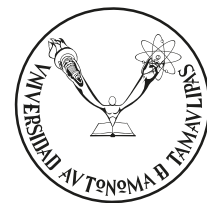


Órgano de Difusión de Investigación
Científica, Tecnológica y Humanística

CienciaUAT



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD

Registro ISSN 2007-7521

VOLUMEN 18

NÚMERO 2 ENE-JUN
2024

Edición especial

“Latin Food 2022”:

Normas sociales,
publicidad y consumo

alimentario en escolares ▶ 75

107 ◀ Uso potencial de *Aloe vera*:
en el tratamiento de Alzheimer

EDITOR INVITADO

Dr. Gilber Vela Gutiérrez (SNI I)
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), México
E-mail: gilber.vela@unicach.mx

EDITORES DE INGLÉS

Dr. Alberto Mora Vázquez (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

Dra. Nelly Paulina Trejo Guzmán
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

Comité editorial invitado en la edición especial
“Biotecnología y Seguridad Alimentaria (Latin Food2022)”

Dr. Armando Robledo Olivo (SNI I)
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México

Dra. Celeste C. Ibarra Herrera (SNI I)
Tecnológico de Monterrey, México

Dr. Victor Daniel Boone Villa (SNI I)
Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC), México

Latin Food, congreso internacional organizado por
la Asociación Mexicana de Ciencias de la Alimentación,
se realizó del 16 al 18 de noviembre de 2022 en la ciudad de Puebla, México.

Directorio

MVZ MC Dámaso Leonardo Anaya Alvarado

Rector

**Universidad Autónoma de
Tamaulipas**

Dr. Eduardo Arvizu Sánchez

Secretario General

Dr. Fernando Leal Rios

Secretario de Investigación y Posgrado

Dra. Rosa Issel Acosta González

Secretaria Académica

Dr. Arturo Mora Olivo

**Secretario Técnico del Consejo de
Publicaciones UAT**

CienciaUAT. Año: 2024, Volumen: 18, Número: 2, enero-junio. Publicación multidisciplinaria semestral editada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, a través del Consejo de publicaciones de la Secretaría de Investigación y Posgrado, Matamoros S/N, Zona Centro, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87000; Tels. (834) 3181800 y 3181700, ext. 2905. Página web: <https://revistaciencia.uat.edu.mx> y correo electrónico: cienciauat@uat.edu.mx. Editor responsable: Dr. José Alberto Ramírez de León. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2016-053110082800-203, ISSN impreso: 2007-7521, ISSN electrónico: 2007-7858; ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dr. José Alberto Ramírez de León. Fecha de la última modificación: 31 de enero de 2024.

Se permite la reproducción del contenido para actividades no comerciales dando los créditos correspondientes a la revista CienciaUAT. Los artículos e investigaciones son responsabilidad de los autores.

Prólogo

Estimados lectores:

Es un placer hacer llegar a ustedes el nuevo número de CienciaUAT, con la edición especial de trabajos presentados en el 10° Congreso de Ciencia, Biotecnología y Seguridad de los Alimentos (Latin Food 2022), organizado por la Asociación Mexicana de Ciencia de los Alimentos, A. C. en el mes de noviembre de 2022. Se publican también otros trabajos en los diferentes campos del saber.

En el área de Biología y Química se presenta un estudio sobre la importancia de las auxinas y su transporte a través del sistema simplástico en el desarrollo de las plantas.

En el área de Humanidades y Ciencias de la Conducta los colaboradores muestran cuáles son los factores más importantes que determinan el liderazgo docente.

En el área de Ciencias Sociales se desarrolla una escala validada para evaluar la intención de los usuarios para acceder al comercio móvil a través del celular y otras TIC. También se explica sobre la importancia que les dan los agricultores a las redes de colaboración para desarrollar su orientación emprendedora, apoyados con los pilares institucionales con que cuentan. Además, se determina la influencia contrastante que tienen las normas sociales y la publicidad para modular el consumo alimentario de los niños en edad escolar, analizadas mediante un modelo de lógica difusa.

En el área de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias se evalúa el efecto favorable que tiene el empleo de ultrasonido en la extracción de compuestos bioactivos contenidos en las hojas; el uso potencial del *Aloe vera* como agente terapéutico para el tratamiento del Alzheimer a través del análisis *in silico*; la adición de harinas no convencionales y la reducción de cloruro de sodio, sobre las propiedades funcionales de reestructurado macabil; y las ventajas de someter el maíz a fermentar en medio sólido para incrementar el contenido de fenoles totales y su capacidad antioxidante. También se muestra que es posible aumentar la viabilidad de las bacterias ácido lácticas, consideradas como probióticos, mediante el secado por aspersión si previamente son encapsuladas en almidón de malanga, para resistir las altas temperaturas que se requieren en dicho proceso. Finalmente, se señala la importancia que tiene la microbiota intestinal en la fisiología de los pollos de engorda y las gallinas de postura, y su impacto benéfico en el rendimiento comercial de estos animales de abasto.

En el área de Ingenierías se estudia una técnica de análisis de asfaltenos derivados del petróleo utilizando espectrofotometría de UV-vis, aplicando derivadas a los resultados y suavizado de las curvas mediante filtros Savitzky-Golay y transformada rápida de Fourier.

Esperamos sean de su interés algunos de los temas de esta edición.

Verdad, Belleza, Probidad

MVZ MC Dámaso Leonardo Anaya Alvarado

Rector

Universidad Autónoma de Tamaulipas

EDITOR RESPONSABLE

Dr. José Alberto Ramírez de León (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas
 E-mail: ramirez@uat.edu.mx

EDITORES DE INGLÉS

Dr. Alberto Mora Vázquez (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

Dra. Nelly Paulina Trejo Guzmán (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

FÍSICA, MATEMÁTICAS
Y CIENCIAS DE LA TIERRA

Dra. Evelia Reséndiz Balderas (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Héctor Vázquez Leal (SNI III)
Universidad Veracruzana, México
 Dr. José Alberto Batista Rodríguez (SNI I)
Universidad Autónoma de Coahuila, México



BIOLOGÍA Y QUÍMICA

Dr. Arturo Mora Olivo (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo (SNI II)
Universidad Autónoma de Chapingo, México
 Dra. Elisa Serviere Zaragoza (SNI II)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., México
 Dr. Enrique Jurado Ybarra (SNI III)
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
 Dr. Enrique Richard
Universidad San Gregorio de Portoviejo, Calceta, Manabí, Ecuador
 Dr. Enrique Ruiz Cancino (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Gildardo Rivera Sánchez (SNI III)
Instituto Politécnico Nacional, México
 Dr. Javier Jiménez Pérez (SNI I)
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
 Dra. Juana María Coronado Blanco (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez (SNI II)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., México
 Dr. Manuel León Camacho
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España
 Dr. Víctor López Martínez (SNI II)
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México
 Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga (SNI II)
Instituto Tecnológico de Veracruz, México

MEDICINA Y CIENCIAS DE LA
SALUD

Dr. Aldo Fidel Izaguirre Hernández
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Amaury de Jesús Pozos Guillén (SNI III)
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
 Dr. Carlos Javier Pineda Villaseñor (SNI III)
Instituto Nacional de Rehabilitación, México
 Dr. Francisco Vázquez Nava (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Guillermo Manuel Ceballos Reyes (SNI III)
Instituto Politécnico Nacional, México
 Dr. Juan Miguel Jiménez Andrade (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Montserrat Bacardi Gascón (SNI III)
Universidad Autónoma de Baja California, México
 Dra. Octelina Castillo Ruiz (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Sandro Fernandes Da Silva
Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Dr. Virgilio Bocanegra García (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional, México

HUMANIDADES Y
CIENCIAS DE LA CONDUCTA

Dr. Fernando Flores Camacho (SNI II)
Universidad Nacional Autónoma de México, México
 Dr. José Luis Ybarra Sagarduy (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Marcela Alejandra Tiburcio Sainz (SNI II)
Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz, México
 Dra. María Guadalupe Moreno Bayardo (SNI II)
Universidad de Guadalajara, México
 Dra. María Elena Rivera Heredia (SNI I)
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México
 Dra. María Elena Teresa Medina-Mora Icaza (SNI III)
Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz, México
 Dr. Octavio Herrera Pérez (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Rubén Salvador Roux Gutiérrez (SNI I)
Universidad Autónoma de Coahuila, México



