del alimento, por ejemplo, los ácidos fenólicos proporcionan acidez, las dihidrochalconas sabor dulce, ciertas flavonas como la naringina aportan amargor, y los taninos son responsables de la astringencia de muchos productos. El papel de los polifenoles en la percepción organoléptica del alimento se complementa con su influencia en la cualidad del color (Zaro, 2014).

Por otro lado, los compuestos fenólicos tienen importancia desde el punto de vista de la salud ya que tienen propiedades antioxidantes, capacidad citotóxica (modificación de la metabolización de moléculas precursoras de tumores y combinación con agentes mutagénicos) y secuestradores de radicales libres y especies reactivas de oxígeno (Gürbüz et al., 2018).

2.6.2 Control del pardeamiento enzimático

A fin de minimizar las pérdidas causadas por el pardeamiento en diferentes productos hortícolas, numerosos estudios se han llevado a cabo con el propósito de controlar la actividad de PPO. Los distintos métodos que se han propuesto actúan ante uno o varios de los componentes necesarios para el desarrollo del proceso bioquímico: enzimas, O_2, Cu y/o sustratos. De acuerdo con esto, la inhibición del pardeamiento podría realizarse aplicando tratamientos físicos o a través de compuestos químicos (Lemos, 2020; Lemos et al., 2022).

2.6.2.1 Métodos físicos para el control del pardeamiento enzimático

2.6.2.1.1 Tratamientos térmicos

En el caso de los VMP exposiciones a temperaturas entre 50 y 95 °C y tiempos entre 15 s y 5 min suelen ser rangos de valores

adecuados para la reducción, y en algunos casos, inactivación de la enzima responsable del pardeamiento enzimático.

2.6.2.1.2 Reducción de la disponibilidad de O_2

La modificación de la disponibilidad de O_2 mediante el almacenamiento en AM es considerado otro método que permite reducir las reacciones de oxidación. De este modo, modificaciones de los gases del espacio de cabeza del envase a valores de 2 a 8 % de O_2, y 5 a 15 % de CO_2 resultan combinaciones adecuadas para tal fin, las que, además, pueden influir en la síntesis de metabolitos fenólicos. Adicionalmente, recubrimientos comestibles permiten proteger al vegetal fresco cortado ya que modifican el intercambio gaseoso con el entorno. Es importante destacar que estos métodos tienen, en general, una acción sinérgica con la reducción de la temperatura durante el almacenamiento de los vegetales frescos cortados (Lemos, 2020).

2.6.2.2 Métodos químicos para el control del pardeamiento enzimático

Los antipardeantes se pueden clasificar según actúen sobre la enzima, sobre los sustratos o sobre los productos de reacción, y su efecto puede ser temporal, irreversible o reversible. Cada compuesto tiene, con respecto a la acción antipardeante, sus puntos fuertes y débiles, y es importante considerar su disponibilidad, seguridad y costo, siendo su efectividad altamente dependiente del tipo de tejido vegetal al que se pretenda proteger (Escobar Hernández, 2013). La existencia de compuestos químicos que poseen propiedades antipardeantes ha llevado al desarrollo y aplicación de métodos adecuados para la disminución del pardeamiento en VMP. Su aplicación está reglamentada por la FAO/OMS, Codex Alimentarius y la FDA, y su dosificación o aplicación está restringida total o parcial-

mente en algunos de ellos, por consideraciones toxicológicas y/o impactos organolépticos en sabor, aroma, color y textura. Los compuestos utilizados como antipardeantes actúan como agentes antioxidantes, quelantes o como acidulantes. Los ácidos policarboxílicos (cítrico, málico, tartárico, oxálico y succínico), polifosfatos, el EDTA y otras macromoléculas como proteínas y porfirinas se utilizan para secuestrar el cobre del centro activo del enzima.

Por otra parte, bajando el pH con agentes acidulantes a valores inferiores a 3 también se puede reducir la acción de la enzima, aunque el control del pH en frutas es complejo, ya que se puede alterar el tejido y causar rupturas celulares, potenciando así el pardeamiento junto con la aparición de sabores residuales. De igual manera, los agentes reductores o antioxidantes pueden inhibir el pardeamiento reduciendo las quinonas y los difenoles, o formando con las quinonas productos de adición menos coloreados.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los compuestos antipardeantes más utilizados en la industria de los VMP, detallando su función en el producto y mecanismo de acción. Los antioxidantes utilizados en frutas y verduras frescas incluyen acidulantes, como el ácido cítrico (AC), ascórbico (AA) y el ácido málico (Silveira, 2017), agentes reductores tales como cisteína (Cys) y AA, agentes quelantes y complejos tales como hexametafosfato (HMP) y ciclodextrina (CD) (Pilizota y Sapers, 2004) e inhibidores enzimáticos como 4 - hexilresorcinol (Hexil) (Arias et al. 2007).

Compuesto	Clasificación (INS)	Función	Mecanismo de acción
4-Hexilresorsinol (4-HR)	586	Agente de retención de color y antioxidante	Inhibición directa de la enzima

Ácido ascórbico Ácido isoascórbico Ácido eritórbico y su sal	300 315 316	Antioxidante	Reduce o-quininas a difenoles incoloros de baja reactividad
Etilendiaminote-traceticO (EDTA)	385	Antioxidante, conservante sinérgico y secuestrante	Quelante del centro activo Cu^{+2}
Lactato de calcio	327	Regulador de acidez	Formación de pectatos de Ca insolubles
Ácido cítrico	330	Antioxidante, regulador de acidez, secuestrante	Acidulante del medio
Ácixo oxálico	-	Secuestrante y regulador de acidez	Secuestrante de iones de Cu^{+2}
L-cisteína	920	Antioxidantes sulfidrilos	Reduceo-quinonas a difenoles de baja coloración
Ácido tartárico	334	Antioxidante sinérgico, regulador de acidez y secuestrante	Acidulante del medio

Tabla 3. Aditivos de interés para el procesamiento de VPM. Adaptado de Pérez-Cabrera (2003).

2.6.2.3 Métodos combinados para el control del pardeamiento

En general, para preservar la calidad de diferentes matrices vegetales se pueden aplicar tratamientos físicos tales como atmósferas modificadas activas (Oms-Oliu et al., 2010; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003), radiación UV-C (Adetuyi et al., 2020), tratamientos térmicos (Ansorena et al., 2014), soluciones antioxidantes (Son et al., 2001), entre otros. Los diferentes métodos de control del pardeamiento descriptos tienen limitaciones, según el producto hortícola del que se trate. Por lo tanto, diferentes autores proponen la combinación de tratamientos a fin de lograr la sinergia para prevenir el pardeamiento de forma más efectiva. Por ejemplo, tratamientos combinados de AC y UV-C en manzanas frescas cortadas resultaron ser combinaciones más efectivas para extender la vida útil del producto, respecto de los tratamientos individuales (Chen et al., 2016). Del mismo modo, Sanchís et al. (2016) establecieron que los tratamientos antioxidantes de AA o AC y un envasado en AMA (5 % $O_{2;}$ 95 % N_2) presentaron un efecto sinérgico en la inhibición del pardeamiento enzimático y el mantenimiento de la calidad del caqui fresco cortado.

3. Experiencias en la aplicación de antioxidantes para la conservación de berenjenas mínimamente procesada

En el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos - FAyA-UNSE, el grupo de Conservación de Vegetales estudió el efecto de la aplicación de diferentes soluciones antioxidantes para prevenir o retardar el pardeamiento enzimático y mantener la calidad visual de las berenjenas frescas cortadas del cv. "Black nite", durante su almacenamiento refrigerado.

La berenjena (*Solanum melongena* L.) pertenece a la familia de las solanáceas, y se caracteriza por su elevado contenido

en compuestos bioactivos, los cuales tienen efectos benéficos para la salud humana (Lemos et al., 2022). En nuestro país el cultivo se realiza a campo o en invernáculos, concentrándose en los cinturones hortícolas de diferentes zonas, donde se destina al mercado interno para su consumo en fresco (Mangione y Sanchez, 1999, Zaro, 2014). La berenjena mínimamente procesada, al igual que la mayoría de los productos recién cortados, constituyen un producto con potencial crecimiento en la industria alimentaria, debido a la conveniencia de su presentación y beneficios para la salud (Li et al., 2012). La comercialización de este producto se ve limitada por su vida útil relativamente corta, debido al rápido desarrollo del pardeamiento inmediatamente luego del corte y que se incrementa con el tiempo de conservación (Ghidelli et al., 2013a; Hussain et al., 2014). Diferentes autores han utilizado principalmente los valores de luminosidad (L*) y el índice de pardeamiento (IP) para describir el oscurecimiento en los vegetales frescos cortados, que se produce por el aumento de la concentración de pigmentos de color pardo, debido a las reacciones de pardeamiento enzimático (Arias et al., 2008).

En general, para evitar esta reacción en diferentes productos frutihortícolas, se han aplicado distintas soluciones antioxidantes en distintas concentraciones. Por ejemplo, el ácido oxálico, el ácido ascórbico, el ácido cítrico, la cisteína, el ácido kójico, el ácido oxalacético, el ácido eritórbico y el 4-hexilresorcinol han sido aplicados en manzanas y melones con diversos resultados (Rojas-Grau et al., 2006; Aguayo et al., 2015). Así, por ejemplo, Chiabrando y Giacalone (2012) encontraron que los ácidos cítrico y ascórbico al 1,0 % permitieron controlar el pardeamiento enzimático en las rebanadas de manzanas *Golden Delicious*, *Granny Smith* y *Scarlet Spur*. Por otra parte, Ghidelli et al. (2013b) informaron que diferentes antioxidantes naturales como el 4-hexilresorcinol y el ácido cítrico asociado con el cloruro de calcio (como agente de textura) fueron efec-

tivos para inhibir el pardeamiento enzimático del caqui "Rojo Brillante". Por lo tanto, se puede afirmar que cada vegetal puede responder de manera diferente a los antioxidantes aplicados. En ese sentido, Ghidelli et al. (2013a) quienes estudiaron el efecto de soluciones de ácido cítrico, ácido ascórbico y cisteína en berenjenas del cv. Thelma cortadas en cubos, afirmaron que el efecto antipardeante de éstos depende del tipo de antioxidante, de su concentración y del pH. Estos autores informaron que el mejor tratamiento que permitió conservar las berenjenas cortadas en cubos durante 9 días, fue la aplicación de cisteína al 1 % durante 3 minutos.

De acuerdo con lo mencionado, el objetivo principal de las experiencias fue evaluar el efecto de diferentes soluciones antioxidantes sobre los atributos de la calidad sensorial, el pardeamiento y la actividad de la enzima polifenol oxidasa de berenjenas IV gama durante su conservación refrigerada, a fin de seleccionar la más adecuada para prolongar su calidad de fresco. De esta forma se podría incrementar el valor agregado de esta fruta, mejorando su estabilidad y generando nuevas formas de comercialización. En la Figura 2 se presenta el diagrama de proceso usado para la elaboración de berenjenas cortadas en láminas IV gama. Las berenjenas de la variedad Black nite fueron adquiridas de productores locales (Santiago del Estero, Argentina) y seleccionadas de acuerdo al peso de 300 $\pm$ 30 g y color uniforme, libre de imperfecciones, superficie lisa y brillante, descartándose aquellos frutos que presentaron defectos, enfermedades o falta de uniformidad. Inmediatamente después de cosechar los frutos, fueron trasladados al laboratorio donde fueron lavados, desinfectados con agua clorada (150 ppm-3 min) y cortados en láminas de 1 cm de espesor. Luego de cortadas, inmediatamente se enjuagaron por inmersión en agua potable a 5 °C, a fin de eliminar los fluidos celulares y fueron escurridas al aire, sobre papel absorbente. Posteriormente, se sumergieron en diferentes soluciones antioxidantes a una temperatura de 4

°C, las cuales fueron: ácido cítrico (AC), al 0,5 y 1,0 % p/v; ácido ascórbico (AA), al 0,5 y 1,0 % p/v; cisteína (Cys), al 0,5 y 1,0 % p/v y agua (control). Una vez escurridas, se almacenaron 3 láminas por tratamiento en bandejas de polipropileno (PP) y se sellaron térmicamente con bolsas de PP biorientado de 35 µm de espesor. Durante el almacenamiento refrigerado y para cada tiempo de muestreo, se realizaron evaluaciones sensoriales (apariencia general y pardeamiento) con panel entrenado, medición del color objetivo con colorímetro Minolta CTR-400 (L*, a*, b*) calculándose luego el IP, firmeza (con texturómetro), composición interna de gases en el envase (con medidor portátil de oxígeno y dióxido de carbono, Dansesnor), ácido ascórbico y actividad de PPO, según Lemos (2020).

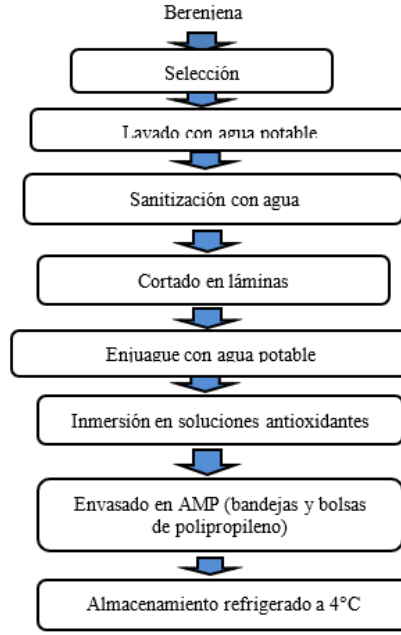


Figura 2. Diagrama del proceso de obtención de berenjenas cortadas en láminas IV gama.

A continuación se muestra en la Figura 3 una imagen fotográfica de las berenjenas cortadas en láminas envasadas almacenadas durante 2 días a 4 °C (control).



Figura 3. Imagen fotográfica de berenjenas cortadas en láminas envasadas en bolsas perforadas de polipropileno y almacenadas durante 2 días a 4 °C.

De acuerdo con los atributos de calidad sensorial evaluados, la solución de AA al 1,0 % fue la mejor de todos los tratamientos evaluados, como puede observarse a través de la Figura 4. Este tratamiento conservó la calidad visual de las berenjenas frescas cortadas en forma de láminas hasta los 6 días de almacenamiento a 4 °C, sin modificar los otros atributos sensoriales que son también importantes para el consumidor, tales como el sabor y el olor.