CIENCIAS SOCIALES

Dr. Aidé Aracely Maldonado Macías (SNI II)
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México
 Dr. Antonio Hidalgo Nuchera
Universidad Politécnica de Madrid, España
 Dr. Arturo Zárate Ruiz
El Colegio de la Frontera Norte, México
 Dra. Cirila Quintero Ramirez (SNI III)
Colegio de la Frontera Norte de Tamaulipas, México
 Dr. Ernesto Aguayo Téllez (SNI II)
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
 Dr. Francisco García Fernández (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Guadalupe Correa Cabrera
George Mason University, Estados Unidos
 Dra. Guillermina Natera Rey (SNI III)
Secretaría de Salud, México
 Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú (SNI II)
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
 Dr. José Antonio Aparisi Caudeli
Universidad de Valencia, España
 Dr. Juan Alfredo Tuesta Panduro
Universidad Privada del Norte, Perú
 Dra. Julieta María Ana Quilodrán Salgado (SNI II)
El Colegio de México, México
 Dra. Karla Lorena Andrade Rubio (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Lucila Hinojosa Córdova (SNI II)
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
 Dra. María Isabel de la Garza Ramos (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Miguel Díaz Barriga
University of Texas Rio Grande Valley, Estados Unidos
 Dra. Mónica Lorena Sánchez Limón (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Mónica Regina De Arteché
Universidad de San Andrés, Argentina
 Dr. Oscar Misael Hernández Hernández (SNI II)
Colegio de la Frontera Norte de Tamaulipas, México
 Dr. Rodolfo Casillas Ramírez
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México
 Dr. Simón Pedro Izcara Palacios (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Karla Villarreal Sotelo (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

BIOTECNOLOGÍA Y
CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dr. Alejandro Espinosa Calderón (SNI III)
Tecnológico Nacional de México, México
 Dra. Ana Belén Moldes Menduina
Universidad de Vigo, España
 Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa (SNI II)
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México
 Dra. Elizabeth Carvajal Millán (SNI III)
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC, México
 Dr. Enrique Márquez Ríos (SNI III)
Universidad de Sonora, México
 Dra. Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivas (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Francisco Guevara Hernández (SNI II)
Universidad Autónoma de Chiapas, México
 Dr. Francisco Infante Martínez (SNI II)
El Colegio de la Frontera Sur, México
 Dr. Gonzalo Velazquez de la Cruz (SNI III)
Instituto Politécnico Nacional, México
 Dr. Iván Moreno Andrade (SNI II)
Universidad Nacional Autónoma de México, México
 Dr. Jaime Salinas Chavira (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Jesús Genaro Sánchez Martínez (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. José Alberto Gallegos Infante (SNI III)
Instituto Tecnológico de Durango, México
 Dr. José Manuel Cruz Freire
Universidad de Vigo, España
 Dr. Juan Arturo Ragazzo Sánchez (SNI III)
Instituto Tecnológico de Tepic, México
 Dr. Juan Carlos Martínez González (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Juan L. Silva
Mississippi State University, Estados Unidos
 Dr. Julio Martínez Burnes (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Luis Angel Rodríguez del Bosque (SNI III)
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México
 Dr. Manuel Vázquez Vázquez
Universidad de Santiago de Compostela, España
 Dra. María Jesús Alcalde Aldea
Universidad de Sevilla, España
 Dra. Montserrat Calderón Santoyo (SNI II)
Instituto Tecnológico de Tepic, México
 Dr. Netzahualcoyotl Mayek Pérez (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Rocio Margarita Uresti Marin (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Roberto Pérez Castañeda (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dra. Rosa María Oliart Ros (SNI III)
Instituto Tecnológico de Veracruz, México
 Ph. D. Rubén Francisco González Laredo (SNI III)
Tecnológico Nacional de México, México



INGENIERÍAS

Dr. Eduardo Morales Sánchez (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional, México
 Dr. Daniel Alberto May Arrijoja (SNI III)
Centro de Investigaciones en Óptica, México
 Dr. Marco Antonio Panduro Mendoza (SNI II)
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México
 Dr. Ramón Ventura Roque Hernández (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
 Dr. Rodolfo Abraham Pazos Rangel (SNI II)
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México
 Dr. Rumen Ivanov Tsonchev (SNI II)
Universidad Autónoma de Zacatecas, México

ÍNDICE / TABLE OF CONTENTS

VOL. 18 No. 2: ENERO-JUNIO 2024

CienciaUAT

BIOLOGÍA Y QUÍMICA

- 06** Participación del transporte simplástico de las auxinas durante el desarrollo de las plantas
Symplastic transport participation of auxins during plant development
Elizabeth Carrillo-Flores
Asdrúbal Aguilera-Méndez
Ma. Elena Mellado-Rojas
Elda Beltrán-Peña

HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA CONDUCTA

- 19** Factores asociados al liderazgo docente
Factors associated to teacher leadership
Leydi Gabriela Achach-Sonda
Edith Juliana Cisneros-Cohernour

CIENCIAS SOCIALES

- 43** Desarrollo de una escala de intención de uso del comercio móvil y su validación mediante análisis compuesto confirmatorio
Development of a scale of intention to use mobile commerce and its validation through confirmatory composite analysis
Marina Isabel Sánchez-Sánchez
Virginia Guadalupe López-Torres
- 58** Pilares institucionales y orientación emprendedora en agricultores del estado de Aguascalientes: el rol mediador de las redes de colaboración
Institutional pillars and entrepreneurial orientation in farmers in the state of Aguascalientes: the mediating role of collaboration networks
Nefthali Parga-Montoya
Héctor Cuevas-Vargas
- 75** Normas sociales, publicidad y consumo alimentario en escolares: modelado mediante lógica difusa tipo 2
Social norms, advertising and food consumption in schoolchildren: modeling using fuzzy logic
Bárbara de los Ángeles Pérez-Pedraza
Gerardo Daniel Olvera-Romero
Karla Patricia Valdés-García
Rolando Javier Praga-Alejo

BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

- 91** Efecto de tres métodos de extracción en el rendimiento, actividad antioxidante, fenoles totales y estabilidad de extractos de hojas de *Plectranthus amboinicus*
Effect of three extraction methods on yield, antioxidant activity, total phenols, and stability of extracts from extracts from *Plectranthus amboinicus* leaves
Sheila Briget Malpica-Acosta
Andrés Antonio Acosta-Osorio
José Javier Benedito-Fort
Rosa Isela Castillo-Zamudio

Portada elaborada a partir de imágenes de Canva educativo

- 107** *Aloe vera*: capacidad antioxidante y uso potencial como agente terapéutico en el tratamiento del Alzheimer mediante evaluación *in silico*

Aloe vera: antioxidant capacity and potential use as therapeutic agent in the treatment of Alzheimer's through *in silico* evaluation

Arturo Alberto Velázquez-López
Vanessa García-Rojas
Antonio Tornero-Martínez
Rosalba Mora-Escobedo

- 122** Efecto de la adición de harinas no convencionales y reducción del contenido de sodio en productos reestructurados de macabíl (*Albula vulpes*)

Effect of the addition of unconventional flours and low salt content on restructured bonefish (*Albula vulpes*) product

Gabriela Nallely Trejo-Díaz
Eduardo Morales-Sánchez
Miguel Ángel Martínez-Maldonado

- 136** Efecto de la fermentación en medio sólido sobre el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante del maíz

Effect of solid medium fermentation on total phenol content and antioxidant capacity of maize

Ulises Ramírez-Esparza
Emilio Ochoa-Reyes
Ramiro Baeza-Jiménez
José Juan Buenrostro-Figueroa

- 145** Viabilidad de bacterias ácido lácticas microencapsuladas mediante secado por aspersión con almidón de malanga en dos suplementos alimenticios

Viability of lactic acid bacteria microencapsulated by spray drying with malanga starch in two dietary supplements

Ana Cecilia Díaz-López
Virginia Villa-Cruz
Gilber Vela-Gutiérrez

- 155** La importancia de la microbiota intestinal en la fisiología y rendimiento de pollos de engorda y gallinas de postura

The importance of intestinal microbiota on the physiology and performance of broiler chickens and laying hens

Jesús Emiliano Alvarado-López
Elein Hernández

INGENIERÍAS

- 170** Aplicación de filtros Savitzky-Golay y transformada rápida de Fourier en el procesamiento de espectros derivados obtenidos a partir de soluciones de asfaltenosa

Application of Savitzky-Golay and Fast Fourier Transform filters in the processing of derivative spectra obtained from asphaltene solutions

Sergio Iván Padrón-Ortega
Ernestina Elizabeth Banda-Cruz
Nohra Violeta Gallardo-Rivas



Imagen tomada de: Canva educativo

Participación del transporte simplástico de las auxinas durante el desarrollo de las plantas

Symplastic transport participation of auxins during plant development

Elizabeth Carrillo-Flores, Asdrúbal Aguilera-Méndez, Ma. Elena Mellado-Rojas, Elda Beltrán-Peña*

RESUMEN

La apropiada organogénesis de las plantas, durante su ciclo de vida, propicia su desarrollo y la adaptación a diferentes condiciones ambientales. Diversas fitohormonas regulan el desarrollo vegetal, pero la auxina denominada ácido indol-3-acético (AIA) es una de las más importantes. El AIA se sintetiza en la parte aérea de la planta y se moviliza a los tejidos demandantes por un transporte rápido que utiliza el floema y por el transporte polar de auxinas (TPA). Recientemente, se ha demostrado que las auxinas también se movilizan mediante el transporte simplástico (TS) a través de los plasmodesmos (PD), cuya apertura o cierre está regulada respectivamente por la degradación o la deposición de la callosa. El objetivo del presente trabajo fue profundizar en los avances sobre la participación del transporte simplástico de las auxinas durante el desarrollo vegetal, así como la degradación o deposición de la callosa, en el cierre o apertura de los PD, para regular el desarrollo de algunos órganos de *Arabidopsis thaliana*. La intervención de las proteínas PDLP5 es determinante para la deposición de la callosa en los PD, lo que regula la distribución de la auxina e impacta en la formación radicular, especialmente en las raíces laterales. La participación del TS es importante para desarrollar la actividad de las auxinas, lo cual favorece la formación radicular, necesaria en la mejora de absorción de nutrientes de las plantas. Este conocimiento puede ser utilizado para mejorar las plantas de interés agronómico.