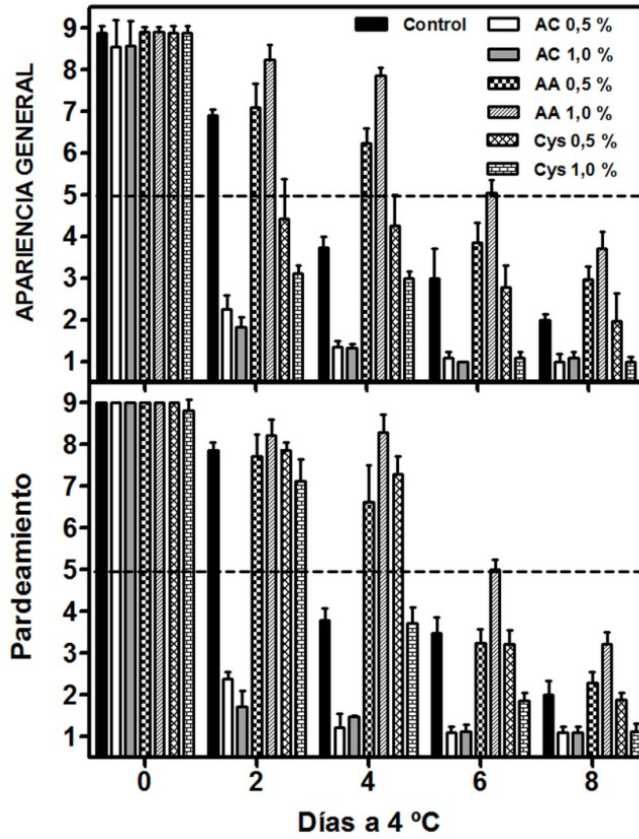


Figura 4. Evolución de Apariencia General y Pardeamiento de berenjenas frescas cortadas cv Black nite, tratadas con diferentes soluciones antioxidantes almacenadas a 4 °C durante 8 días, en bolsas de polipropileno de 35 µm de espesor. El valor 5 representa el límite de aceptación del parámetro.

La evolución de los parámetros de color superficial L* e IP de las láminas de berenjena tratadas con diferentes soluciones antioxidantes durante el almacenamiento refrigerado se presentan en la Figura 5. El pardeamiento estuvo acompañado

por una disminución en L* y un aumento en PI. Los resultados demostraron que la solución de AA al 1,0 % fue efectiva para minimizar el pardeamiento y mantener los parámetros L* e IP con los menores cambios durante el almacenamiento refrigerado, los cuales son coherentes con los resultados de apariencia general y pardeamiento.

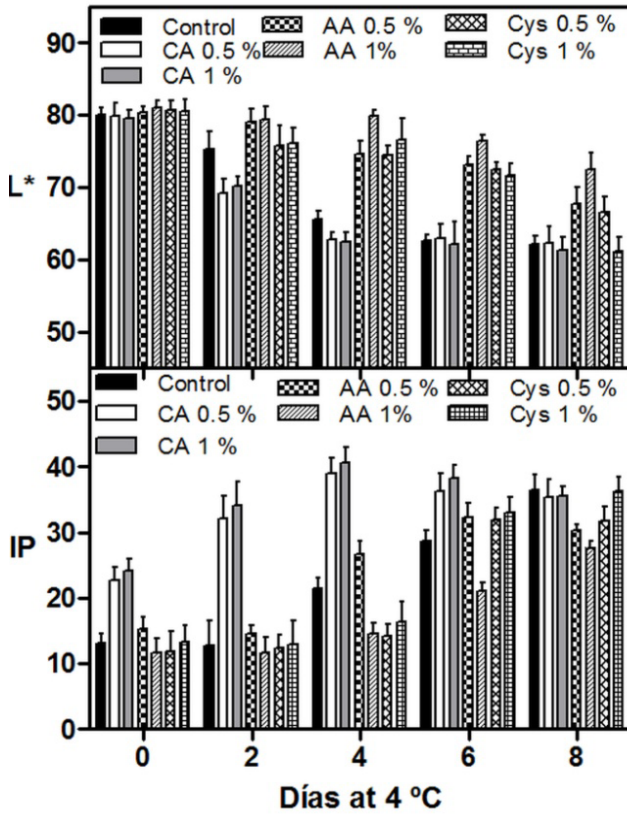


Figura 5. Evolución de los parámetros Luminosidad (L*) e Índice de Pardeamiento (IP) de berenjenas frescas cortadas cv Black nite, tratadas con diferentes soluciones antioxidantes almacenadas a 4 °C durante 8 días, en bolsas de polipropileno de 35 µm de espesor.

En la Figura 6 se muestra imágenes fotográficas de las berenjenas cv. Black nite cortadas tratadas con diferentes soluciones antioxidantes al cabo de los 6 días de almacenamiento a 4 °C.

Al evaluar la firmeza, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos durante todo el período de almacenamiento, por lo cual se podría afirmar que esta pérdida de firmeza puede estar asociada más a procesos de senescencia del vegetal que a los tratamientos aplicados (datos no mostrados).

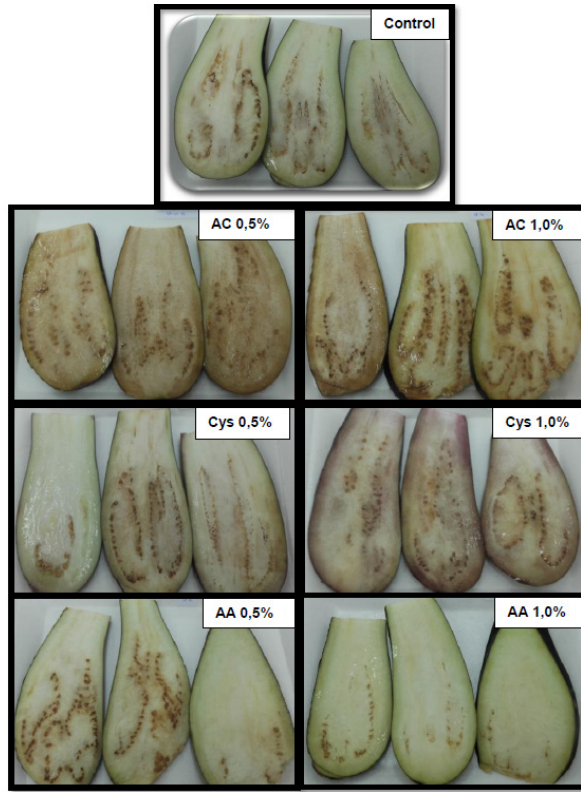


Figura 6. Imágenes fotográficas de las berenjenas cv. Black nite cortadas en láminas y tratadas con diferentes soluciones antioxidantes al día 6 de almacenamiento a 4 °C.

Por otra parte, una de las formas de controlar el pardeamiento enzimático es inhibiendo o minimizando la actividad de la PPO. Por lo tanto, se evaluó el efecto del tratamiento seleccionado previamente (AA al 1%), sobre la actividad de PPO durante el almacenamiento refrigerado de las berenjenas IV gama. Los resultados mostraron que el tratamiento con AA al 1,0 % tuvo efecto sobre la PPO, manteniendo prácticamente sin variaciones su actividad hasta el cuarto día e influyó, por lo tanto, sobre el desarrollo del pardeamiento enzimático de las muestras, lo que se observó en concordancia con la evolución del IP y del pardeamiento de las muestras evaluado sensorialmente (Figura 7).

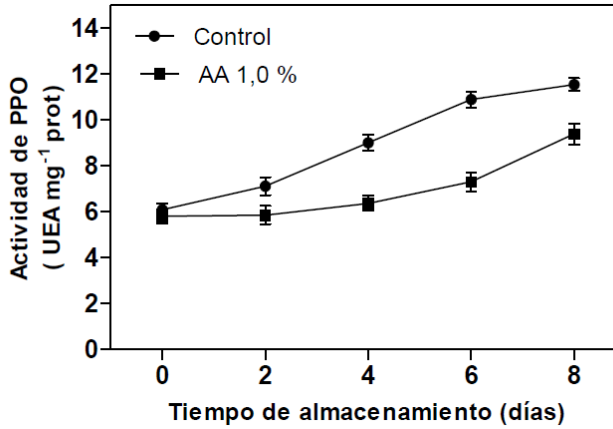


Figura 7. Evolución de la actividad de la enzima PPO de berenjenas cortadas tratadas con AA 1,0 %, durante el almacenamiento a 4°C.

3. Conclusiones

Los consumidores demandan productos frescos y saludables que también deben ser convenientes y fáciles de preparar. Esto ha llevado a un mayor consumo de frutas y verduras mínimamente procesadas. Recientemente, las berenjenas (*Solanum*

melongena), que se consumen en gran medida como productos frescos y enteros, están atrayendo más interés como vegetales mínimamente procesados. La comercialización de berenjenas como producto recién cortado está limitada por su vida útil relativamente corta debido a un inicio rápido del pardeamiento enzimático. El enfoque principal para reducir el pardeamiento enzimático es el uso de soluciones antioxidantes.

En este capítulo, se realizó un estudio del efecto de diferentes soluciones de antioxidantes a diferentes concentraciones, proporcionando información para un mayor desarrollo de berenjenas mínimamente procesadas durante el almacenamiento a 4 ºC. En el mismo, se determinó que la inmersión de las berenjenas cortadas en láminas de 10 mm en una solución de AA al 1,0 % fue el más adecuado para su preservación, ya que mantuvo por un mayor período de tiempo la calidad sensorial sin modificar los atributos característicos del vegetal. Además, este tratamiento con AA al 1,0 % tuvo un efecto sobre la actividad de la PPO, manteniéndola prácticamente constante su actividad durante 4 días. Los tratamientos con ácido cítrico y cisteina no fueron adecuados, ya que aceleró el pardeamiento de las berenjenas, induciendo cambios no deseables en la coloración de la piel y de la pulpa. Por lo tanto, es muy importante remarcar que cada vegetal puede responder de manera diferente a los antioxidantes aplicados. Entonces, es imprescindible determinar el tipo y la concentración del antioxidante más conveniente a aplicar en cada caso particular, y no se puede extrapolar directamente para otro producto vegetal.

Referencias

Adetuyi, F.O., Karigidi, K.O., Akintimehin, E.S. (2020). *Effect of postharvest UV-C treatments on the bioactive components, antioxidant and inhibitory properties of clerodendrum volubile leaves*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19(1), 7–13.

Aguayo, E., Requejo-Jackman, C., Stanley, R., Woolf, A. (2015). *Hot water treatment in combination with calcium ascorbate dips increases bioactive compounds and helps to maintain fresh-cut apple quality.* Postharvest Biology and Technology. 110: 158-165.

Ansorena, M.R., Moreira R. Roura S.I. (2014). *Combined effect of ultrasound, mild heat shock and citric acid toretain greenness, nutritional and microbiological quality of minimally processed broccoli (Brassica oleracea L.): An optimization stud*. Postharvest Biology and Technology. 94: 1–13.

Arias, E., González, J., Oria, R., Lopez-Buesa, P. (2007). *Ascorbic acid and 4-hexylresorcinol effects on pear PPO and PPO catalyzed browning reactions.* Journal of Food Science. 72: C422–C429.

Arias, E., Gonzáles, J., López-Buesa, P., Oria, R. (2008). *Optimization of processing of fresh-cut pear.* Journal of the Science of Food and Agriculture. 88: 1755–1763.

Artés, F., y Allende, A. (2015). *Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed to pro techniques leafy vegetables.* European Journal of Horticultural Science, 70 (5): 231-245.

Artés, F., Gómez, P., Aguayo, A., Escalona, V., Artés-Hernández, F. (2009). *Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities.* Postharvest Biol. Technol. 51: 287-296.

Borrás-Vallverdú, B. (2018). *Inhibición del pardeamiento enzimático en patata utilizando extracto de perejil.* Tesis de maestría, Universidad Pública de Navarra, Navarra, España. Pp. 46.

Cisneros-Zevallos , L., Jacobo-Velazquez, D. A. (2020). *Controlled abiotic stresses revisited: from homeostasis through hormesis to extreme stresses and the impact on nutraceuticals and quality during pre- and postharvest applications in horticultural crops*. J. Agric. Food Chem. 68, 11877–11879. doi:10.1021/acs.jafc.0c06029

Chen, C., Hu, W., He, Y., Jiang, A., Zhang, R. (2016). *Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples.* Postharvest Biology and Technology, 111: 126–131.

Chiabrando, V., y Giacalone, G. (2012). *Effect of antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut apples during cold storage.* Journal of Food Processing and Preservation. 36(2): 133-140.

De Ancos, B., Sánchez Moreno, C., Cano, P. (2009). *Aspectos nutricionales y saludables de vegetales frescos, cortados.* En Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados. Ed. Trillas. Mexico. Cap. 5, pags. 419-429.

De Corato, U. (2019). I*mproving the shelf-life and quality of fresh and minimally processed fruits and vegetables for a modern food industry: a comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements.* Critical reviews in food science and nutrition. pp 1-36.

Escobar Hernández, A. (2013). *Aplicación de la tecnología de barreras para la conservación individual y de mezclas de hortalizas mínimamente procesadas.* Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia. pp 108.

Food y Drug Administration, H.H.S. (2008). *Irradiation in the production, processing and handling of food. Final rule.* Federal Register. 73(164), pags. 49593–49603.

Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., Pérez-Gago, M.B. (2013a). *Effect of antioxidants on enzymatic browning of eggplants extract and fresh-cut tissue.* Journal of Food Processing and Preservation, 38(4): 1501-1510.

Ghidelli, C., Rojas-Argudo, C., Mateos, M., Pérez-Gago, M. B. (2013b). *Effect of antioxidants in controlling enzymatic browning of minimally processed persimmon Rojo Brillan-*

te". Postharvest Biology and Technology, 86: 487–493.

Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Frary, A., y Doğanlar, S. (2018). *Health benefits and bioactive compounds of eggplant.* Food Chemistry, 268: 602-610.

Gutierrez, D.R (2016). *Efecto del ozono y radiación UV-C en la conservación, fisiología poscosecha y propiedades bioactivas de rúcula mínimamente procesada.* Tesis doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. 332 pp.

Gutiérrez, D.R., Chaves, A.R., Rodríguez, S.D.C. (2018). *UV-C and ozone treatment influences on the antioxidant capacity and antioxidant system of minimally processed rocket (Eruca sativa Mill.).* Postharvest Biology and Technology, 138, 107-113.

Gutierrez, D.R., y Rodriguez, S.D.C. (2019). *Combined effect of UV-C and ozone on bioactive compounds and microbiological quality of fresh-cut rocket leaves.* American Journal of Food Science and Technology, vol. 7: 3, 71-78.

Hu, W., Sarengaowa, G.Y., Feng, K. (2022). *Biosynthesis of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Fresh-Cut Fruits and Vegetables.* Frontiers Microbiology, Food Microbiology. https://internal-journal.frontiersin.org/articles/10.3389 /fmicb.2022.906069 /full.

Hussain, P.R., Omeera, A., Suradkar, P.P., Dar, M.A. (2014). *Effect of combination treatment of gamma irradiation and ascorbic acid on physicochemical and microbial quality of minimally processed eggplant (Solanum melongena L.)*. Radiation Physics and Chemistry, 103, 131–141.

Inestroza-Lizardo, C., Gomez-Gomez, H., y Túrcios, E.R. (2015). *Métodos de cosecha y preparación de hortalizas para la industria de IV y V gama.* Revista Simiente. 85(1- 2), pags.55-68.