PALABRAS CLAVE: auxinas, callosa, desarrollo vegetal, plasmodesmos, transporte simplástico.

ABSTRACT

The appropriate organogenesis of plants during their life cycle promotes their development and adaptation to different environmental conditions. Various phytohormones regulate plant development but auxin, called Indole-3-Acetic Acid (IAA), is one of the most important. IAA is synthesized in the aerial part of plant and is mobilized to the demanding tissues by a rapid transport using the phloem and by the polar auxin transport (PAT). Recently, it has been shown that auxins also are mobilized by a symplastic transport (ST) through plasmodesmata (PD), which opening or closing is regulated by the callose degradation or deposition respectively. The objective of the present work was to deepen the analysis on the participation of symplastic transport of auxins during plant development, as well in the callose degradation or deposition, in the closing or opening of the PD, that regulates the development of some organs of *Arabidopsis thaliana*. The intervention of PDLP5 proteins is decisive for the callose deposition in the PD, which regulates the auxin distribution and impacts root formation, especially at the lateral roots. The participation of TS is important to develop the auxin activity, which favors root formation, necessary for the improvement plant nutrient absorption. This knowledge can be used to improve development plants of agronomic interest.

KEYWORDS: auxins, callose, plant development, plasmodesmata, symplastic transport.

*Correspondencia: eldabelt@umich.mx/Fecha de recepción: 20 de septiembre de 2023/Fecha de aceptación: 24 de enero de 2024/Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Avenida Francisco J. Múgica s/n, Ciudad, Universitaria, colonia Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, México, C. P. 58030.

INTRODUCCIÓN

Las plantas están formadas por un sistema radicular y un sistema aéreo. El primero se origina a partir del meristemo apical de la raíz (MAR), y sus funciones principales consisten en anclar la planta al suelo y adquirir agua y nutrientes. Mientras que el sistema aéreo, que se origina a partir del meristemo apical del brote (MAB), lleva a cabo, entre otras funciones, la fotosíntesis y la biosíntesis de auxinas (Gaillochet y Lohmann, 2015). Las auxinas, hormonas vegetales asociadas a la elongación de las plantas, son sintetizadas en la parte aérea y se transportan a la raíz por el floema y por el transporte polar de auxinas (TPA). Este último permite la creación de una concentración máxima de auxinas necesaria para el desarrollo adecuado del sistema radicular. Las auxinas además de moverse por el TPA, también lo hacen mediante el transporte simplástico (TS), a través de los plasmodesmos (PD) (Band, 2021). El TS está regulado por la síntesis, deposición o degradación de la callosa en el cuello de los PD, lo que respectivamente permite el cierre o apertura de los mismos (Wu y col., 2018). La callosa es un polímero de glucosas unidas por enlaces glucosídicos β -1,3 que participa en la formación de las placas del tamiz del floema y controla el cierre o la apertura de los PD durante el desarrollo y la maduración de los estambres y las anteras (Nishikawa y col., 2005). En las plantas perennes como el álamo, el ácido abscísico incrementa la síntesis de callosa en las puntas de los brotes y de esta manera disminuye la actividad meristemática y la latencia de las yemas (Tylewicz y col., 2018). Otros reportes señalan el papel de la callosa en el desarrollo vegetal y en las interacciones ambientales (Li y col., 2023).

En este trabajo se aborda como el cierre o apertura de los PD, a través de la callosa, regula el desarrollo de algunos órganos de *Arabidopsis thaliana*.

Desarrollo vegetal

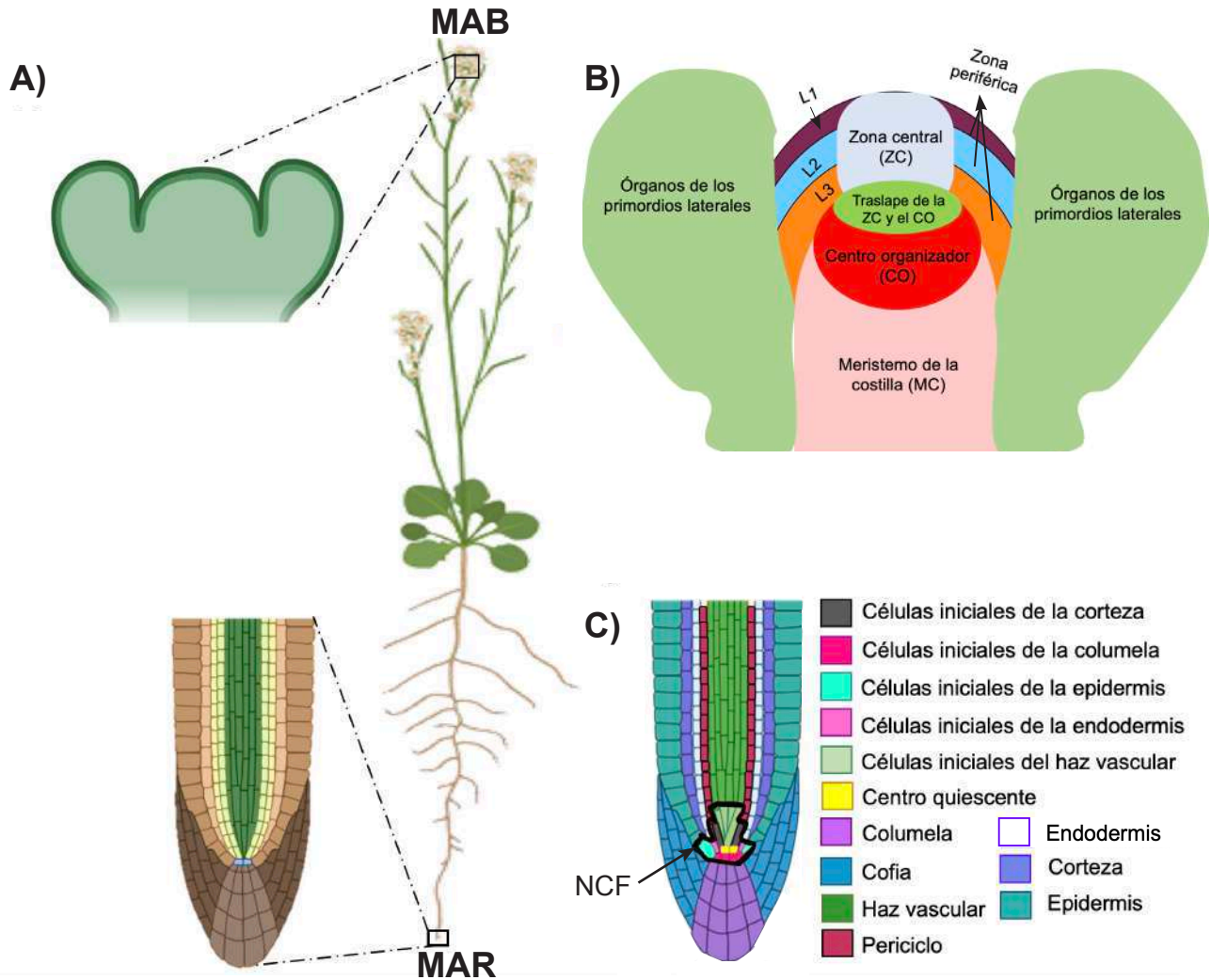
Las plantas poseen estructuras especializadas que les permiten su desarrollo y reproducción.

Durante la formación del embrión se originan dos polos, donde se localizan el MAB y el MAR (Scheres, 2007; Chang y col., 2020). El MAB da lugar a las hojas, tallos y flores (Chang y col., 2020; Li y col., 2022a), mientras que el MAR da origen al sistema radicular (Strotmann y Stahl, 2021). En las plantas maduras, el MAB y el MAR se localizan en la punta de la parte aérea y de la raíz, respectivamente (Figura 1A). El MAB se subdivide en diferentes zonas y capas (Figura 1B). La capa externa, denominada L1, da origen a la epidermis; la capa L2 genera el tejido fundamental y; la L3, que es la capa más interna, produce la vasculatura (Gaillochet y Lohmann, 2015). Mientras que la zona central (ZC) presenta una baja división celular, en la zona periférica (ZP), al igual que la zona que corresponde al meristemo de la costilla (MC), las divisiones son más rápidas (Uchida y Torii, 2019). En la Figura 1B, se observa que el centro organizador (CO) está rodeado por las tres zonas antes mencionadas. Cabe señalar que el CO está formado por un conjunto de células que raramente se dividen, al igual que el centro quiescente (CQ) del MAR (Gaillochet y Lohmann, 2015; Uchida y Torii, 2019).

La actividad y el mantenimiento del CO regula el tamaño y el funcionamiento correcto del MAB (Vázquez-Chimalhua y col., 2018; Wang y Jiao, 2023). Por otra parte, el MAR muestra una organización de cilindros concéntricos altamente estructurada, donde al conjunto de células iniciales que rodean al CQ se le conoce como el nicho de células fuente (NCF), el cual da origen a las diferentes capas que conforman la raíz primaria (García-Gómez y col., 2021). En la Figura 1C se puede observar el arreglo radial de las capas de la raíz, donde una capa denominada periciclo rodea la estela o haz vascular; enseguida se localiza la endodermis, las células de la corteza y la epidermis (capa externa de la raíz). Debajo del NCF, se encuentran la cofia y la columela, que protegen a la punta de la raíz de la fricción durante la exploración del suelo (Kumar e Iyer-Pascuzzi, 2020).

Vía de respuesta a las auxinas

La palabra auxina proviene del griego *auxein*



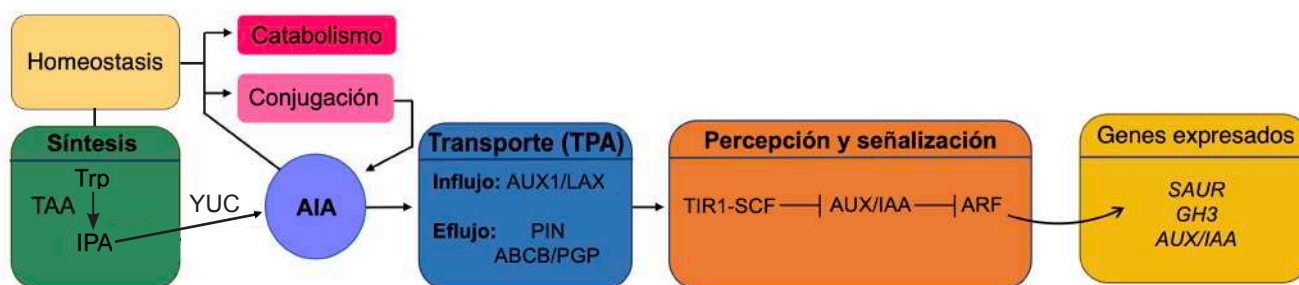
Fuente: Modificado a partir de Gaillochet y Lohmann (2015) y Fuchs y Lohmann (2020).

■ **Figura 1.** Localización y estructura de los meristemos apicales. A) Se muestra el esquema de una planta de *Arabidopsis thaliana* de 25 d de edad y un acercamiento del MAB y del MAR. B) Representación esquemática del MAB, donde se observan las zonas funcionales (ZC y ZP) y las capas celulares L₁, L₂ y L₃. C) Esquema del MAR, que ilustra los diferentes tipos celulares que componen la raíz primaria y la localización del NCF (rodeado con una línea negra).

Figure 1. Localization and structure of the apical meristems. A) The diagram shows a 25 d-old *Arabidopsis thaliana* plant and an approach of SAM and RAM. B) SAM schematic representation, where the functional zones (CZ and PZ) and cell layers L₁, L₂ and L₃ are observed. C) RAM Scheme, which illustrates the different cell types that constitute the primary root and the SCN localization (surrounded with a black line).

que significa “crecer” y su posible existencia fue sugerida por Charles y Francis Darwin en 1880, al observar el doblamiento del coleóptilo de *Phalaris canariensis* hacia la luz. Años más tarde, se demostró que este efecto se debía a la acumulación de auxinas en la zona del doblamiento del tejido (Taiz y Zeiger, 2010). Ahora se sabe que, prácticamente todo el de-

sarrollo vegetal está regulado por las auxinas (Peris y col., 2010; Scarpella y col., 2010; Rosquete y col., 2012; Mishra y col., 2022; Zhang y col., 2022). El efecto de estos compuestos, a través de la vía de respuesta a las auxinas, es un fenómeno muy complejo que comprende los siguientes eventos: i) homeostasis, ii) transporte y, iii) percepción y señalización (Figura 2).



Fuente: Modificado a partir de Hussain y col. (2021).

- **Figura 2.** Vía de respuesta a las auxinas. Se muestran elementos moleculares que participan en la homeostasis de AIA (síntesis, catabolismo y conjugación), el transporte polar y percepción y señalización de las auxinas. El AIA se transporta por los acarreadores AUX1/LAX y ABCB/PIN. Finalmente, el AIA percibe el receptor TIR1 unido al SCF percibe al AIA y posteriormente una de las proteínas del complejo SCF ubiquitina al represor AUX/AIA, lo que es una señal para su degradación con la consiguiente liberación de los factores de transcripción ARF, permitiendo así la expresión de los genes de respuesta temprana a las auxinas (*SAUR*, *GH3* y *AUX/IAA*).

Figure 2. Auxin response pathway. Molecular elements involved in IAA homeostasis (synthesis, catabolims and conjugation), polar transport, and auxin perception and signaling are shown. The AIA is transported by the AUX1/LAX and ABCB/PIN carriers. Finally, AIA is perceived by the TIR1 receptor attached to the SCF, and subsequently one of the protein of SCF complex ubiquitinates the AUX/AIA repressor, which is a signal for its degradation with the consequent ARF transcription factors release, thus allowing expression of genes of early auxin response (*SAUR*, *GH3* and *AUX/IAA*).

La homeostasis de auxinas mantiene el equilibrio interno de la fitohormona, que se establece a través de ajustes múltiples y dinámicos en la síntesis, el catabolismo y la conjugación de la auxina denominada Ácido Índol-3-Ácético (AIA), lo que permite el desarrollo y adaptación de las plantas a estímulos ambientales (Zhang y Peer, 2017). En *A. thaliana*, en la vía de síntesis del AIA dependiente del triptófano (Trp), el Trp se convierte por la acción de las trp aminotransferasas (TAA) a ácido indol-3-pirúvico (IPA). Posteriormente, el IPA es transformado por las flavin mono-oxigenasas YUCCA (YUC) a AIA (Figura 2) (Cao y col., 2019). El catabolismo del AIA (Figura 2), se efectúa entre otros procesos por la oxidación del AIA a oxiAIA (Rosquete y col., 2012).

El AIA en las plantas se distribuye desde los tejidos de síntesis a los demandantes a través del floema y por el TPA, el cual genera gradientes en distancias cortas. Para que se lle-

ve a cabo el TPA, se requiere de los acarreadores de influjo AUXIN1/LIKE-AUX1 (AUX1/LAX) y de eflujo PIN-FORMED (PIN) y ATP-Binding Cassette/P-glycoprotein (ABCB/PGP) (Figura 2) (Sauer y Kleine-Vehn, 2019).

Respecto a los eventos de la percepción y señalización de las auxinas se sabe que, cuando la concentración de auxinas es baja, la respuesta a esta fitohormona está inhibida por los represores denominados Auxin/Indole-3-Acetic Acid (AUX/IAA) que secuestran a los factores de respuesta a auxinas ARF (ARF, por sus siglas en inglés: Auxin Response Factor) y con ello impiden la expresión de los genes de respuesta temprana a las auxinas. Mientras que altas concentraciones de auxinas son percibidas por el receptor nuclear de respuesta de inhibición al transporte TIR1 (TIR1, por sus siglas en inglés: Transport Inhibitor Response1) que está unido al complejo SCF (S-PHASE KINASE-ASSOCIATED PRO-

TEIN1 (SKP1), CULLIN1 (CUL1), RING BOX PROTEIN1 (RBX1) y una F-box ligasa E3 de ubiquitina, lo que ocasiona que las auxinas unan a los represores AUX/IAA con el complejo SCF. Cuando esto sucede, los AUX/IAA son marcados por la ubiquitina-ligasa E3 (forma parte del SCF) y degradados vía el proteosoma, con la consiguiente liberación de los factores de transcripción ARF y la expresión de los genes de respuesta temprana a las auxinas: *SMALL AUXIN-UPREGULATED RNA (SAUR)*, *GRETCHEN HAGEN3 (GH3)* y *AUX/IAA* (Robert y Friml, 2009; Schaller y col., 2015; Leyser, 2018) (Figura 2).