Lemos, M.L. (2020). *Efecto de la aplicación de barreras múltiples en la fisiología y conservación de berenjenas (Solanum melongena L.) IV gama.* Tesis doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. pags. 258.

Lemos, M. L., Gutiérrez, D. R., Farías, M. J., & Rodríguez, S. D. C. (2022). *Effect of UV-C treatments on quality and browning-*

related enzyme activity of fresh-cut eggplant (Solanum melongena L.) during cold storage. Journal of Food Processing and Preservation, e16986.

Li, H., Deng, Z., Zhu, H., Hu, C., Liu, R., Young, J. C., y Tsao, R. (2012). Highly pigmented vegetables: anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities. Food Research International, 46: 250–259

Mangione, J., y Sánchez, M. (1999). *Cultivo y manejo poscosecha de berenjena. Área de Inspección de frutas y hortalizas. Laboratorio de Fitopatología.* Mercado Central de Buenos Aires. http://www.mercadocentral.com.ar/site2001/tecnicas/berenjena.zip

Mishra, B.B., Gautam, S., Sharma, A. (2013). *Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (Solanum melongena).* Food chemistry, 139(1-4), 105-114.

Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teiidó, N., y Viñas, I. (2015). *Application of modified atmosphere packaginf as a safety approach to fresh-cut fruits anda vegetables- A review.* Trends in Food Science and Technology, 46(1): 13-26.

Oms-Oliu G., Rojas-Grau, M.A., Alandes Gonzalez, L., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I., Pérez Munuera, I., Fiszman, S., y Martín Belloso, O. (2010). *Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review.* Postharvest Biology and Technology, 57: 139-148.

Pérez Cabrera, L.E. (2003). *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Banquilla) mínimamente procesada.* Tesis doctoral, Universidad politécnica de Valencia, Valencia, España. 341 pp.

Pilizota, V., y Sapers, G.M. (2004). *Novel browning inhibitor formulation for fresh-cut apples.* Journal of Food Science, 69: 140-143.

Pinheiro, S.C.F., y Almeida, D.P.F. (2008). *Modulation of tomato pericarp firmness through pH and calcium: Implications fot the texture of fresh-cut fruit.* Postharvest Biology and Technology, 47: 119-125.

Pirovani, M.E. Güemes, D., Piagentini, A.M. (2006). *Vegetales frescos cortados procesamiento y calidad.* Universidad Nacional del Litoral. ISBN 987-508-601-0. 90 pp.

Plazas, M., López-Gresa, M., Vilanova, S., Torres, C., Hurtado, M., Gramazio, P., Andújar, I.,Herraiz, F., Belles, J., Prohens, J. (2013). *Diversity and relationships in key traits for functional and apparent quality in a collection of eggplant: fruit phenolics content, antioxidant activity, polyphenol oxidase activity, and browning.* J. Agric. Food Chem. 61: 8871-8879.

Queiroz, C., Méndes Lópes, M.L., Fialho, E., Valente-Mesquita, V.L. (2008). *Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control.* Food Reviews International, 24: 361–375.

Rodríguez, S.C., y Generoso, S.M. (2012). *Evaluation of the sensorial quality of minimally processed fruits and vegetables. Recent contributions to sensory analysis of foods.* Edir. Research Signpost. Kerala, India. Cap. 5. pp 67-84.

Rodríguez, S.C., Gutiérrez, D.R., Torales, A.C., Sgroppo, S.C. (2015). *Estudio sobre la producción y consumo de vegetales de la IV Gama en Argentina.* Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Vol II. pp 1-8.

Rojas-Grau, M.A., Sobrino López, A., Tapia, M.S., Martin Belloso, O. (2006). *Browning inhibition in fresh-cut Fuji apple slices by natural antibrowning agents.* Journal of Food Science, 71: 559–565

Sanchís, E., González, S., Ghidelli, C., Sheth, C.C., Mateos, M., Palou, L., y Pérez-Gago, M. B. (2016). *Browning inhibition and microbial control in fresh-cut persimmon (Diospyros kaki Thunb. cv. Rojo Brillante) by apple pectin-based edible coatings.* Postharvest Biology and Technology, 112: 186-193.

Silveira, A.C. (2017). *Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV gama o mínimamente procesados.* Agrociencia Uruguay, 21: 1-6.

-Sheng, L., Zhu, M.J. (2021) Practical in-storage interventions to control foodborne pathogens on fresh produce. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2021; 20:4584–4611. DOI: 10.1111/1541-4337.12786

Soliva-Fortuny, R.C., y Martín-Belloso, O. (2003). *New advances in extending the shelf life of fresh-cut fruits: A review.* Trends in Food Science and Technology, 14: 341-353.

Son, S.M., Moon, K.D., Lee, C.Y. (2001). *Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices.* Food Chemistry, 73: 23-30.

Tapia, M.R., Gutierrez-Pacheco, M.M., Vazquez-Armenta, F.J., González Aguilar, G.A., Ayala Zavala, J.F., Rahman M.S., Siddiqui, M.W. (2015). *Washing, Peeling and Cutting of Fresh-cut Fruits. In Minimally processed foods.* Edit. Springer. Cap 4. pags. 57-78.

Toivonen, P.M.A., y Brummell, D.A. (2008). *Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables.* Postharvest Biology and Technology, 48: 1–14.

Torales, A.C. (2016). *Efecto de atmósferas modificadas pasivas y activas en la conservación de una mezcla binaria de hortalizas mínimamente procesadas: rúcula y anco rallado.* Tesis doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. pags. 361.

Torales, A.C., Gutiérrez, D.R., Rodríguez, S.D.C. (2020). *Influence of passive and active modified atmosphere packaging on yellowing and chlorophyll degrading enzymes activity in fresh-cut rocket leaves.* Food Packaging and Shelf Life, 26, 100569.

Zaro, M.J. (2014). *Análisis de factores que afectan la acumulación, distribución y estabilidad de antioxidantes de naturaleza fenólica en berenjena (Solanum melongena L.).* Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina. 220 pp.

USO DE BIOESTIMULANTES COMO ESTRATEGIA PARA MITIGAR EL ESTRÉS ABIÓTICO EN CULTIVOS HORTÍCOLAS REGIONALES. EFECTO SOBRE LA RESPUESTA BIOQUÍMICA.

Melisa E. Yonny[1,2], Maria L. Toscano-Adamo[1,2], Ariel Rodriguez-Torresi[3], Lucrecia L. Chaillou[1], Mónica A. Nazareno[1, 2]

Resumen

En un sistema vegetal expuesto a condiciones estresantes ambientales, se produce, entre otras respuestas bioquímicas, una producción exacerbada de especies reactivas de oxígeno, que cuando no pueden ser depuradas por antioxidantes endógenos, se produce estrés oxidativo. La aplicación de bioestimulantes en las plantas en forma preventiva al estrés constituye

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Instituto de Ciencias Químicas (ICQ). Santiago del Estero, Argentina
2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Santiago del Estero. Argentina
3 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina

una estrategia de mitigación ecoamigable. Un bioestimulante se define como un producto que mejora la productividad de las plantas debido a propiedades novedosas del complejo de constituyentes. Se estudió la aplicación foliar de un extracto acuoso de *Ilex Paraguariensis* (IP) en plantas de melón y pimiento previo a su exposición a altas temperaturas y/o déficit hídrico. Se observó reducción en el grado de avance del estrés oxidativo y activación de los mecanismos antioxidantes de respuesta endógenos. El extracto acuoso de IP sería un potencial bioestimulante para mejorar la tolerancia del cultivo de melón y pimiento frente al estrés térmico y/o hídrico.

Palabras clave: Estrés Oxidativo; Estrés Térmico; Estrés Hídrico; Melón; Pimiento; Antioxidantes

1. Introducción

Cuando las especies vegetales resultan expuestas durante su desarrollo a condiciones ambientales adversas, tales como temperaturas extremas, exposición intensa a la radiación ultravioleta, alta salinidad, restricciones hídricas, entre otras, se produce la condición de estrés abiótico (Zandalinas et al., 2021). Estos factores estresantes provocan numerosas alteraciones en los parámetros fisiológicos, bioquímicos y moleculares de las plantas que conllevan a una fuerte disminución del crecimiento y de la producción de estas (Jangra et al., 2019). Según Farooq et al., (2009), el estrés abiótico causa una reducción en el rendimiento entre un 13 y 94% en diversos cultivos, dependiendo de la intensidad y de la duración de este. A nivel celular, dicho estrés, conduce a la reducción de la cadena de transporte de electrones exacerbada como resultado de un incremento del cierre estomático. Por lo tanto, se genera un exceso de energía y con ello, un alto contenido de especies reactivas del

oxígeno (ROS) tales como, el radical anión superóxido (O_2•–), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el radical hidroxilo (HO•).

Para contrarrestar los efectos negativos del estrés, las plantas han desarrollado mecanismos de aclimatación y adaptación que les otorgan tolerancia a la condición de estrés ambiental a la que fueron expuestas (Devireddy et al., 2021). Diferentes respuestas bioquímicas se activan cuando las plantas enfrentan estrés, entre ellas se pueden destacar los mecanismos de defensa antioxidante del tipo enzimático y no enzimático para la depuración de las ROS (Chaki, et al., 2020). Entre las principales enzimas antioxidantes se destacan la superóxido dismutasa (SOD), que actúa en la primera línea de defensa al reducir el O_2•– a H_2O_2, y la catalasa (CAT) y la ascorbato peroxidasa (APX) como enzimas claves para la depuración del H_2O_2. A su vez, entre los mecanismos de defensa antioxidante no enzimático, se asocian diversos compuestos químicos de naturaleza fenólica, entre los principales antioxidantes, como los flavonoides, y otros como el ascorbato, el glutatión y los carotenoides. Sin embargo, cuando el exceso de ROS no puede ser depurado por el mecanismo de defensa endógeno, se genera un estado de estrés oxidativo (EO). Esta condición provoca daño celular que conduce, en una etapa final, a la muerte de la planta (Raza et al., 2019). En condiciones de EO, las ROS pueden oxidar a los ácidos grasos poliinsaturados, que constituyen las membranas celulares, y generar diversos productos de oxidación. Algunos de estos derivados oxidados son considerados biomarcadores del EO, cuando sus niveles son proporcionales al grado de avance del mecanismo de degradación oxidativa. Este es el caso del malondialdehído (MDA), uno de los más reconocidos biomarcadores del EO en sistemas tanto de origen animal (Yonny et al., 2016a) como vegetal (Yonny et al., 2017). Los mencionados mecanismos de defensa endógenos de las plantas sólo son efectivos si se activan a tiempo y si se anticipan a los cambios en el ambiente que puedan afectar el crecimiento

de estas de manera irreversible (Bulgari et al., 2019). De lo contrario, cuando los mecanismos intrínsecos de las plantas no son suficientes, es necesario recurrir a herramientas tecnológicas que mejoren la tolerancia del cultivo al estrés. Para ello, se requiere comprender los procesos fisiológicos y bioquímicos involucrados en su respuesta al estrés, es decir, la evaluación de todos los metabolitos que intervienen en la misma.

En el contexto regional, los cultivos de melón (*Cucumis melo* L.) y de pimiento (*Capsicum annuum* L.) tienen gran impacto desde el punto de vista económico y social. En este sentido, el melón es una de las frutas tropicales más conocidas y demandadas entre los cultivos hortícolas, con una producción mundial de 27,5 millones de toneladas (FAOSTAT, 2019). Su consumo es cada vez mayor debido a que es una importante fuente de compuestos bioactivos y a su comercialización como producto mínimamente procesado (llamados IV gama) (Ionica et al., 2015). A su vez, dicha especie presenta altos requerimientos hídricos (686 gramos de agua para producir un gramo de materia seca) y una gran superficie foliar, asociada a una mayor tasa transpiratoria. Por lo tanto, estas características conducen a que sea una especie sensible al estrés hídrico (Penella et al., 2014). El agua de riego siempre ha sido un recurso escaso. En muchas regiones de Latinoamérica se estima que la oferta de agua de riego disminuirá en los próximos 50 años debido a la creciente demanda para uso humano y a la mayor sequía por el cambio climático (Parry et al., 2007). Además, en la provincia de Santiago del Estero, la producción de esta hortaliza tiene la particularidad de ser temprana debido al invierno benigno, ya que en agosto (mes en el que se realiza el trasplante adelantado de melón) se registran temperaturas medias superiores a los 20 ºC. Esta producción se realiza en sistemas semiforzados con estructuras de microtúnel en los cuales el cultivo se cubre con manta térmica o plásticos. En este sistema, en determinados momentos del día, se alcanzan temperaturas extremas que

afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Con respecto al pimiento, es la segunda hortaliza de fruto más consumida a nivel nacional. Sin embargo, en su época de cultivo, se registran altas temperaturas, lo que reduce su rendimiento. Para mitigar esta situación, el pimiento se produce bajo estructuras de sombreo, aunque esta tecnología no resulta siempre suficiente para contrarrestar los efectos negativos del estrés térmico.

A partir de lo antes expuesto, se encomienda a la agricultura moderna la búsqueda de estrategias para mitigar los efectos negativos en el rendimiento de los cultivos por efecto de los diversos factores estresantes ambientales, para asegurar la disponibilidad de alimentos para una población mundial en continuo crecimiento y en un contexto de cambio climático. Entre las estrategias propuestas en el marco de una agricultura sustentable, se encuentra el uso de bioestimulantes para alcanzar una alta productividad, aun cuando las plantas están expuestas a condiciones ambientales desfavorables. (Zulfiqar et al., 2020).

Los bioestimulantes se pueden definir en general como productos que contienen sustancias y/o microorganismos que, cuando se aplican a las plantas, pueden estimular los procesos fisiológicos y mejorar su crecimiento, desarrollo, rendimiento, eficiencia nutricional, tolerancia a estrés abiótico o ciertos rasgos relacionados con la calidad de un cultivo; y de manera independiente a su contenido de nutrientes (Du Jardin 2015). A diferencia de los microorganismos, las sustancias bioestimulantes pueden ser orgánicas e inorgánicas, compuestos naturales (derivados de plantas) o sintéticos que mejoran la productividad de las plantas como consecuencia de las propiedades novedosas o emergentes de sus constituyentes (Mrid et al., 2021). Entre los diferentes tipos de bioestimulantes, se ha demostrado que aquellos que derivan de especies vegetales presentan la ventaja de ser una alternativa más económica y amigable con el medio ambiente, que aquellos de origen sintético (Naz et al., 2022). Estos bioestimulantes naturales contie-

nen moléculas bioactivas tales como antioxidantes, hormonas, minerales, vitaminas, aminoácidos, entre otros, que presentan un efecto beneficioso sobre las plantas y mejoran su capacidad para hacer frente a condiciones ambientales adversas, ya que actúan sobre el metabolismo primario o secundario, logrando disminuir la dependencia de ciertos fertilizantes e insecticidas (Quintero-Calderon et al., 2021).

Los bioestimulantes pueden actuar como antioxidantes o elicitores para su biosíntesis endógena. Por ejemplo, prolina, ácido gálico y α-tocoferol se han utilizado para mitigar los efectos del estrés salino en plantas de pimiento (Abdelaal et al., 2020), arroz (Ozfidan-Konakci et al., 2015) y cebolla (Semida et al. ,2016). También, se informó que aplicaciones exógenas de extractos de raíz de regaliz (Rady et al., 2019) y algas marinas (Deolu-Ajayi et al., 2022) estimularon el crecimiento de las plántulas y mejoraron el vigor de las semillas, en plantas de frijol. A su vez, diversos estudios mencionan que bioestimulantes provenientes de extractos ricos en antioxidantes, como los compuestos fenólicos, les confieren a las plantas una gran habilidad para mitigar los efectos detrimentales del estrés hídrico (Hanafy, 2017; Mrid et al., 2021; Naz et al., 2022). Se cree que estos metabolitos interactúan con las hormonas presentes en las plantas para desencadenar vías de señalización, activan mecanismos de defensa antioxidante endógeno y estimulan los procesos fotosintéticos (Mrid et al., 2021). Por lo tanto, su uso permite desarrollar estrategias integradas, efectivas, rentables y ecoamigables, que conducen a mayores rendimientos de los cultivos y a una agricultura sostenible (Mrid et al., 2021).

Entre las diferentes especies vegetales, fuente de compuestos fenólicos, se destaca la planta de yerba mate, *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (IP), muy conocida en Sudamérica por su consumo muy difundido en infusiones y decocciones (Burris et al., 2012). El principal compuesto fenólico en IP es el ácido clorogénico, un potente agente antioxidante, pero además es una

importante fuente de otros compuestos bioactivos tales como xantinas, saponinas y minerales que le confieren propiedades farmacológicas y le permitieron ser ampliamente utilizada en la elaboración de cosméticos, alimentos y refrescos (Burris et al., 2012). En nuestro grupo de trabajo se realizaron estudios que demostraron que el extracto acuoso de IP fue efectivo para disminuir los niveles de biomarcadores del EO en plantas de melón expuestas a condiciones de estrés térmico (Yonny et al., 2016b); y retardar el avance del EO. Además, mostró estimular el crecimiento en especies forestales durante su período de rustificación (Santacruz-García et al., 2022). Sin embargo, antes de promocionar al extracto acuoso de IP, y a cualquier bioestimulante, como "milagroso"; aún quedan por responder muchas preguntas relacionadas con su uso para mitigar el estrés. Algunas de las cuestiones por abordar son: número de aplicaciones, tasa de aplicación (dosis), momento (en el ciclo de vida del cultivo), efecto de la dosis, duración del efecto, entre otros (Teklić et al., 2021). Por lo tanto, es pertinente y necesario realizar estudios organizados y metódicos para brindar información valiosa que permitan establecer prácticas adecuadas de manejo de cultivos.

Por lo antes expuesto, este capítulo se enfoca en describir el uso de bioestimulantes como estrategia para atenuar el detrimento en el rendimiento de los cultivos expuestos a estrés abiótico. Se presentan resultados experimentales del efecto de la aplicación de un extracto acuoso de IP (en uno o en varios niveles de concentración) como potencial bioestimulante en plantas de melón y pimiento expuestas a estrés térmico y/o hídrico durante su cultivo. En particular, se realiza la evaluación de las variaciones en las concentraciones de distintos compuestos químicos involucrados en la respuesta bioquímica al estrés, y se busca establecer cuáles son los mecanismos endógenos de defensa que se activan principalmente.

2. Desarrollo experimental

Material vegetal y condiciones experimentales

Los ensayos fueron realizados en el marco de una colaboración estratégica y multidisciplinaria entre investigadores del ICQ-FAyA-UNSE y la EEA INTA-Santiago del Estero. Los experimentos en maceta se implementaron en la FAyA-UNSE y aquellos a campo se llevaron a cabo en el Campo experimental "Francisco Cantos" (INTA). El objetivo principal de los estudios realizados fue evaluar la respuesta bioquímica de plantas de melón y pimiento, expuestas a condiciones de estrés hídrico y/o térmico, frente a las aplicaciones de un extracto acuoso de IP como bioestimulante natural. Específicamente, se realizaron pulverizaciones foliares previas a la exposición de las plantas al estrés, y se evaluó su respuesta considerando el sistema antioxidante endógeno, el nivel de estrés oxidativo y la síntesis de metabolitos secundarios.

Para llevar a cabo lo antes expuesto, las plantas de melón (híbrido Sweet Ball) y pimiento (híbrido CLX-479) fueron expuestas a altas temperaturas durante su cultivo. El diseño experimental de ambos ensayos fue completamente aleatorizado y cada uno estuvo compuesto por 48 plantas. En el ensayo con plantas de melón, un grupo de 24 plantas fue cubierto con manta térmica (estructura de microtúnel) al día 35 después del trasplante (DDT) y durante cinco días, mientras que el restante grupo de 24 plantas permaneció descubierto todo el experimento. Las plantas de melón cubiertas (grupo con estrés térmico, ET) estuvieron expuestas a temperaturas entre 20 y 44 ºC, mientras que la temperatura ambiental registrada estuvo entre 18 y 35 ºC (grupo control). El ensayo con plantas de pimiento también fue dividido en dos grupos de 24 plantas cada uno, con y sin manta, pero en este caso, todo el ensayo completo fue también cubierto con una estructura de sombreo debido a que estas plantas son más sensibles que las de melón a las altas temperaturas (Figura 1). Entonces, las plantas

de pimiento cubiertas con manta térmica fueron expuestas a temperaturas entre 35 y 45 ºC (ET), y el rango de temperatura ambiental registrado fue 25-35 ºC (control). Luego, los grupos de plantas de control y estresadas de cada cultivo se dividieron nuevamente en cuatro subgrupos (de seis plantas cada uno), tres de ellos con aplicaciones del bioestimulante (ET+IP) y uno con agua destilada en su lugar. La aplicación foliar de la solución antioxidante se realizó antes de la exposición de las plantas a condiciones de estrés, a los 27 y 34 DDT, y en tres niveles de concentración 10 (IP1), 20 (IP2) y 40 g. L^{-1} (IP3).

a) b)

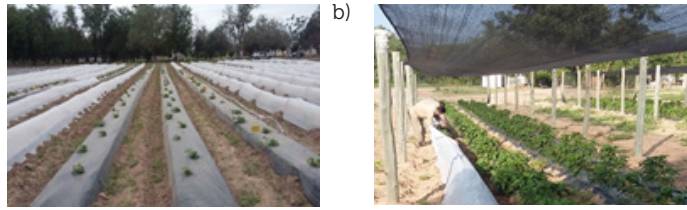


Figura 1. Imágenes del ensayo de estrés térmico en plantas: a) melón y b) pimiento

Con respecto a los ensayos de estrés hídrico, 24 plantas de melón (híbrido Nun de miel) que presentaban dos hojas verdaderas completamente expandidas, se colocaron en macetas en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones por tratamiento y se dispusieron bajo una estructura (macrotúnel) con techo de polietileno de 100 micrones de espesor para evitar el efecto de las precipitaciones (Figura 2). En el tratamiento control (12 plantas), las macetas fueron regadas diariamente con un volumen de riego para alcanzar un nivel de humedad de suelo equivalente al 100-90% de agua útil (AU); mientras que, en el tratamiento con estrés hídrico (EH), constituido por 12 plantas, dicho nivel fue 30-20% de AU. El déficit hídrico se mantuvo por 12 días, siendo que al primero y al sexto día de iniciado el estrés se realizaron aplicaciones foliares del bioestimulante en estudio en un nivel de concentración de 20 g. L-1 (EH+IP).



Figura 2. Ensayo de estrés hídrico en plantas de melón

2.1 Determinaciones analíticas de compuestos involucrados en la respuesta bioquímica al estrés

Se colectaron hojas de las plantas de melón y pimiento al finalizar sus correspondientes ensayos y fueron procesadas en laboratorio para evaluar las variaciones en las concentraciones de diversos metabolitos vegetales como consecuencia de su exposición a condiciones estresantes. Específicamente, se determinó el nivel de MDA, las actividades de las enzimas antioxidantes endógenas CAT, APX y SOD, y el contenido total de flavonoides (FT). Algunas determinaciones se realizaron con material vegetal fresco (MDA y actividades de enzimas antioxidantes) y también se realizaron mediciones en material que previamente fue secado por liofilización y mantenido a -20 ºC hasta su análisis (FT). Para llevar a cabo las mencionadas determinaciones, se utilizaron metodologías analíticas basadas en técnicas espectrofotométricas. Los resultados fueron procesados y evaluados utilizando el paquete estadístico INFOSTAT, versión libre 2020

(Di Rienzo et al., 2009). Un análisis de componentes principales (ACP) fue realizado para cada uno de los experimentos mencionados anteriormente, para determinar correlación entre variables, entre estas y los tratamientos e influencia que los mismos pudieran tener sobre dichas variables. Los resultados del ACP fueron representados mediante un gráfico bidimensional conocido como BIPLOT, y en cuyos ejes se resumen las variables principales, que permiten establecer similitudes y diferencias entre los tratamientos evaluados y en consecuencia clasificarlos en uno o varios grupos. El mencionado gráfico permite tener una visión global del efecto de los tratamientos considerando en simultáneo los valores obtenidos para cada variable analizada.

3. Resultados Obtenidos

En la Figura 3 se muestra el efecto de la aplicación foliar del extracto acuoso de IP en plantas de melón previo a su exposición a altas temperaturas durante su cultivo mediante un gráfico ACP. Cabe destacar que, a diferencia del estudio publicado anteriormente (Yonny et al., 2016b), en esta oportunidad se buscó establecer la dosis más efectiva del extracto para atenuar los efectos negativos del estrés mencionado, por lo que se evaluaron tres concentraciones diferentes.

El ACP explica el 80 % de la variabilidad total, superando el mínimo aceptable del 60 % (Di Rienzo et al., 2009); por lo que es pertinente su interpretación.

A nivel de la componente principal 1 (CP1), que explica un 57 % de la variabilidad total, se diferenciaron dos grupos. El primer grupo se constituye por el tratamiento control (sin estrés y sin aplicación de bioestimulante); mientras que, el segundo está constituido por los tratamientos en los cuales las plantas de melón fueron expuestas a altas temperaturas, en presencia y ausencia de los extractos de IP. Esta división en dos gru-

pos respecto de la CP1 está en concordancia con lo esperado, puesto que una clasificación en grupos de plantas estresadas, por un lado, y control, por otro, refleja los estados de la planta que fueron evaluados, con y sin estrés. En este sentido, la condición estresante estuvo dada por las temperaturas a las que fueron expuestas las plantas bajo cobertura de manta térmica (20-44 ºC), puesto que, según Whaid et al., (2007) temperaturas mayores a 35 ºC causan disminuciones en su crecimiento.

A nivel de la componente principal (CP2), que explica un 23% de la variabilidad total, se observó que plantas tratadas con IP1 e IP2 se agruparon con las plantas control, y a ellas se asociaron un incremento en las actividades de las enzimas antioxidantes endógenas APX y SOD. Esto podría atribuirse a la composición del extracto acuoso de IP, principalmente a su contenido de compuestos fenólicos, como ser ácido clorogénico y cafeico, que le confieren propiedades antioxidantes (Yonny et al., 2018). A su vez, Ozfidan-Konakci et al. (2015) y An et al. (2019) reportaron que los ácidos fenólicos tienen la habilidad de incrementar la actividad de enzimas antioxidantes. Del análisis de la información aportada por la CP2 también se desprende que los tratamientos bajo estrés sin la aplicación del bioestimulante (ET) formaron un nuevo grupo junto a las plantas estresadas y en las que se aplicó la dosis más alta del bioestimulante (EHT+IP3), presentando en conjunto mayores valores de MDA. Esta situación sería un indicio de que IP3, en lugar de tener efectos benéficos sobre el cultivo, estaría actuando de la misma manera que el estrés en sí, con efectos negativos específicamente un mayor avance del EO dado por un mayor nivel de MDA, por lo que el extracto en dicha dosis sería perjudicial. Tanto las plantas del grupo ET y ET+IP3 presentaron también elevados contenidos de FT, lo que podía explicarse a partir del hecho de que en ambos tratamientos las condiciones estresantes favorecen el incremento de estos metabolitos secundarios, pero esto no es suficiente para atenuar el efecto negativo del estrés térmico en

el cultivo. Finalmente, del análisis en conjunto de la respuesta antioxidante endógena se observa que el extracto acuoso de IP constituye un potencial bioestimulante de los mecanismos antioxidantes enzimáticos y no de los mecanismos antioxidantes no enzimáticos o de síntesis de metabolitos; y también que las dosis tanto IP1 como IP2 resultaron adecuadas para este cultivo y bajo este tipo de estrés abiótico.

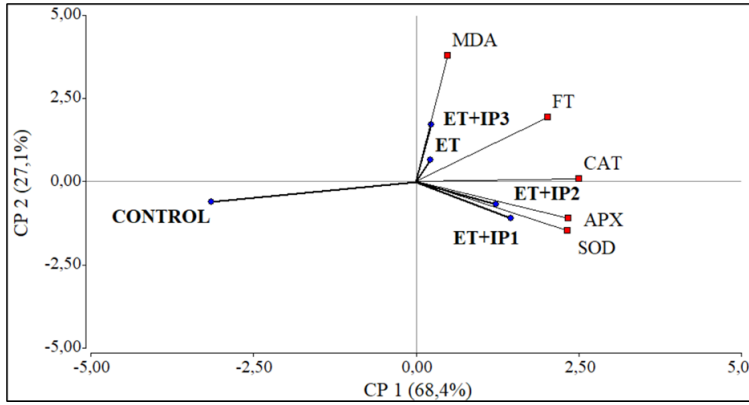


Figura 3. Análisis de componentes principales de la respuesta bioquímica (MDA, CAT, APX, SOD, FT) frente a la aplicación foliar de diferentes dosis de un extracto acuoso de IP en plantas de melón expuestas a condiciones de estrés térmico. CONTROL= plantas crecidas en óptimas condiciones. ET= plantas crecidas en condiciones de altas temperaturas. ET+IP1, ET+IP2, ET+IP3= plantas tratadas con IP a diferentes dosis respectivamente y crecidas en condiciones de altas temperaturas.