La participación del TPA durante el desarrollo vegetal ha sido demostrada ampliamente (Michniewicz y col., 2007; Habets y Offringa, 2014; Ötvös y col., 2019; Sauer y Kleine-Vehn, 2019; Lee y col., 2020; Han y col., 2021; García-Gómez y col., 2021; Mishra y col., 2022) y recientemente, se ha reportado que el TS de las auxinas complementa al TPA (Rutschow y col., 2011; Gao y col., 2020; Mellor y col., 2020; Band, 2021).

Transporte polar de auxinas (TPA)

En forma aniónica (AIA⁻), el AIA es transportado por los acarreadores de influjo AUX1/LAX y de eflujo PIN y ABCB/PGP (Robert y Friml, 2009; Han y col., 2021) (Figura 3A). En *Arabidopsis*, la familia de los acarreadores de eflujo PIN está integrada por ocho miembros. En la punta de la raíz primaria, las auxinas que llegan a través del floema son redistribuidas por diferentes PIN, estableciendo con ello un gradiente indispensable para crear una concentración máxima de auxinas en el MAR, que es esencial para el crecimiento indeterminado de la raíz. En la Figura 3B, se observa que PIN1 participa en el movimiento de las auxinas a través del haz vascular; PIN4 las concentra en el CQ; PIN3 y PIN7 las redistribuyen en la región de la columela y PIN2 sube a las auxinas por la cofia hacia la epidermis y las regresa a través de las células de la corteza hacia el CQ para mantener una concentración máxima de auxinas en la punta de la raíz, necesaria para la función correcta del NCF (Figura 3B). También, se ha reportado

que, en el desarrollo de las raíces laterales están involucrados los acarreadores de eflujo PIN1 y PIN3 (Finet y Jaillais, 2012; Lee y col., 2020).

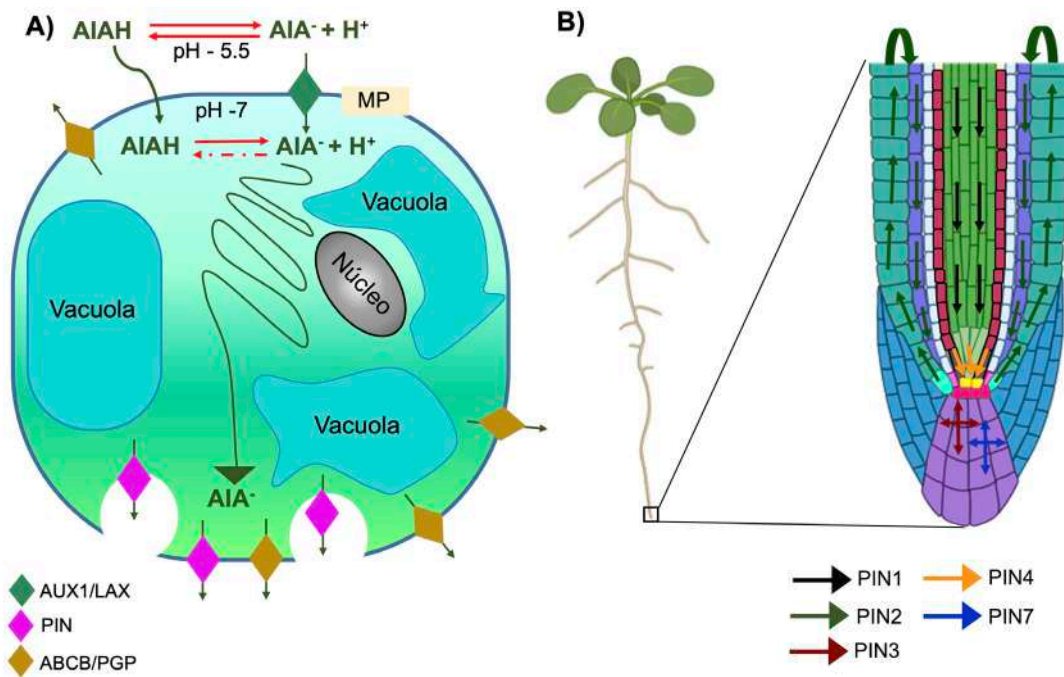
Transporte simplástico de las auxinas a través de los plasmodesmos

La caracterización de la dinámica de la auxina es esencial para entender cómo participa esta fitohormona en la regulación del desarrollo vegetal. Se ha reportado que el TS de las auxinas está involucrado en el fototropismo, la emergencia de las raíces laterales y la hiponastia de las hojas (Band, 2021). Mellor y col. (2020), observaron que al comparar el nivel experimental de auxinas en la raíz de *A. thaliana in vivo* con el nivel predicho por experimentos *in silico*, ambas distribuciones mostraban discrepancias muy grandes entre las concentraciones de auxinas cuando se consideraba solo el TPA. Mientras que, cuando tomaron en cuenta tanto el TPA como el TS, ambas distribuciones presentaron una alta concordancia. Esto les permitió a los autores recomendar que, en cualquier proceso del desarrollo vegetal que involucre el transporte de auxinas, se debe de considerar tanto al TPA como el TS.

Estructura y regulación de la apertura y cierre de los plasmodesmos

Los PD son canales nanoscópicos que atraviesan la pared celular y conectan el citoplasma de células vecinas. El movimiento de las moléculas a través de los PD depende de su permeabilidad, característica conocida como límite del tamaño de exclusión (LTE), que se define por el tamaño máximo que tiene una molécula capaz de atravesar el PD (Zambryski, 2004; Faulkner, 2018; Peters y col., 2021; Barr y Tilsne, 2023). El LTE, a su vez, depende del gradiente de concentración entre las células adyacentes. Por estos PD se transportan proteínas, RNAs, virus, AIA y moléculas con un peso de hasta 80 kDa (Brunkard, 2020).

La permeabilidad de los PD está regulada por mecanismos dependientes e independientes de la callosa depositada en los cuellos de los PD (Figura 4). Los mecanismos dependientes de



Fuente: Modificado a partir de Michniewicz y col. (2007) y Zažímolová y col. (2007).

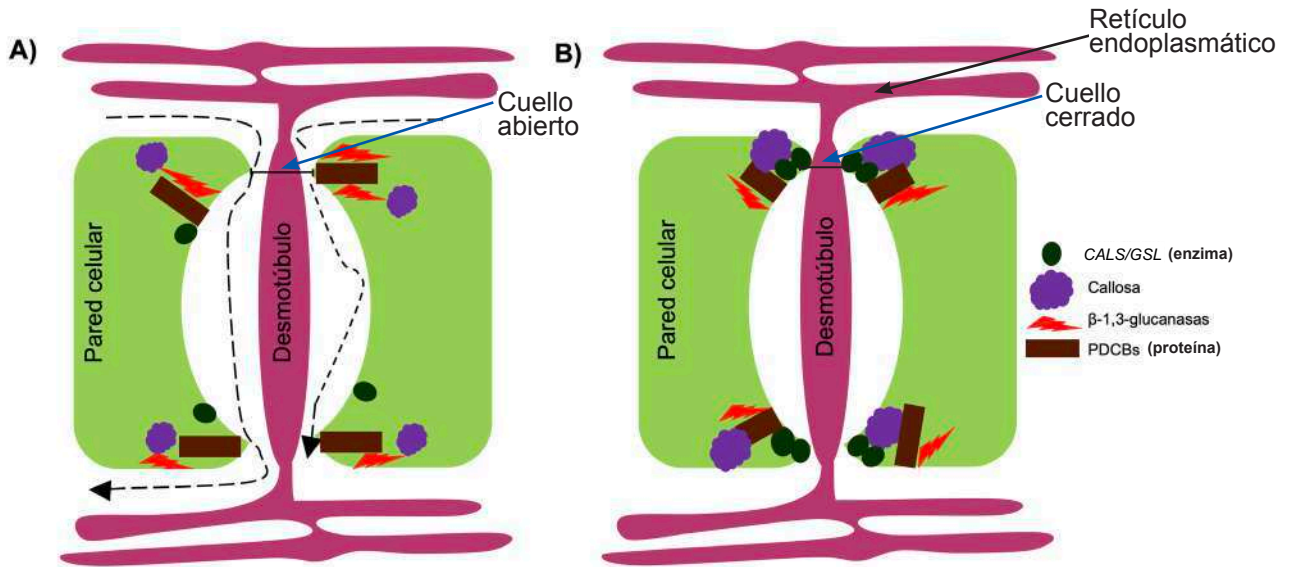
■ **Figura 3. Transporte polar de auxinas.** A) La auxina protonada (AIAH) difunde libremente a través de la membrana plasmática, mientras que el AIA⁻ se transporta dentro de la célula por los acarreadores de influjo AUX1/LAX. En el citosol, el AIA⁻ para salir, requiere de los acarreadores de eflujo PIN y ABCB/PGP. La localización de dichos acarreadores determina la direccionalidad del flujo intracelular de auxinas. B) Acercamiento a la punta de la raíz primaria donde se puede observar que las auxinas son transportadas por diferentes PIN creando niveles máximos de auxinas en el centro quiescente (color amarillo) mientras que en otras capas se presentan niveles bajos de esta fitohormona (color verde oscuro).

Figure 3. Polar auxin transport. A) Protonated auxin (AIAH) freely diffuses across the plasma membrane, while IAA⁻ is transported into the cell by the AUX/LAX influx carriers. In the cytosol, IAA requires the efflux PIN and ABCB/PGP carriers to exit. The location of these carriers determines the direction of auxin intracellular flow. B) Approach of the primary root tip where it can be observed that auxin is transported by different PINs, creating auxin maximum level in the quiescent center (yellow color), while low levels of this phytohormone are present in other layers (dark green).

callosa involucran la síntesis y degradación del polímero, en tanto que, los independientes incluyen la alteración del número de PD y el cambio de estructura de los PD de simples a ramificados (Wu y col., 2018). Los PD simples conectan el citoplasma de dos células, mientras que los ramificados, que consisten de la fusión de varios PD simples, presentan varias cavidades que aumentan el TS (Zambryski y Crawford, 2000). Por otra parte, se ha observado que altos niveles de callosa en el cuello del PD lo cierran, y restringen el TS, y que di-

cho nivel depende de las enzimas CALLOSE SYNTHASE/GLUCAN SYNTHASE-LIKE (*CALS/GSL*) (Hernández-Hernández y col., 2020).

En el cierre de los PD, también están involucradas las proteínas que ayudan al posicionamiento de la callosa sobre el cuello de los PD, como las PD-CALLOSE BINDING PROTEIN (PDCB) (Simpson y col., 2009; Amsbury y col., 2018) y las PLASMODESMATAL-LOCATED PROTEIN (PDLP) (Thomas y col., 2008; Li y col., 2022b) (Figura 4B). Por otra parte, la re-



Fuente: Modificado a partir de Hernández-Hernández y col. (2020).

■ **Figura 4. Participación de la callosa en la apertura y cierre del PD.** A) El cuello del PD abierto por la degradación de callosa por las β -1,3-glucanasas, permite el movimiento de diferentes moléculas a través de la manga citoplasmática (flechas negras). B) El PD cerrado por la síntesis y deposición de la callosa sobre el cuello del PD, restringe el transporte simplástico.

Figure 4. Callose participation on the PD opening and closing. A) The PD neck opened by the callose degradation by β -1,3-glucanases, allows the movement of different molecules through the cytoplasmic sleeve (black arrows). B) The closed PD by the callose synthesis and deposition on the PD neck, restricts symplastic transport.

moción de la callosa que resulta en la apertura de los PD está mediada por las β -1,3-glucanasas (Figura 4A) (Hernández-Hernández y col., 2020).

Participación de la callosa en la defensa de las plantas

Una de las primeras funciones reportada de los PD se relaciona con la defensa vegetal, debido a que virus, hongos y bacterias usan a los PD para invadir a la planta (Zambryski y Crawford, 2000; Liu y col., 2021). Para enfrentar a las infecciones, las plantas incrementan la expresión de los genes *CALS/GSL*, *PDL5* y *PDCB* que codifican respectivamente para las proteínas *CALS/GSL*, *PDL5* y *PDCB*, y que forman una estructura conocida como papillae, que además contiene fitoalexinas, especies reactivas de oxígeno y defensinas (Wang, 2021). La deposición de callosa en los PD en respuesta al ataque de patógenos está regulada por el ácido salicílico, ocasionando con ello una dis-

minución del LTE (Zavaliev y col., 2011; Jiang y col., 2021).

Nie y col. (2017), reportaron un aumento en la acumulación de callosa en *A. thaliana* expuesta a *Botrytis cinerea*. En otro estudio, se observó un incremento de callosa en hojas de fresa expuestas a la interacción física y a los compuestos volátiles de *Botrytis methylotrophicus* (Vicente-Hernández y col., 2019). Los resultados antes mencionados, sugieren que el cierre de los PD es un mecanismo que se lleva a cabo para impedir la propagación del patógeno al resto de la planta.

Recientemente, Tee y col. (2023) señalaron que, las plantas para iniciar y ejecutar su defensa contra el ataque de patógenos emplean una serie de cascadas de señalización, cada una con componentes moleculares específicos. Estos autores indicaron que diversas cascadas de señalización iniciadas por diferentes elici-

tores, convergen en la síntesis de callosa que resulta en el cierre de los PD.

Participación de la callosa durante el desarrollo vegetal

La callosa es sintetizada por un complejo multiproteico que se localiza en la membrana celular, sin embargo, la subunidad catalítica crítica es la sintasa de callosa *CALS/GSL* (Li y col., 2023). El genoma de *A. thaliana* contiene doce genes de sintasas de callosa *CALS/GSL* (Chen y col., 2009). Han y col. (2014) reportaron que la mutante *gsl8* de *A. thaliana* impide la acumulación de callosa en los PD y altera el desarrollo de estomas. Como la mutación *gsl8* también ocasionó otras alteraciones del desarrollo, para poder analizar el efecto de la callosa sobre la respuesta del hipocótilo a la luz y a la gravedad, se crearon mutantes *gsl8* condicionadas a dexametasona (*dsGSL8 RNAi*). Adicionalmente, observaron que, los hipocótilos de plántulas *dsGSL8 RNAi*, en presencia de dexametasona, no presentaron el doblamiento característico en respuesta a la gravedad y a la luz, ni la acumulación de callosa en dicha zona. Así que, sus resultados señalaron que la acumulación de callosa fue necesaria para el doblamiento del hipocótilo en respuesta a los dos tropismos evaluados.

Vatén y col. (2011) reportaron que, el gen *CALS3*, que codifica para la sintasa de callosa, se expresa en el haz vascular y en el RAM, y que las raíces de las mutantes de ganancia de función *CALS3* que incluyen a *cals3-1d*, *cals3-2d* y *cals3-3d*, denominadas colectivamente *cals3-d*, presentaban un patrón aberrante de la proteína verde fluorescente (PVF) (GFP, por sus siglas en inglés: Green Fluorescent Protein) que marca el movimiento, codificada por *pSUC2::GFP*. Estos investigadores, además observaron que GFP se movilizó en el haz vascular en las plántulas control *pSUC2::GFP*, en tanto que en la línea *cals3-1d* homocigota, la GFP desapareció y su movimiento se restableció parcialmente en la línea heterocigota *cals3-1d/+*. Y también documentaron que las plántulas *cals3-d* presentaron una

raíz primaria extremadamente corta y una mayor acumulación de callosa (detectada por tinción con azul de anilina) respecto a la línea silvestre.

La callosa influye en el desarrollo de las raíces laterales, las cuales se inducen a partir de los primordios existentes en ellas y cuyo desarrollo transcurre a través de siete etapas. En la etapa I, las células fundadoras del periciclo son marcadas con auxinas; posteriormente, en las etapas II-VII, las células se van dividiendo y formando un domo que, conforme crece, va rompiendo sucesivamente las capas de la endodermis, la corteza, hasta llegar a la epidermis. Este desarrollo está regulado por las auxinas que, en primer lugar, marcan a las células del periciclo que van a dar lugar a los primordios y posteriormente las auxinas se movilizan hacia la punta del domo conforme crece el primordio hasta llegar a los meristemas de las raíces laterales (Malamy y Benfey, 1997; Torres-Martínez y col., 2019).