En la Figura 4 se muestra el efecto de la aplicación foliar del extracto acuoso de IP en plantas de pimiento previo a su exposición a altas temperaturas durante su cultivo, mediante un gráfico ACP. Se evaluó el efecto de la aplicación de dicho extracto en tres niveles de concentración (indicar las concentraciones utilizadas). El ACP explica el 91 % de la variabilidad total. A nivel de la CP1, que explica un 74 % de la variabilidad total, se observa nuevamente la separación entre plantas estresa-

das y no estresadas (control), como en el caso de la planta de melón. Esta situación está en concordancia con lo expresado por López-Martin et al. (2012), quienes informaron que las altas temperaturas constituyen un factor estresante que disminuye la calidad y el rendimiento de los cultivos de pimiento. A nivel de la CP2, que explica un 17,4 % de la variabilidad total, se observó que plantas bajo estrés, tratadas con IP1 e IP2 se asemejaron al control sin estrés registrándose para ambas situaciones una mayor actividad de las enzimas CAT, APX y SOD. También se observó que nuevamente, al igual que en el caso del cultivo antes analizado, las plantas de pimiento estresadas y tratadas con IP3 tuvieron una respuesta similar a las plantas estresadas sin aplicación del extracto bioestimulante, puesto que en ambos casos se determinaron mayores concentraciones de MDA. Por ello, a esta dosis del extracto IP su aplicación resultaría perjudicial. Con respecto a los mayores niveles de FT en las muestras bajo tratamientos ET y ET+IP3, estos serían el resultado de un aumento de estos metabolitos secundarios para tratar de mitigar el estrés térmico, pero sin lograrlo.

Entonces, las dosis 1 y 2 del extracto acuoso IP serían, al igual que en el caso del melón, las más adecuados también para pimiento y bajo este estrés. Esto se observa a partir de que tanto IP1 como IP2 estimularon los mecanismos de defensa antioxidante enzimáticos.

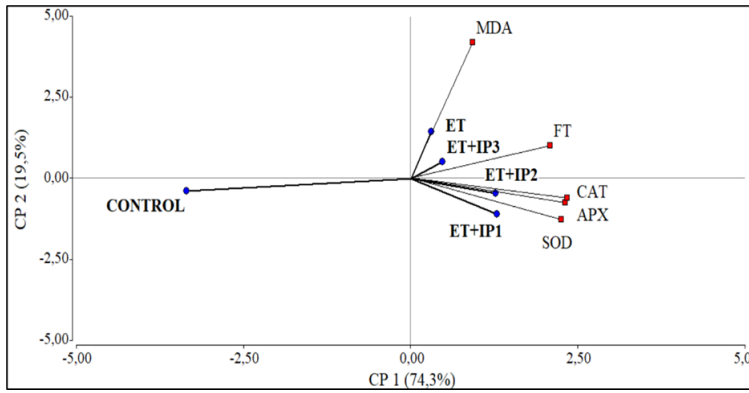


Figura 4. Análisis de componentes principales de la respuesta bioquímica (MDA, CAT, APX, SOD, FT) frente a la aplicación foliar de diferentes dosis de un extracto acuoso de IP en plantas de pimiento expuestas a condiciones de estrés térmico. CONTROL= plantas crecidas en óptimas condiciones. ET= plantas crecidas en condiciones de altas temperaturas. ET+IP1, ET+IP2, ET+IP3= plantas tratadas con IP a diferentes dosis respectivamente y crecidas en condiciones de altas temperaturas.

En la Figura 5, mediante un gráfico de ACP, se muestra el efecto de la aplicación foliar del extracto acuoso de IP, a una concentración dada (IP2), sobre el grado de protección que ofrece el mismo frente al estrés hídrico en el cultivo de melón. Dicho análisis explica el 100 % de la variabilidad total. Siendo para la CP1 un 68 % y para la CP2 un 32 % de la variabilidad explicada. A su vez, se observa que a nivel de la CP1 se diferencian nuevamente dos grupos. El primero se constituye por el tratamiento control bajo óptimas condiciones de riego, en donde se evidencian mayores valores de flavonoides totales. Mientras que, el segundo grupo está constituido por los tratamientos expuestos a condiciones de estrés con y sin la presencia del extracto de IP (EH+IP, EH). En este caso, se asocian valores altos de actividad enzimática (CAT, APX y SOD) y de MDA como parte de los mecanismos de defensa de las plantas y de señal

de daño al estrés. Sin embargo, a nivel de análisis de la CP2 se observa claramente cómo las plantas tratadas con IP se alejan de aquellas expuestas a estrés únicamente. A su vez, en dichas plantas sin tratar, se asocian los mayores valores de MDA, mientras que, en las plantas tratadas con extracto de IP, el daño oxidativo fue menor y además incrementó la actividad de las enzimas antioxidantes, como así también del contenido de flavonoides totales. Resultados similares fueron obtenidos por Li et al. (2013), quienes reportaron incrementos en la actividad enzimática antioxidante de CAT y disminuciones en los niveles de MDA frente a la aplicación foliar previa de 500 µM de ácido ferúlico, un ácido fenólico, en plantas de pepino expuestas a estrés hídrico. A su vez, se informó que la aplicación exógena de ácido gálico protege las plantas de arroz (*Oryza sativa*) contra el estrés osmótico y la salinidad al elevar las actividades de las enzimas antioxidantes que eliminan el H_2O_2 (Ozfidan-Konakcietal., 2015). Diversos estudios demuestran que la aplicación foliar de extractos de *Moringa oleífera* favorece la actividad de enzimas antioxidantes como CAT y APX en plantas de sorgo expuestas a estrés salino (Desoky et al., 2018) y en plantas de soja en condiciones de estrés hídrico (Hanafy, 2017). Entonces, en el caso del cultivo de melón expuesto a estrés hídrico, la aplicación del bioestimulante en estudio activó los mecanismos de defensa antioxidante endógenos enzimáticos y no enzimáticos.

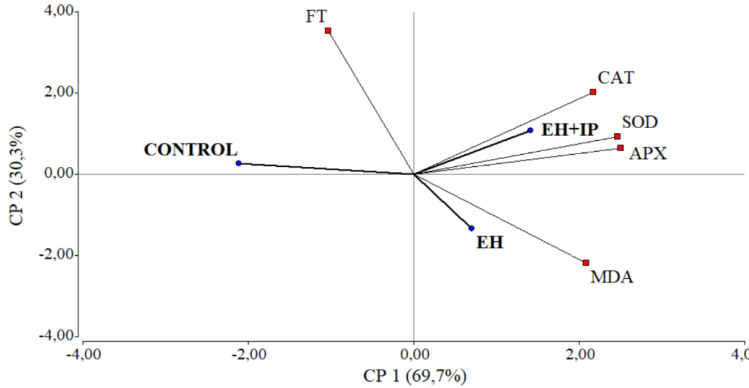


Figura 5. Análisis de componentes principales de la respuesta bioquímica (MDA, CAT, APX, SOD, FT) frente a la aplicación foliar de un extracto acuoso de IP en plantas de melón expuestas a condiciones de estrés hídrico. CONTROL= plantas crecidas en óptimas condiciones de riego (100-90% AU), EH= plantas crecidas con restricción hídrica (30-20% AU), EH+IP= plantas tratadas con IP y crecidas en restricción hídrica.

3. Conclusiones y perspectivas

En este capítulo se presentó una práctica de manejo de cultivos eco-amigable para mitigar los efectos negativos del estrés térmico e hídrico en las plantas de melón y pimiento. La aplicación foliar de un extracto acuoso de IP en forma previa al estrés generó cambios en la respuesta bioquímica de las plantas al mismo. Con la aplicación de dicho extracto se detuvo el avance del estrés oxidativo y se activaron mecanismos antioxidantes de respuesta endógenos enzimáticos y no enzimáticos. En ambos cultivos se encontraron las dosis de IP más convenientes para mitigar los efectos negativos del estrés. El extracto acuoso de IP sería un potencial bioestimulante para mejorar la tolerancia del cultivo de melón y pimiento frente al estrés

térmico e hídrico, y con su uso se podrían mitigar las pérdidas en la productividad de los cultivos. Para aprovechar dichos resultados es importante también evaluar las condiciones específicas para diferentes cultivos y sus híbridos, puesto que, debido al cambio climático, las plantas tendrán que crecer en condiciones cada vez más desfavorables.

Referencias

Abdelaal, K. A., Rashed, S. H., Hossain, A., & Sabagh, A. E. (2020). *Yield and quality of two sugar beet (Beta vulgaris L. ssp. vulgaris var. altissima Döll) cultivars are influenced by foliar application of salicylic acid, irrigation timing, and planting density.* Acta agriculturae Slovenica, 115(2), 273-282. doi.org/10.14720/aas.2020.115.2.1159

An, Y. Q., Sun, L., Wang, X. J., Sun, R., Cheng, Z. Y., Zhu, Z. K., & Bai, J. G. (2019). *Vanillic acid mitigates dehydration stress responses in blueberry plants.* Russian Journal of Plant Physiology, 66, 806-817. doi.org/10.1134/S1021443719050029

Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). *Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions*. Agronomy, 9(6), 306. doi.org/10.3390/agronomy9060306

Burris, K. P., Harte, F. M., Davidson, P. M., Stewart Jr, C. N., & Zivanovic, S. (2012). *Composition and bioactive properties of yerba mate (Ilex paraguariensis A. St.-Hil.): a review.* Chilean journal of agricultural research, 72(2), 268. doi.org/10.4067/S0718-58392012000200016

Chaki, M., Begara-Morales, J. C., & Barroso, J. B. (2020). *Oxidative stress in plants.* Antioxidants, 9(6), 481. doi.org/10.3390/antiox9060481

Deolu-Ajayi, A. O., van der Meer, I. M., Van der Werf, A., & Karlova, R. (2022). *The power of seaweeds as plant biostimulants to boost crop production under abiotic stress.* Plant, Cell & Environment, 45(9), 2537-2553. doi.org/10.1111/pce.14391

Devireddy, A. R., Zandalinas, S. I., Fichman, Y., & Mittler, R. (2021). *Integration of reactive oxygen species and hormone signaling during abiotic stress.* The Plant Journal, 105(2), 459-476. https://doi.org/10.1111/tpj.15010

Di Rienzo, J. A. (2009). *InfoStat versión 2009.* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. http://www. infostat. com. ar.

Du Jardin, P. (2015). *Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation*. Scientia horticulturae, 196,

3-14. doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). *Plant drought stress: effects, mechanisms and management.* Sustainable agriculture, 153-188. doi: 10.1007/978-90-481-2666-8_12

Hanafy, R. (2017). *Using Moringa olifera leaf extract as a bio-fertilizer for drought stress mitigation of Glycine max L. plants*. Egyptian Journal of Botany, 57(2), 281-292. doi.org/10.21608/ejbo.2017.596.1027

Ionica, M. E., Nour, V., & Trandafir, I. (2015). *Evolution of some physical and chemical characteristics during growth and development of muskmelon (Cucumis melo l.).* Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 52(2).

Jangra, S., Mishra, A., Disha, K., Yadav, N. R., & Yadav, R. C. (2019). *Plant responses and tolerance to drought.* In Approaches for enhancing abiotic stress tolerance in plants (pp. 79-98). CRC Press.

Li, D. M., Nie, Y. X., Zhang, J., Yin, J. S., Li, Q., Wang, X. J., & Bai, J. G. (2013). *Ferulic acid pretreatment enhances dehydration-stress tolerance of cucumber seedlings.* Biologia plantarum, 57, 711-717. doi.org/10.1007/s10535-013-0326-0

López-Marín, J., Gálvez, A., González, A., Egea-Gilabert, C., & Fernandez, J. A. (2012, October). *Effect of shade on yield, quality and photosynthesis-related parameters of sweet pepper plants*. In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956 (pp. 545-552).

Mrid, R. B., Benmrid, B., Hafsa, J., Boukcim, H., Sobeh, M., & Yasri, A. (2021). *Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review.* Science of the Total Environment,777, 146204. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146204

Mrid, R. B., Benmrid, B., Hafsa, J., Boukcim, H., Sobeh, M., & Yasri, A. (2021). *Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review*. Science of the Total Environment, 777, 146204. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146204

Naz, H., Akram, N. A., Ashraf, M., Hefft, D. I., & Jan, B. L. (2022). *Leaf extract of neem (Azadirachta indica) alleviates adverse*

effects of drought in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) plants through alterations in biochemical attributes and antioxidants. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(3), 1367-1374. doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.038

Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., & Kucukoduk, M. (2015). *Protective roles of exogenously applied gallic acid in Oryza sativa subjected to salt and osmotic stresses: effects on the total antioxidant capacity.* Plant Growth Regulation, 75(1), 219-234. doi.org/10.1007/s10725-014-9946-4

Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., & Kucukoduk, M. (2015). *Protective roles of exogenously applied gallic acid in Oryza sativa subjected to salt and osmotic stresses: effects on the total antioxidant capacity.* Plant growth regulation, 75, 219-234. doi.org/10.1007/s10725-014-9946-4

Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., & Hanson, C. (Eds.). (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.

Penella, C., Nebauer, S. G., Bautista, A. S., López-Galarza, S., & Calatayud, Á. (2014). *Rootstock alleviates PEG-induced water stress in grafted pepper seedlings: Physiological responses.* Journal of Plant Physiology, 171(10), 842–851. doi.org/10.1016/j.jplph.2014.01.013

Quintero-Calderon, E. H., Sanchez-Reinoso, A. D., Chavez-Arias, C. C., Garces-Varon, G., & Restrepo-Diaz, H. (2021). *Rice seedlings showed a higher heat tolerance through the foliar application of biostimulants*. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 49(1), 12120-12120. doi.org/10.15835/nbha49112120

Rady, M. M., Desoky, E. S., Elrys, A. S., & Boghdady, M. S. (2019). *Can licorice root extract be used as an effective natural biostimulant for salt-stressed common bean plants?*. South African Journal of Botany, 121, 294-305. doi.org/10.1016/j.sajb.2018.11.019

Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., &

Xu, J. (2019). *Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review.* Plants, 8(2), 34. doi:10.3390/plants8020034

Semida, W. M., Abd El-Mageed, T. A., Howladar, S. M., & Rady, M. M. (2016). *Foliar-applied alpha-tocopherol enhances salt-tolerance in onion plants by improving antioxidant defence system.* Australian Journal of Crop Science, 10(7), 1030-1039. doi/abs/10.3316/informit.327621977858527

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). *Heat tolerance in plants: an overview.* Environmental and experimental botany, 61(3), 199-223. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011

Yonny, M. E., García, E. M., López, A., Arroquy, J. I., & Nazareno, M. A. (2016a). *Measurement of malondialdehyde as oxidative stress biomarker in goat plasma by HPLC-DAD.* Microchemical Journal, 129, 281-285.

Yonny, M. E., Rodríguez Torressi, A., Nazareno, M. A., & Cerutti, S. (2017). *Development of a novel, sensitive, selective, and fast methodology to determine malondialdehyde in leaves of melon plants by ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry.* Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2017.