Las proteínas PDLP5 ayudan al posicionamiento de la callosa en el cuello de los PD y por lo tanto contribuyen al cierre del canal. Sager y col. (2020) observaron que, en las etapas I-II del desarrollo de los primordios de las raíces laterales (PRL), las PDLP5 se localizaron en la endodermis, mientras que en las etapas IV-VI, se identificaron en la corteza y en la epidermis, que es cuando ya ha emergido la RL. También detectaron que el patrón de localización de las PDLP5 fue similar al del transportador de flujo de las auxinas LAX3 durante el desarrollo de los PRL y posteriormente comprobaron que la expresión de *PDLP5* depende de las auxinas. LAX3 regula el flujo de auxinas hacia las células que rodean al PRL y al cerrar los PD se impide la disipación de auxinas y con ello se asegura la emergencia de las RL. Estos investigadores, además observaron un fenotipo contrastante entre las mutantes *pdlp5-1* y las líneas de sobreexpresión *PDLP5OE*. Las plántulas de la mutante *pdlp5-1* mostraron un mayor número de raíces laterales largas, en tanto que las plántulas *PDLP5OE* presentaron raíces laterales escasas y cortas,

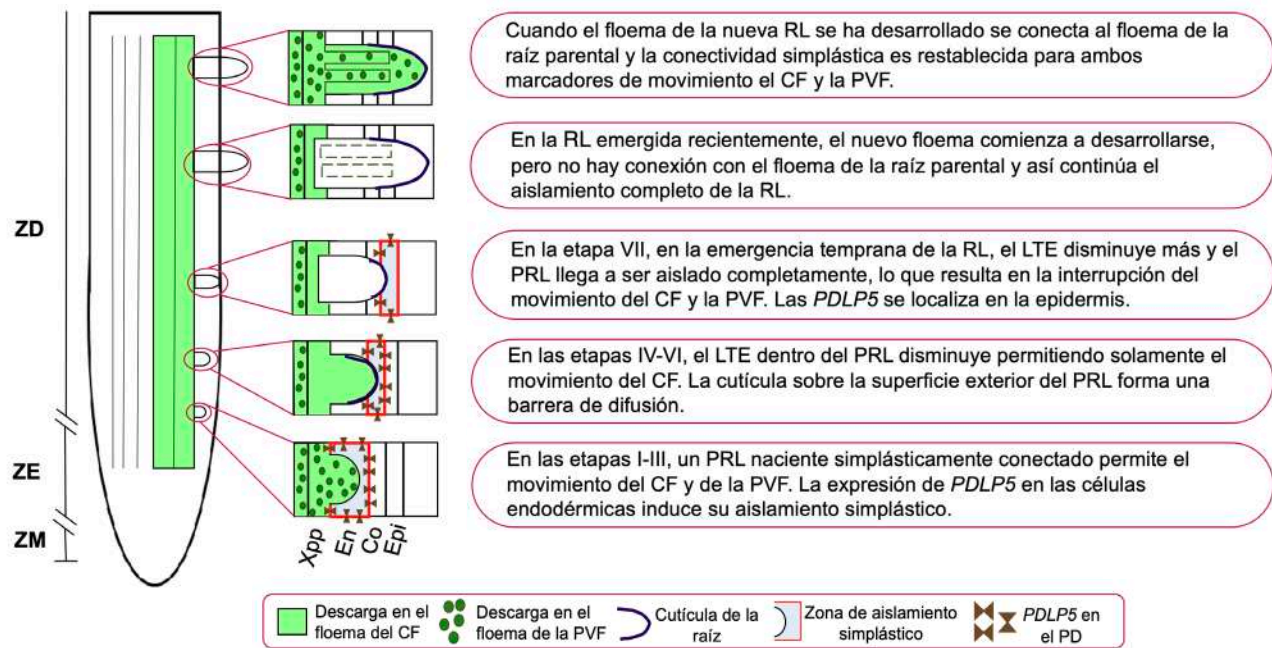
comportamiento que atribuyeron a un desarrollo acelerado de los PRL en *pdlp5-1* y a un retraso en dicho desarrollo en la línea *PDLP5OE*.

Sager y col. (2021), establecieron un modelo que propone que en diferentes etapas del desarrollo de los PRL se presenta un aislamiento simplástico transitorio. En las etapas I-III, el PRL está conectado al floema de la raíz primaria y las proteínas PDLP5 se posicionan sobre las células de la endodermis. En los estadios IV-VI, las *PDPL5* se localizan en la corteza impidiendo el movimiento de la GFP, mientras que en la etapa VII, las PDLP5 se posicionan en la epidermis quedando el PRL

aislado simplásticamente del floema de la raíz primaria. Una vez que la raíz lateral emerge, esta desarrolla su floema y se restablece la conexión simplástica entre la raíz lateral y el floema de la raíz primaria (Figura 5).

Otro ejemplo de la participación de la callosa en el desarrollo de las RL, fue el observado en las plántulas *pdbg1,2* (mutantes dobles de las glucanasas, donde los PD están cerrados debido a que no hay degradación de callosa).

Estas plántulas presentaron en el haz vascular de la raíz primaria una mayor acumulación de callosa y un incremento en la densi-



Fuente: Modificado a partir de Sager y col. (2021).

■ Figura 5. Posicionamiento de las proteínas *PDPL5* durante el desarrollo de los primordios de las raíces laterales (PRL). Marcadores de movimiento: verde claro corresponde al diacetato de carboxifluoresceína (CF), los puntos verde oscuro a la proteína verde fluorescente (PVF). Abreviaciones: ZM, zona meristemática; ZE: zona de elongación; ZD: zona de diferenciación; LTE: límite de tamaño de exclusión; RL: raíces laterales; Xpp: células del polo del xilema del periciclo; En: endodermis; Co: corteza; Epi: epidermis; PDLP5: PLASMO-DESMATA-LOCATED PROTEIN 5. Figure 5. PDLP5 protein positioning during the development of lateral root primordia (LRP). Movement markers: light green corresponds to carboxyfluorescein diacetate (CF), dark green dots to green fluorescent protein (GFP). Abbreviations: MZ, meristematic zone; EZ, elongation zone; DZ, differentiation zone; SEL, size exclusion limit; LR: lateral development; Xpp, xylem pole pericycle cells; En, endodermis; Co, cortex; Epi, epidermis; PDLP5, PLASMODESMATA-LOCATED PROTEIN 5.

dad de las raíces laterales respecto a las plántulas silvestres. Al observar con más detalle plántulas de estas mutantes, notaron que, en el sitio donde normalmente se forma un PRL aparecen varios, lo que resulta en un mayor número y densidad de raíces laterales. Los autores concluyeron que el transporte simplástico a través de los PD es crítico para la iniciación y el posicionamiento adecuado de los PRL (Benitez-Alfonso y col., 2013).

CONCLUSIONES

Las auxinas, fitohormonas generadas en la parte aérea de la planta, se distribuyen a través del transporte polar (TPA) y simplástico (TS) hacia todos los tejidos. Su transporte, distribución y regulación son esenciales para el desarrollo de las plantas, por su función organogénica. En *Arabidopsis thaliana*, el aislamiento simplástico transitorio de las auxinas en el floema de la raíz primaria, es determinante para la emergencia de las raíces laterales. Esta acción se regula a través de las proteínas PDL5, que ayudan al posicionamiento de la callosa en el cuello de los plasmodesmos (in-

duciendo su cerrado); además de que el flujo de las auxinas hacia las células que rodean los primordios de las raíces laterales es ajustado por LAX3. Una vez que la raíz lateral emerge, esta desarrolla su floema y se restablece la conexión simplástica entre la raíz lateral y el floema de la raíz primaria. Adicional al TPA, el TS de las auxinas coadyuva al desarrollo vegetal. Entender los mecanismos moleculares que regulan la arquitectura radicular es importante para mejorar la eficiencia en la adsorción de nutrientes y por su potencial impacto en el rendimiento de cultivos de importancia agronómica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), E. C. F., es becario del CONAHCYT, México (801093).

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflictos de intereses de ningún tipo.

REFERENCIAS

- Amsbury, S., Kirk, P., and Benítez-Alfonso, Y. (2018). Emerging models on the regulation of intracellular transport by plasmodesmata-associated callose. *Journal of Experimental Botany*. 69(1): 105-115.
- Band, R. L. (2021). Auxin fluxes through plasmodesmata. *New Phytologist*. 231(5): 1686-1692.
- Barr, Z. and Tilsne, J. (2023). Cell-to-cell connectivity assays for the analysis of cytoskeletal and other regulators of plasmodesmata. *Methods in Molecular Biology*. 2604: 193-202.
- Benitez-Alfonso, Y., Faulkner, C., Pendle, A., Miyashima, S., Helariuta, Y., and Maule, A. (2013). Symplastic intercellular connectivity regulates lateral root patterning. *Development Cell*. 26(2): 136-147.
- Brunkard, J. O. (2020). Exaptive evolution of target of rapamycin signaling in multicellular eukaryotes. *Development Cell*. 54(2): 142-155.
- Cao, X., Yang, H., Shang, C., Sang, M., Liu, L., and Cheng, J. (2019). The roles of auxin biosynthesis YUCCA gene family in plants. *International Journal of Molecular Science*. 20(24): 6343.
- Chang, W., Guo, Y., Zhang, H., Liu, X., and Guo, L. (2020). Same actor in different stages: Genes in shoot apical meristem maintenance and floral meristem determinacy in *Arabidopsis*. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 8: 89.
- Chen, X. Y., Liu, L., Lee, E., Han, X., Rim, Y., Chu, H., and Kim, J. Y. (2009). The *Arabidopsis* callose synthase gene *GSL8* is required for cytokinesis and cell patterning. *Plant Physiology*. 150(1): 105-113.
- Faulkner, C. (2018). Plasmodesmata and the symplast. *Current Biology*. 28(24): R1374-R1378.
- Finet, C. and Jaillais, Y. (2012). AUXOLOGY: When auxin meets plant evo-devo. *Developmental Biology*. 365(1): 19-31.
- Fuchs, M. and Lohmann, J. U. (2020). Aiming for the top: non-cell autonomous control of shoot stem cell in *Arabidopsis*. *Journal Plant Research*. 133: 297-309.
- Gaillochet, C. and Lohmann, J. U. (2015). The never-ending story: from pluripotency to plant developmental plasticity. *Development*. 142(13): 2237-

2249.