Yonny, M. E., Rodríguez Torresi, A., Cuyamendous, C., Reversat, G., Oger, C., Galano, J. M., & Nazareno, M. A. (2016b). *Thermal stress in melon plants: phytoprostanes and phytofurans as oxidative stress biomarkers and the effect of antioxidant supplementation*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64(44), 8296-8304. doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03011

Yonny, M. E., Medina, A. V., Nazareno, M. A., & Chaillou, L. L. (2018). *Enhancement in the oxidative stability of green peas by Ilex paraguariensis addition in a blanching process before their refrigerated and frozen storage.* LWT, 91, 315-321. doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.063

Zandalinas, S. I., Fritschi, F. B., & Mittler, R. (2021). *Global warming, climate change, and environmental pollution: recipe for a multifactorial stress combination disaster.* Trends

in Plant Science, 26(6), 588-599. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011

Zulfiqar, F., Casadesús, A., Brockman, H., & Munné-Bosch, S. (2020). *An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts.* Plant Science, 295, 110194. doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194

VI. ÁREA TEMÁTICA: TRASNSICIÓN ENERGÉTICA Y CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES

CONFORT TÉRMICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE JARDÍN DE INFANTES RURAL EN MITRE-SANTIAGO DEL ESTERO

Gabriela Giuliano[1,3], Julieta Saganias[1],
Luciana Thomaschewsky[1], Carlos Cascio[1], Beatriz Garzón[2,3],
Alejando Ferreiro[1], Carlos Juárez[1]

Resumen

El trabajo plantea el análisis de una institución educativa de nivel inicial, ubicada en área de población dispersa del departamento Mitre, Santiago del Estero. Se utiliza una combinación metodológica: descriptiva, experimental y analítica, para el diagnóstico del caso de estudio, respondiendo este a un comportamiento térmico deficiente. Por lo tanto, se propone incorporar recursos para la mejora energética de la envolven-

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías.
2 Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

te, y se evalúan comparativamente los casos, con el ajuste de simulaciones térmicas y la verificación de valores obtenidos mediante cálculo, con los admisibles establecidos por la serie de Normas IRAM. Se concluye que la alternativa superadora responde de manera óptima, logrando adecuados parámetros de confort interior y de eficiencia energética. Por ello, previo a la ejecución de proyectos educativos estatales, resulta prioritario incorporar una etapa de evaluación y ajuste del diseño, que permita el cumplimiento de estándares mínimos de calidad y confort, contribuyendo así a la sustentabilidad ambiental.

Palabras clave: Edificio Escolar, Ruralidad, Confort, Eficiencia Energética

1. Introducción

La acentuación del cambio climático es evidente en las últimas décadas, y la tendencia al calentamiento de la superficie de la tierra es alarmante. Nuestro clima es cada vez más cálido, y está dejando huella de manera acentuada: disminución o pérdida de superficie de glaciares con el consecuente aumento del nivel de mares, elevación de la temperatura promedio a nivel regional y mundial, transformaciones en los regímenes de precipitaciones, sequías que causan la intensificación de incendios, entre otras consecuencias (NASA, 2023). La razón de la tendencia al calentamiento es que las actividades humanas continúan emitiendo enormes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera; y los impactos planetarios a largo plazo también continuarán si se continúa por el mismo camino, expresó el director del Instituto Goddard de Investigaciones Espaciales (GISS, por sus siglas en inglés) de la NASA.

La temperatura promedio de la superficie de la Tierra en 2022 fue la quinta más cálida registrada. Los últimos nueve años han

sido los más cálidos desde que comenzaron los registros modernos en 1880. Esto significa que la Tierra en 2022 fue cerca de 1,11 grados Celsius (o unos 2 grados Fahrenheit) más cálida que el promedio de finales del siglo XIX, informaron científicos según un análisis del principal centro de modelado climático de la NASA.

Al mismo tiempo, el mundo está cada vez más urbanizado. Desde 2007, más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en ciudades, y se espera que dicha cantidad aumente hasta el 60 % para 2030. Las ciudades y las áreas metropolitanas son centros neurálgicos del crecimiento económico, sin embargo, también representan alrededor del 70 % de las emisiones de carbono mundiales y más del 60 % del uso de recursos. Las ciudades del mundo ocupan solo el 3% de la tierra, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono. La rápida urbanización ha dado como resultado el crecimiento de población en barrios marginados sin acceso a infraestructura o servicios adecuados, y sobrecargados en cuanto a la recogida de residuos, los sistemas de agua y saneamiento, carreteras y transporte, lo cual está empeorando la contaminación del aire y el crecimiento urbano incontrolado (ONU, 2015. 2023).

El sector edilicio presenta un elevado impacto ambiental, tanto desde el punto de vista de las emisiones de CO2 como desde el consumo energético. El mismo es responsable del 36% de las emanaciones de dióxido de carbono y del 40% del consumo energético total en el mundo (Rivero Camacho, et al, 2018). En Argentina, el 37% del consumo energético de la matriz nacional es ocupado por el sector edilicio, en donde la climatización es el ítem más representativo de dicho consumo (Kuchen y Kozak, 2020). Se estima que, sobre el total de la energía empleada para la climatización de ambientes, se desperdicia un 50% por las ganancias o pérdidas de calor a través de los cerramientos opacos del edificio (Venhaus-Held, et. al, 2017). Los cerramientos opacos son un factor sumamente

importante para regular y controlar el confort térmico de una construcción en un clima cálido, ya que es la envolvente de la edificación la que permite reducir de manera considerable los consumos energéticos. Por su parte, el Instituto Argentino de Normalización y Certificación exige en su normativa 11.603 valores de transmitancia térmica inferiores para techos en relación con los muros (IRAM, 2012). En cuanto a esquemas de certificación energética para edificios, estos surgen como método esencial para mejorar la eficiencia energética (EE), minimizando el consumo de energía y permitiendo mayor transparencia con respecto al uso de energía en edificios (Perez-Lombard, et. al, 2009). Asimismo, las clasificaciones de energía surgieron también como herramientas para minimizar el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero y promover una mayor transparencia con respecto al uso de energía en los edificios (Reus-Netto, et. al, 2019).

Según el Censo de Población, Hogares y Viviendas del 2010, casi el 70% de la población argentina reside en los 31 aglomerados urbanos más grandes del país. De igual manera, los resultados provisionales publicados del Censo realizado hacia fines del año 2022, dieron como resultado que la población actual de Argentina ronda las 46.044.703 personas (INDEC, 2023). Así, se estima que nuestro país sigue la tendencia mundial, llegando a un 92% de su población establecida en áreas urbanas, y que para el 2030, podría llegar a un 94%. La provincia de Santiago del Estero abarca un extenso territorio de 136.000 km2 y cuenta 1.054.028 habitantes, siendo la densidad de población general de 6,4 hab/km^2. A su vez, la densidad de población en áreas urbanas es 120 hab/km^2, mientras que la de áreas rurales desciende a apenas 0,5 hab/km2. La población rural promedio de la provincia ronda el 31,3% de este total, y un 5% de esta se ubica en zonas periurbanas, en cambio, el 95% restante se instala en áreas de población dispersas (ARPoDs). Estas últimas no cuentan con acceso al servicio de agua potable, cloaca ni de

red eléctrica, por lo que deben alimentarse a través de sistemas fotovoltaicos o bien sistemas híbridos solar-diésel (Saganias et. al, 2022). Por ello, es esencial enfocar investigaciones y proponer soluciones para mejorar el desarrollo de esta población específica, dotándolas, por ejemplo, de edificios que aporten a minimizar impactos negativos al ambiente, y sobre todo, optimizar las condiciones de salubridad, habitabilidad y calidad de vida, de las comunidades educativas de Santiago del Estero (Giuliano et. al, 2023). Así, es pertinente garantizar la construcción de nueva infraestructura, que posibilite el acceso con calidad a los sistemas: hídricos, de salud, educación, viviendas, etc.; y de esta forma promover el planteo de soluciones de provisión de energía para ellos, de modo que permitan mejorar la calidad de vida de esas poblaciones aisladas, evitando migraciones a centros urbanos (Fernández et. al, 2022).

Por lo expresado, el objetivo general del presente trabajo es en primera instancia evaluar el confort térmico de los usuarios de un jardín de infantes, situado en la localidad de Las Viboritas, Departamento Mitre, al sur de la provincia Santiago del Estero. En segunda instancia, se pretende comprobar, a través de herramientas de simulación térmica y etiquetado EE, la óptima incidencia de propuestas alternativas de rehabilitación de la envolvente edilicia y el uso de energías renovables; demostrando de esta manera que este tipo de mejoras en proyectos de edificios educativos estatales son viables y necesarias de abordar, para atender problemáticas locales relacionadas con la escasez de energía, la salubridad y sustentabilidad del hábitat.

2. Metodología

El trabajo se estructura en dos etapas. En primer lugar, una investigación descriptiva y analítica, sobre el estado del arte de la temática desde una mirada actual, obtenida a través de revi-

sión bibliográfica. Se desarrolla la caracterización del contexto geográfico y climático de la localidad donde se sitúa el establecimiento de educación infantil, junto al reconocimiento de recomendaciones generales de diseño y de orientaciones óptimas de asoleamiento, según zona Bioambiental IIa correspondiente a la Norma IRAM 11.603. Para cerrar esta primera etapa se incluye la sistematización de la información, producto del relevamiento arquitectónico y constructivo de la institución, denominada en adelante Caso Base (CB). En segunda instancia, se enfoca en el análisis de resultados empíricos a través de una evaluación objetiva cualitativa y cuantitativa. Se inicia partiendo del diagnóstico del caso base, a través de simulación edilicia realizada con el software Simedif 2.0 (Flores Larsen, 2019), se encuentra que el jardín de infantes posee un comportamiento térmico ineficiente. Se propone, entonces, una solución alternativa, denominada como Caso Mejorado (CM), con la rehabilitación energética de la envolvente, y el uso de recursos arquitectónicos que permiten incorporar estrategias pasivas de diseño. Seguidamente, se verifica la optimización mediante una nueva simulación térmica, y se analizan ambos resultados comparativamente entre sí, y a los rangos de confort recomendados por Givoni (1963) y Olgyay (1969). A continuación, se calculan valores del caso base y mejorado, en relación con los admisibles de la serie de normas IRAM 11.600. Para completar la segunda etapa, se valora la incidencia porcentual de las diferentes Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico (EPDA) y el nivel de eficiencia energética obtenido en los etiquetados del CM contrastado con CB, según normas IRAM 11.900 (2017 y 2019), junto al soporte de la herramienta del aplicativo nacional de etiquetado, versión 2.1.0 (PRONEV, 2023).

Finalmente, se concluye con una valoración integral de la investigación y con la discusión de los resultados obtenidos, mediante las mencionadas metodologías de balance energético, ya que se considera la totalidad del inmueble como un

sistema que intercambia energía con el ambiente circundante, en diversos modos y tiempos: en régimen es de cálculo: dinámico, estacionario y semi-estacionario.

3. Resultados

3.1 Situación geográfica y climática

El jardín de infantes provincial NºC 765 es anexo a la escuela N° 426 y se encuentra en ARPoDs en la localidad de Las Viboritas, del departamento Mitre, al sur de la provincia de Santiago del Estero. Con latitud de 29°24′50″S, y longitud 62°47′23″O, esta área pertenece a Zona Bioambiental II- Cálida y subzona a, con amplitudes térmicas mayores a 14°C (Figura 1), según clasificación bioambiental de la República Argentina de norma 11.603, donde además se analiza el cumplimiento o no, de recomendaciones de diseño y construcción (Tabla I). El clima de la localidad se caracteriza por un período estival muy cálido, con altas temperaturas y escasas lluvias, presentándose mayormente entre los meses de octubre a marzo (promedio anual de 8mm). El mismo corresponde al de regiones subtropicales, con una temperatura media anual de 21,5ºCC, con variantes extremas hasta de 45ºCC, siendo esto un factor fundamental a considerar en el diseño del edificio.

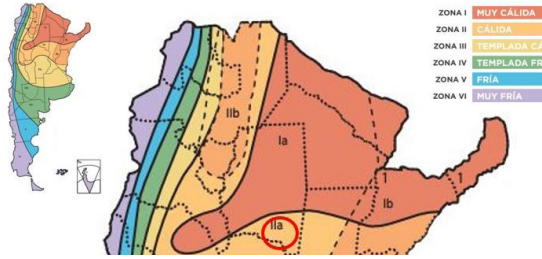


Figura 1. Zonas bioambientales de Argentina, Sgo. del Estero, Departamento Mitre. Fuente: IRAM 11.603: 2012, ICPA (2020) y elaboración propia del estudio.

Zona Bio-ambiental	Sub-Zona	Orien-taciones óptimas	Recomendación Generales Norma 11.603 (IRAM, 2012)	Obser-vaciones Caso Base
I- Muy cálida	a	NO-N-NE y SO-S-SE	Minimizar asolea-miento	No cumple
	b		Colores claros en paredes exteriores y techos	Cumple
II- Cálida	a	N y S	Gran aislación térmi-ca en techos y en las paredes orientadas al este y al oeste	No cumple
	b		Aprovechar los vien-tos dominantes y la creación de zonas de alta y baja presión que aumenten la circulación de aire.	No cumple

Tabla 1. Datos climáticos de la localidad: Temperatura y Humedad Relativa Periodo (2005-2015). Fuente: SMN- Estadísticas Climatológicas y elaboración propia del estudio.

3.2 Caracterización arquitectónica del jardín de infantes rural

El partido arquitectónico se ubica en el centro del terreno. Consta de dos volúmenes edilicios de perímetro libre, que se ordenan en torno al patio cívico. El primer edificio, hacia el sector Norte (N), tiene como función una escuela de nivel primario. El segundo volumen, en dirección Este (E), corresponde al nivel inicial del sistema educativo, jardín de infantes. El trabajo toma como caso de estudio al sector edilicio del nivel inicial, y el mismo se denominará en adelante caso base.



Figura 2. Fotografías y Planta de Arquitectura de Escuela NºC 426 y Jardín de Infantes anexo. Fuente: de elaboración propia del estudio.

En la Figura 2 se encuentra la vista de planta de toda la escuela y es posible observar que el sector de interés cuenta con la siguiente distribución de locales: salita/aula, depósito y/o dormitorio docente y cocina. Además, un tercer volumen del núcleo sanitario, que se configura de forma independiente y con menores dimensiones.

3.3 Caracterización tecnológica del jardín de infantes rural

El jardín en su cerramiento lateral se ejecutó con mampostería de ladrillo cerámico macizo (MM) de 0,18 m de espesor. El cerramiento horizontal superior corresponde a un Techo Liviano (TL) de cubierta de chapa con aislación térmica de lámina de espuma de polietileno de 5mm. Las carpinterías son de madera. Las ventanas poseen celosías, no llevan rejas ni aleros ho-

rizontales de hormigón como protección solar, como ocurre en el volumen correspondiente al nivel primario (Figura 3). La ventilación no es cruzada en los locales, ya que las aberturas no se localizan en ambos frentes, por lo tanto, la renovación de aire no es eficiente.

El establecimiento no cuenta con agua, cloaca, y tampoco servicio de energía eléctrica; el cual se provee a través de un sistema fotovoltaico autónomo.

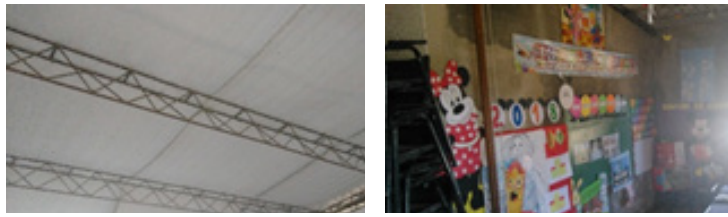


Figura 3. Fotografías del interior en Jardín de Infantes.
Fuente: tomadas por Secretaria Técnica de Estudios y Proyectos-Dirección General de Arquitectura.

3.4. Propuesta de rehabilitación energética edilicia

En la Figura 4, puede advertirse el detalle constructivo de muro y techo existente del CB. A su vez, se presenta el detalle constructivo del CM, con propuesta de ajuste de rehabilitación energética de la envolvente. A través de la misma designada como MM, quedaría constituido como MM´, desde el interior al exterior, formada por: revoque interior completo (0,025 m), muro de ladrillos cerámicos macizos (0,18 m), revoque exterior completo con hidrófugo (0,025 m), poliestireno expandido en planchas (0,07 m) y placas/paneles de hormigón con polímeros (0,02 m). De igual manera, la solución constructiva de la cubierta del CM, llamada TL, se denomina en adelante TL´ y se constituiría desde el interior al exterior: con poliestireno expandido en planchas (0,015 m), fieltro de lana de vidrio (0,018m),

espuma de polietileno (0,005 m) y chapa galvanizada (trapezoidal/ondulada). Cabe aclarar que esta propuesta incluye el sector de servicio de depósito-dormitorio y cocina-comedor.

Se plantea, también, la intervención en carpintería de madera existente, quitando celosías y para posibilitar sombreado, reemplazarlas por alero fijo superior en las 4 orientaciones con parasoles móviles regulables: de lamas horizontales hacia orientaciones norte y sur, y de lamas verticales hacia este y oeste. Además, se considera la incorporación de burletes para mayor hermeticidad, y la sustitución de vidrios comunes por los de tipo de seguridad, laminados con film de control de rayos UV. Así, los elementos no opacos optimizan las prestaciones de nivel de eficiencia energética.

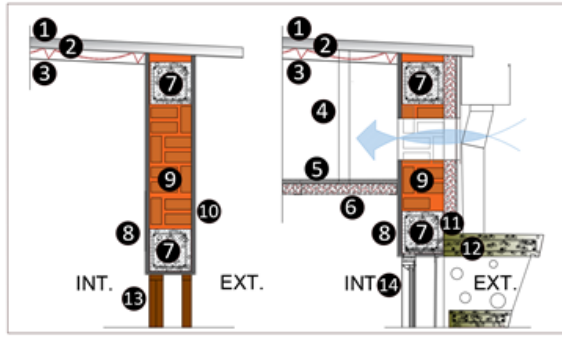


Figura 4. Gráfica de comparación de rehabilitación energética edilicia del caso base en relación al caso mejorado. Referencias: 1. Chapa galvanizada ondulada, 2. Espuma de polietileno 0,005 m, 3. Vigas de filigrana, 4. Cámara de aire ventilada (ático) con rejillas metálicas 0,2 x 0,2 m, 5. Fieltro de lana de vidrio 0,018 m, 6.Poliestireno expandido en plancha 0,0015 m, 7. Encadenado o viga dintel de Hormigón Armado (H° A°) de 0,20 x 0,20m, 8. Revoque interior completo 0,025 m, 9. Ladrillo común macizo 0,18 m, 10.Revoque exterior completo (con hidrófugo) 0,025 m, 11.Poliestireno expandido en planchas 0,07 m, 12.Placas / Paneles de Hormigón de polímeros, 13. Aberturas de madera con celosías y vidrio incoloro de 4 mm , 14. Aberturas de madera con aleros y parasoles solares, vidrio laminado 4+4 mm, y film de control rayos UV. Fuente: Elaboración propia.

3.5. Evaluación térmico-energética comparativa de caso base y mejorado

3.5.1. Simulación térmica edilicia

Se realizó un balance térmico dinámico, a través de la simulación del modelo edilicio escolar, por medio del Programa Simedif 2.0, con la carga de datos geométricos, constructivos y de condiciones climáticas del lugar. A tal fin, se delimitaron dos zonas isotérmicas que se encuentran diferenciadas por color (Figura 5). La Zona 4 (Z4) corresponde a Sala, mientras que la Zona 5 (Z5) involucra el dormitorio docente y la cocina.

A continuación, se presenta la evolución de temperaturas analizadas en diez días continuos, en período de ocupación regular: desde el 15/11 al 25/11, correspondiendo al equinoccio de primavera, con temperaturas elevadas semejantes a días típicos de verano. En esta gráfica puede observarse la curva de temperatura exterior (Te), con registros de valores diferentes en el transcurso de los días. Es evidente una subdivisión del período, después de los primeros cuatro días, por un marcado salto térmico. En la primera etapa de la simulación, la temperatura exterior promedio es de 20ºC de media, 34ºC de máxima, y 14ºC de mínima. Mientras que, en la segunda etapa, la temperatura promedio exterior es de 22° de media, 39ºC de máxima, y 17ºC de mínima, registrándose una considerable amplitud térmica exterior (ΔTe) entre el día y la noche, aproximadamente 17 °. Las temperaturas interiores (Ti) promedio simuladas en las distintas zonas fueron para la Z4: máx. de 31ºC, med. de 28° y mín. de 25ºC; y en Z5: una máx. de 32ºC, med. de 29° y mín. de 25ºC. Se observa correlación, entre los aumentos de Ti, en correspondencia con los de Te, al tratarse de las horas de mayor incidencia solar. La fluctuación térmica interior (ΔTi) promedio diario es de 3° en Z4 y entre 2 y 5° en Z5. Según Givoni, los parámetros recomendados para el

confort higrotérmico interior de verano son entre 20ºC y 27° (para Olgyay, hasta 28ºC inclusive). En el caso base, los valores sobrepasan los 5ºC a los valores recomendados.

Por lo observado, se infiere que la sensación de los usuarios excede el rango de confort, por lo cual, se presente en la misma gráfica en forma comparativa los resultados de la simulación térmica de la propuesta de rehabilitación energética de la envolvente, para mejorar las condiciones de bienestar, y analizar la disminución de las temperaturas interiores.

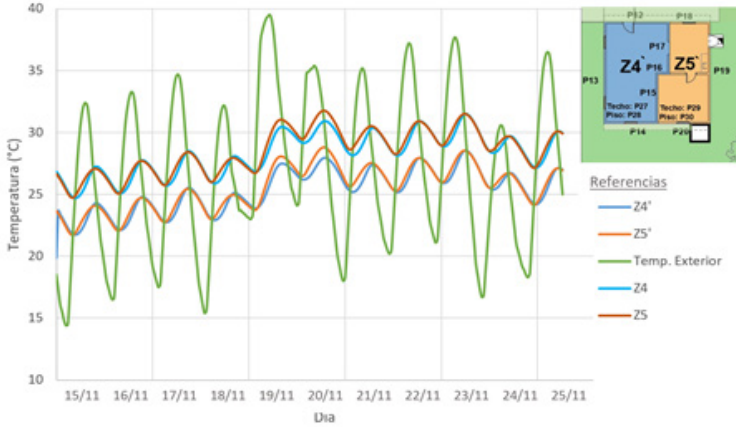


Figura 5. Gráfica de curvas de Te. y temperaturas interiores del caso base y mejorado, en relación a zonas térmicas. Fuente: Programa Simedif 2.0 y elaboración propia.

En la misma Figura 5, se toman las zonas 4 y 5 del caso base, y se modifican las características constructivas, para que el programa Simedif 2.0. pueda recrear las temperaturas interiores de áreas Z4` y Z5` del caso mejorado. Donde, estas últimas presentaron una disminución de 4 °C, producto de la rehabilitación energética de techos y muros. Con este logro, los valores de temperaturas interiores simulados ingresan al rango de confort recomendado de 20 a 28°C, en prácticamente todo el período de análisis.

3.5.2. Verificación de serie de Normas IRAM 11.600

A continuación, se presenta la evaluación térmico-energética, que permite verificar los valores de cálculos del caso base, en contraste con los admisibles de la serie de Norma IRAM 11.600. Para su elaboración, se utilizó el programa calculador TRAN-Q-E (Garzón y Mendonca, 2013). La Tabla 2, contiene valores de transmitancia térmica de cálculo (K_{CAL}) de ambos casos con procedimiento de cálculo de Norma 11.605, para condición de verano, por tratarse de la estación más desfavorable para la localidad en análisis. Estos resultados fueron comparados con los valores máximos admisibles ($K_{MAX\ ADM}$) de confort higrotérmico "A, A/B, B y C" actualizados por norma IRAM 11.900 (2019-modif 1)

CASOS	CASO BASE		CASO MEJORADO	
K_{CAL} ($W/m^2 K$)	MM	2,08	MM´	0,44
	TL	4,67	TL	0,38
$K_{MAX\ ADM}$ ($W/m^2 K$)	Nivel C-Mínimo Muros	1,80 NO Verifica	Nivel A-Recomendado	0,45 SI Verifica
	Nivel C- Mínimo Techo	0,72 NO Verifica	Nivel B- Medio	0,45 SI Verifica

Tabla 2. Cálculo y Verificación de Transmitancia Térmica en condiciona de verano, Normas IRAM serie 11.605 y Normas IRAM serie 11.900- modificación 1.
Nota: Fuente de elaboración propia del estudio.

CASOS	REFRIGERACIÓN		CALEFACCIÓN	
	BASE	MEJORA-DO	BASE	MEJORADO
Q (W)	48.645	12.046	45.600	16.100
G (W/m^3)	85,78	18,97	3,45	1,36
G_{ADM} (W/m^3)	18,92	18,92	1,389	1,389
IRAM 11.659	No Verif.	Si Verif.		
IRAM 11.654			No Verifica	Si Verifica

Tabla 3. Cálculo y Verificación de Ganancias-Pérdidas de Calor y Coeficientes Volumétricos de Calefacción y Refrigeración. Nota: Fuente de elaboración propia del estudio.

Los valores de KCAL del caso base fueron para techos y muros, de 4,67 y 2,08 W/m^2K, respectivamente. Por lo cual, estos no verifican el nivel C mínimo de confort higrotérmico. En cambio, se encuentra que en el caso de la versión mejorada los valores se reducen a 0,38 W/m^2K en techos y a 0,44 W/m^2K en muros. Con ello, estos nuevos valores se verifican con respecto a valores de las normas de referencia, dentro de los niveles de confort higrotérmico A y B (recomendado para muros y medio para techo), estableciendo un avance importante. Seguidamente, se calculan ganancias y pérdidas térmicas según la situación de verano o invierno tanto para el caso base como para el mejorado. En Tabla 3 se detalla la síntesis del mismo, donde el caso base presenta un QR de 48.645 W y el caso mejorado 12.046 W, es decir, se reduce la carga térmica por refrigeración en un 25 %. En cuanto a la estación de invierno, las pérdidas de calor se registran con un valor de 45.600 W para el edificio existente y de 16.100 W para el rehabilitado, lo que significa una disminución del 45,30 %. En cuanto al Gcal CB del caso base, es de 3,45 W/m^3, por lo

tanto, no verifica según el valor admisible Gadm de 2,713 W/m^3; en cambio, en la propuesta de mejoras el Gcal CM es de 1,36 W/m^3, lo cual se sitúa por debajo del coeficiente admisible.

3.5.3 Verificación de Norma IRAM 11.900

3.5.3.1. Estrategias pasivas de diseño arquitectónico EPDA

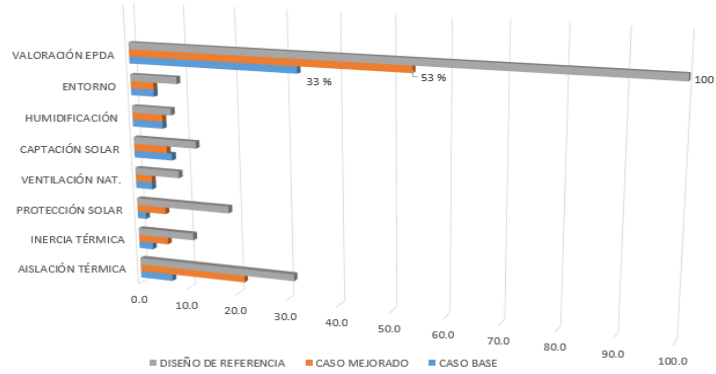


Figura 6. Cálculo y valoración de las Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico, en función de los RAC. Nota: Fuente de elaboración propia del estudio

3.5.3.2 Etiquetado de Eficiencia Energética

El índice de Prestaciones Energéticas (IPE) es un valor característico de la vivienda que representa el requerimiento de energía primaria que tendría la normal utilización de la misma, en el transcurso de un año y por unidad de superficie, metro cuadrado, para satisfacer las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano, producción de agua caliente sanitaria e iluminación. Dicho valor determina la "Clase de Eficiencia Energética" (escala de letras desde la "A" hasta la "G"), la cual define la Etiqueta de Eficiencia Energética (Fernández et al., 2021).

En la Figura 7, se sintetizan los resultados del balance energético cuasi-estacionario, realizado con el soporte del aplicativo en su versión 2.1.0, del etiquetado de eficiencia energética de viviendas (PRONEV, 2023). Teniendo en cuenta que el Caso Base (1.0) mide un IPE de 603 kWh/m²año de energía primaria, lo que representa la categoría nivel "G-de menor eficiencia" de la etiqueta de Eficiencia Energética (EE). Se evalúa a continuación, en diferentes etapas, el planteo de caso mejorado, con la rehabilitación energética de la envolvente y el aprovechamiento de energías renovables.



Figura 7. Gráfica de comparación de Caso Base 1.0, Caso Mejorado 1.1, Caso Mejorado 1.2, y Caso Mejorado 1.3, con sus valores de IPE. Fuente: Elaboración propia.

La primera se denominaba Caso Mejorado 1.1, donde se interviene incorporando aislación y masa térmica en muros en su parte exterior, y en cubierta de techo y solado en su parte interior. De esta manera, se logra reducir el valor del IPE hasta 158 kWh/m²año, correspondiente al nivel "E- medio" de EE y representando una reducción del 26 %. Luego, en el CM 1.2, se propone la incorporación de paneles fotovoltaicos con 0,72

kW de potencia total y de inclinación de 30ºC en dirección norte, para la máxima captación solar, permitiendo así la disminución del IPE a 99 kWh/m2año, lo que significa un nivel "C"- de adecuada EE y una reducción con respecto al IPE anterior del 83%. Finalmente, en la CM 1.3, se le añade un colector solar de placa plana, para el calentamiento de agua solar, logrando así mejorar el valor de IPE a 28 kWh/m2año, correspondiente al nivel "B" - óptimo de eficiencia energética. Se observa que, al incorporar variantes en forma progresiva, se logran mejorar un 95 % la situación del CM 1.3 con respecto al CB 1.0, lo cual representa un importante ahorro energético (Puig et. al, 2021).

En cuanto al requerimiento específico de energía, se aprecia en Figura 8, que para el caso base, el mayor requerimiento energético anual sería destinado al acondicionamiento térmico de los ambientes (524 KWh/m2 año), siendo el consumo energético para calefacción el mayor de los ítems con 315 KWh/m^2 año. Para el CM 1.1, la energía primaria destinada a la climatización de espacios se reduce considerablemente, a unos 79 KWh/m^2 al año, siendo 85 % menor al CB. Se observa además que, mientras en el CB, el mayor requerimiento energético se considera para calefacción, tras la rehabilitación de la envolvente esta incidencia se invierte, primando el requerimiento para refrigeración.

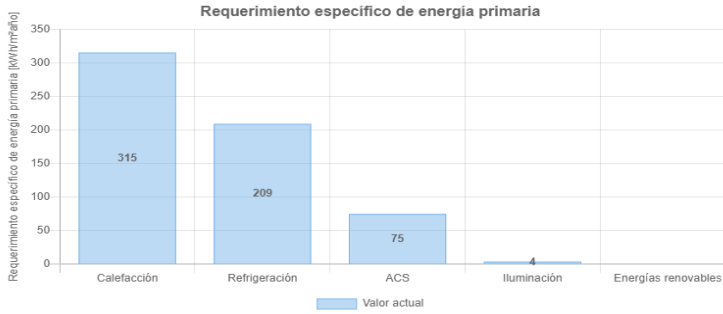


Figura 8. Gráfica de comparación de valores de IPE de Caso Base 1.0 (celeste) y Caso Mejorado 1.3 (azul) Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

Las variables analizadas para los casos de estudio y mejorado, y los resultados alcanzados, son los esperados, según la medición realizada en los tres modelos de balance térmico, de procedimientos distintos: 1) estacionario, 2) semi-estacionario y 3) dinámico. La principal diferencia entre los métodos mencionados es el intervalo de tiempo considerado en cada uno: el primero, de serie de normas IRAM 11.600, utiliza datos de temperatura media anuales históricos y se calcula a través de la herramienta MS Excel; el segundo, en cambio, a través del aplicativo nacional de etiquetado, se basa en la norma IRAM 11.900, y trabaja con datos medios mensuales actualizados por el Servicio Meteorológico Nacional; por último, el tercero, resuelto en programa de simulación energética, toma intervalos de datos medios horarios y diarios. También discrepan de estas metodologías, la gestión de las instalaciones del edificio, y la diversidad de cada uno de ellos para calcular el flujo de calor. El estacionario supone soluciones simplificadas, en las que se pierde mucha información, mientras que los cálculos dinámicos implican soluciones complejas de implementar, de las cuales se puede obtener información muy precisa; la aplicación de un modelo u otro debe ser acorde al resultado que se busque obtener las ventajas y desventajas de cada cual (Ortega et. al, 2021). Por ello, interesa aquí integrar los resultados obtenidos para una adecuada valoración.

En el modelo dinámico de balance térmico simulado para época estival, se observa el desarrollo de las temperaturas exteriores y en consecuencia las interiores, mediadas por la envolvente, donde en el caso mejorado -a diferencia de la base-, las mismas resultan dentro del rango de confort recomendado, debido a que las temperaturas medias interiores bajan hasta 4ºC C. Por su parte, en el modelo en régimen estacionario, acorde al anterior para el caso base, el nivel transmitancia tér-

mica K (W/m^2K) calculado es inferior al mínimo-C establecido por normas para el confort higrotérmico, y de igual modo, no se verifican en relación a los valores admisibles, los coeficientes volumétricos de ganancia de calor Q (W) para el ahorro en refrigeración de verano, y de pérdida de calor G (W/m^3), para el ahorro en calefacción en invierno. En contraste, en el caso mejorado dichos valores fueron ajustados, logrando un óptimo nivel de confort higrotérmico ("A-recomendado" en muros y "B-medio" para techo). En síntesis, en los balances térmicos en régimen estacionario y dinámico, se permite determinar si un edificio cumple con los "estándares mínimos de calidad constructiva" (PNV,2019), como es el caso de la propuesta de rehabilitación de la envolvente del jardín de infantes.

Finalmente, en el balance térmico de régimen semi-estacionario, evaluado a través de aplicativo de etiquetado nacional, se visualiza un mal comportamiento energético del caso base, con la clasificación del mínimo nivel de eficiencia "G". Ahora, si bien el valor de IPE (kWh/m^2 año) denominado Índice de Prestaciones Energéticas expresa el requerimiento teórico de energía primaria, para satisfacer las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua sanitaria e iluminación, durante un año y por metro cuadrado de superficie, bajo condiciones normalizadas de uso; este resultado es consecuencia de la falta de elección de buenos materiales y terminaciones, para materializar la obra en estudio. En tal sentido, con la alternativa de caso mejorado en el software del etiquetado, se ponderan en mayor medida los recursos y estrategias pasivas aplicados a adecuar la calidad de la envolvente. Esto incide de manera efectiva, ya que se logra escalar dos niveles, desde la categoría "G" hasta la "E", y a valores de IPE muy próximos (solo 3 puntos) del nivel "D-intermedio-amarillo" de eficiencia energética. Con lo cual, nuevamente se presenta una situación análoga a la de los modelos de balance térmico anteriores; el ahorro energético es el más importante en términos de kWh/m2 año, y representa un 70% del total.

En consonancia con lo analizado hasta aquí, la incorporación de sistemas activos en la etiqueta solo representa un 30% de la incidencia en el ahorro de energía. Sin embargo, se presume como desventaja de esta herramienta de balance térmico en régimen cuasi estacionario, que las variantes aplicadas al caso mejorado con la incorporación de acondicionamiento activo en climatización, iluminación y de energía solar térmica y fotovoltaica son las vías más accesibles o directas tomadas por los diseñadores proyectistas-constructores, para arribar a las clases verdes "A, B o C", de máximo nivel de eficiencia energética.

5. Conclusiones

El aporte de la presente investigación es visibilizar las ventajas derivadas de la rehabilitación en la envolvente de un edificio educativo estatal de nivel inicial, implantado en zona de población rural dispersa, del sur de la provincia de Santiago de Estero. La readecuación que se plantea implica la incorporación de masa y aislación térmica en muros y techo, que, junto a otros recursos como las protecciones solares sobre vidrios de carpinterías, permiten resolver estrategias pasivas de acondicionamiento bioambientales y posibilitan, desde el punto de vista térmico, la mejora del confort interior de sus usuarios. Al mismo tiempo, este tipo de intervenciones desde la línea energética, contribuye a la eficiencia, al ahorro de recursos económicos y primarios no renovables, potenciados en combinación del aprovechamiento de recursos renovables, a través de la integración de sistemas solar térmico y fotovoltaico, para el calentamiento del agua y la generación de energía eléctrica.

La solución constructiva alternativa ha resultado positiva de la evaluación con diferentes herramientas, específicas y apropiadas a cada balance térmico efectuado, en régimen: dinámico, semi-estacionario, y estacionario. Con estas, se

ha validado la propuesta, ya que los valores de cálculo son menores a los admisibles, verificando la norma 11.900 y la serie 11.600 de IRAM. Por lo tanto, se considera necesario e importante la incorporación de estas herramientas de medición por parte de los organismos estales, responsables del diseño y la construcción de edificios educativos, para la mejora de obras educativas existentes y proyectos, con el cumplimiento de estándares mínimos de calidad. Se contribuye así al propósito de optimizar las condiciones de salubridad y habitabilidad de estudiantes y docentes de nuestra provincia, y sobre todo del interior, favoreciendo de este modo a un desarrollo humano sustentable y a la mejora de la calidad de vida de una comunidad educativa rural de población dispersa[4].

4 El presente trabajo se realizó en el marco del Acta Acuerdo Especifica, celebrada entre los proyectos de investigación: "Expectativas en horizontes posibles de desarrollo humano a partir de energías no convencionales en aéreas rurales con población dispersa de la provincia de Santiago del Estero" (PI-UNSE 23/C168- Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas- Universidad Nacional de Santiago del Estero, Dirección: Mg. Ing. Alejandro Ferreiro) y "Hábitat Sustentable y Saludable en el Norte Grande Argentino" (PI-UNT B608- Facultad de Arquitectura y Urbanismo- Universidad Nacional de Tucumán, Dirección: Dra. Arq. Beatriz Garzón). Se extiende el agradecimiento a la secretaria técnica de Estudios y Proyectos, de la Dirección General de Arquitectura, de la provincia de Santiago del Estero, por brindar información gráfica, para elaborar el relevamiento arquitectónico y constructivo del caso en estudio. Del mismo modo, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ya que las investigadoras Dra. Arq. Beatriz Garzón y la Dra. Arq. Gabriela Giuliano, de Carrera de Investigador Científico (CIC-CONICET), y son responsables e integrantes a su vez, del equipo en los "Grupos Hábitat Sustentable y Sustentable" (GHabSS), pertenecientes a la FAU-UNT y la FCEyT-UNSE respectivamente.

Referencias

Fernández A., El Singer D., Garzón B. (2021). *Potencialidad del etiquetado de viviendas para el análisis del ahorro Energético: dos soluciones constructivas en un caso de estudio avances en energías renovables y medio ambiente* Vol. 25, pp. 327-334, 2021 ISSN 2796-8111. ASADES 2021

Fernández A., El Singer D., Garzón B. (2020). *Incidencia de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico en la etiqueta de eficiencia energética en Argentina Revista Hábitat Sustentable* Vol. 10, N°. 1. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 56 -67. DOI: https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.05

Fernández F., Ferreiro A., Juárez C. Cadena C., Moyano L. (2022). *Energía híbrida para la provincia de Santiago del Estero (Arg.) en el marco de los ODS 2030.* Rev. Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información Vol. 9 / Núm. 17 / enero - junio de 2022; 31-44. DOI: http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2022.v9.n17.a109

Flores Larsen S. (2019). Simedif 2.0. *Programa calculador térmico de edificios.* Versión junio 2019. INENCO-CONICET.

Garzón, B.; Mendonca C. (2013). *TRANS-Q-E: Programa calculador de transmitancia, cargas térmicas de calefacción y refrigeración y consumos energéticos, según Normas IRAM* 11601:2002.

Givoni B, A. (1963) *Man, Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series.* Editor Henry J. Cowan; Professor of Architectural Science; University of Sydney. 444-20039-8. Library of Congress Catalog Card 69-15822.

Giuliano, G.; Saganias, J.; Thomaschewsky, L; Garzón, Beatriz.; Ferreiro A. (2023) *Rehabilitación energética de escuela rural en Santiago del Estero-Argentina: Evaluación del confort higrotérmico.* Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información de la Corporación Universitaria Republicana. Edición Nª 19, volumen 10. ISSN impreso 2339-3270 e ISSN electrónico 2357-3716. http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria (aprobado para publicación- en prensa).

Programa Nacional de E*tiquetado de Viviendas (2023) Aplicativo Informático de Etiquetado de Eficiencia Energética de Viviendas versión 2.1.0.* https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/

Instituto Nacional de Estadística y Censos –INDEC- (2023) *Censo nacional de población, hogares y viviendas 2022: resultados provisionales* / 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos -. Libro digital, PDF) Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-950-896-633-9 IRAM NºC 11.601 (2004) Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM NºC 11603 (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.*

IRAM NºC 11604 (2004). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites.* Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM NºC 11605 (2002). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente.* Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM NºC 11659-1-2 (2007). *Aislamiento térmico de edificios. Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración.* Parte 1 y Parte 2: Edificios para viviendas.

IRAM 11.900 (2017). *Prestaciones energéticas de viviendas. Métodos de cálculos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.*

IRAM 11.900 (2019) *modificación NºC1 a la Norma IRAM 11900:2017-12. Prestaciones energéticas de viviendas. Métodos de cálculos.* Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Kuchen, E, y Kozak, D. (2020) *Transición energética argentina. El nuevo estándar de eficiencia energética en la evaluación de la vivienda social. Caso de estudio: vivienda de barrio Papa Francisco.* Hábitat sustentable, 10(1), 44.55.

NASA- National Aeronautics and Space Administration. (2023) *Consulta de datos meteorológicos.* https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/.

ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. In Asamblea General de Naciones Unidas. https://doi.org/10.18268/bsgm1908v4n1x1

ONU. (2023). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.* https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/

Olgyay V. (1969) *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.* Reeditado en Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, España, 1998. ISBN: 84-252-1488-2.

Ortega, M., Giuliano, G., & Garzón, B. (2021). *Modelos de balance térmico para la evaluación de una vivienda social de adobe*. PENSUM, 7(7), 100–117. DOI: https://doi.org/10.59047/2469.0724.v7.n7.33943

Pérez- Lombard, L., Ortiz, J.R., González, R. y Maes, I.R. (2009). *A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes.* Energy build, 41, 272-278.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2019) Informe sobre Desarrollo Humano 2019.

Puig S., Alberini R., Eggel A. (2021) *Viviendas sociales de la Ciudad de Santa Fe. Cómo mejorar su Etiqueta de Eficiencia Energética. Caso de estudio: Vivienda Universal.* Arquitecno 18, 115-123, ISSN 0328-0896, E- ISSN 2683-9881, DOI: http://dx.doi.org/10.30972/arq.0185675.

Reus-Netto, G., Mercader-Moyano, P., y Czajkowski, J.D. (2019). *Methodological approach for the Development of a Simplied Residential Building Energy Estimation in Temperate Climate.* Sustainability, 11 (15), 4040.

Rivero Camacho, C., Pereira, J., Gomes, M. G., y Marrero, M.

(2018). *Huella de carbono como instrumento de decisión en la rehabilitación energética. Películas de control solar frente a la sustitución de ventanas.* Revista hábitat sustentable, 8(2), 20-31. DOI: https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.02

Saganias, J.; Giuliano, G.; Fernández, F.; Garzón, Beatriz.; Ferreiro A. (2022) *"Escuela Rural en Mitre- Santiago del Estero con Integración Arquitectónica de Sistema de Energía Híbrido".* Jornada de Ciencia y Tecnología - Facultad Regional San Francisco UTN. Libro digital, PDF ISBN 978-950-42-0217-2 – P. 399-405 DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.1145.2022

Secretaría de Vivienda de la Nación. (2019). *Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social* (pp. 1–154). if-2019-72275570-apn-dnasyfmi

Venhaus-Held, M., Alias, H-M- y Jacobo, G.J. (2017). *Las envolventes constructivas en la construcción no convencional de edificios del nordeste argentino y el problema de los puentes térmicos.* Hábitat Sustentable, 7(31), 24-31.

ISBN 978-987-4456-47-2