Gao, C., Liu, X., De-Storme, N., Jensen, K. H., Xu, Q., Yang, J., ..., and Liesche, J. (2020). Directionality of plasmodesmata-mediated transport in Arabidopsis leaves support auxin channeling. *Current Biology*. 30(10): 1970-1977.

García-Gómez, M. L., Garay-Arroyo, A., García-Ponce, B., Paz-Sánchez, M., and Álvarez-Buylla, E. R. (2021). Hormonal regulation of stem cell proliferation at the *Arabidopsis thaliana* root stem cell niche. *Frontiers in Plant Science*. 12: 628491.

Habets, M. E. J. and Offringa, R. (2014). PIN-driven polar auxin transport in plant developmental plasticity: a key target for environmental and endogenous signals. *New Phytologist*. 203(2): 362-377.

Han, H., Adamowski, M., Qi, L., Alotaibi, S. S., and Friml, J. (2021). PIN-mediated polar auxin transport regulations in plant tropic response. *New Phytologist*. 232: 510-522.

Han, X., Hyun, T. K., Zhang, M., Kumar, R., Koh, E. J., Kang, B. H., and Kim, J. Y. (2014). Auxin-callose-mediated plasmodesmal gating is essential for tropic auxin gradient formation and signaling. *Developmental Cell*. 28(2): 132-146.

Hernández-Hernández, V., Benítez, M., and Boudaoud, A. (2020). Interplay between turgor pressure and plasmodesmata during plant development. *Journal of Experimental Botany*. 71(3): 768-777.

Hussain, S., Nanda, S., Zhang, J., Rehmani, M. I. A., Suleman, M., Li, G., and Hou, H. (2021). Auxin and cytokinin interplay during leaf morphogenesis and phyllotaxy. *Plants*. 10(8): 1732.

Jiang, Y., Zheng, W., Li, J., Lui, P., Zhong, K., Jin, P., ..., and Chen, J. (2021). NbWRKY40 positively regulates the response of *Nicotiana benthamiana* to tomato mosaic virus via salicylic acid signaling. *Frontiers in Plant Science*. 11: 603518.

Kumar, N. and Iyer-Pascuzzi, A. S. (2020). Shedding the last layer: Mechanisms of root cap cell release. *Plants*. 9(3): 308.

Lee, H., Ganguly, A., Lee, R. D., Park, M., and Cho, H. T. (2020). Intracellular localized PIN-FORMED8 promotes lateral root emergence in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1808.

Leyser, O. (2018). Auxin signaling. *Plant Physiology*. 176(1): 465-479.

Li, N., Lin, Z., Yu, P., Zeng, Y., Du, S., and Huang, L. J. (2023). The multifarious role of callose and callose synthase in plants development and envi-

ronment interactions. *Frontiers in Plant Science*. 14: 1183402.

Li, R., Wei, Z., Li, Y., Shang, X., Cao, Y., Duan, L., ..., and Ma., L. (2022a). Ski-interacting protein interacts with shoot meristem less to regulate shoot apical meristem formation. *Plant Physiology*. 189(4): 2193-2209.

Li, Z., Liu, S. L., Montes-Serey, C., Walley, J. W., and Aung, K. (2022b). Plasmodesmata-located proteins regulate plasmodesmal function at specific cell interface in Arabidopsis. *BioRxiv*. 08.05.50299.

Liu, J., Zhang, L., and Yan, D. (2021). Plasmodesmata-involved battle against pathogens and potential strategies for strengthening hosts. *Frontiers in Plant Science*. 12: 644870.

Malamy, J. E. and Benfey, P. N. (1997). Organization and cell differentiation in lateral roots of *Arabidopsis thaliana*. *Development*. 124(1): 33-44.

Mellor, N. L., Voß, U., Janes, G., Bennett, M. J., Wells, D. M., and Band, L. R. (2020). Auxin fluxes through plasmodesmata modify root-tip auxin distribution. *Development*. 147(6): dev181669.

Michniewicz, M., Brewer, P. B., and Friml, J. (2007). Polar auxin transport and asymmetric auxin distribution. *The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists*. 5: e0108.

Mishra, B. S., Sharma, M., and Laxmi, A. (2022). Role of sugar and auxin crosstalk in plant growth and development. *Physiologia Plantarum*. 174(1): e13546.

Nie, P., Li, X., Wang, S., Guo, J., Zhao, H., and Niu, D. (2017). Induced system resistance against *Botrytis cinerea* by *Bacillus cereus* AR156 through a JA/ET- and *NPR1*-dependent signaling pathway and activates PAMP-triggers immunity in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*. 8: 238.

Nishikawa, S., Zinkl, G. M., Swanson, R. J., Maruyama, D., and Preuss, D. (2005). Callose (beta-1,3 glucan) is essential for Arabidopsis pollen wall patterning, but not tube growth. *BMC Plant Biology*. 5(1): 1-9.

Ötvös, K., Marconi, A., Vega, A., O'Brien, J., Johnson, A., Abualia, R., and Benková, E. (2019). Modulation of plant root growth by nitrogen source-defined regulation of polar auxin transport. *The EMBO Journal*. 40(3): e106862.

Peris, L. C. I., Rademacher, E. H., and Weijers, D. (2010). Green beginnings-pattern formation in the early plant embryo. *Current Topics in Developmental Biology*. 91: 1-27.

- Peters, W. S., Jensen, K. H., Stone, H. A., and Knoblauch, K. (2021). Plasmodesmata and the problems with size: Interpreting the confusion. *Journal of Plant Physiology*. 257: 153341.
- Robert, H. S. and Friml, J. (2009). Auxin and other signal on the move in plants. *Nature Chemical Biology*. 5: 325-332.
- Rosquete, M. R., Barbez, E., and Kleine-Vehn, J. (2012). Cellular auxin homeostasis: gatekeeping in housekeeping. *Molecular Plant*. 5(4): 772-786.
- Rutschow, H. L., Baskin, T. I., and Kramer, E. M. (2011). Regulation of solute flux through plasmodesmata in the root meristem. *Plant Physiology*. 155(4): 1817-1826.
- Sager, R., Bennett, M., and Lee, J. Y. (2021). A tale of two domains pushing lateral roots. *Trends in Plant Science*. 26(8): 770-779.
- Sager, R., Wang, X., Hill, K., Yoo, B. C., Caplan, J., Nedo, A., and Lee, J. Y. (2020). Auxin-dependent control of a plasmodesmal regulator creates a negative feedback loop modulating lateral root emergence. *Nature Communications*. 11(1): 364.
- Sauer, M. and Kleine-Vehn, J. (2019). PIN-FORMED and PIN-LIKES auxin transport facilitators. *Development*. 146(15): dev168088.
- Scarpella, E., Barkoulas, M., and Tsiantis, M. (2010). Control of leaf and vein development by auxin. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2(1): a001511.
- Schaller, G. E., Bishopp, A., and Kieber, J. J. (2015). The Yin-Yang of hormones: cytokinin and auxin interactions in plant development. *The Plant Cell*. 27(1): 44-63.
- Scheres, B. (2007). Stem-cell niches: nursery rhymes across kingdoms. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 8(5): 345-354.
- Simpson, C., Thomas, C., Findlay, K., Bayer, E., and Maule, A. J. (2009). An *Arabidopsis* GPI-anchor plasmodesmal neck protein with callose binding activity and potential to regulate cell to-cell trafficking. *The Plant Cell*. 21(2): 581-594.
- Strotmann, A. I. and Stahl, Y. (2021). At the root of quiescence: function and regulation of the quiescent center. *Journal of Experimental Botany*. 72(19): 6716-6726.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2010). Auxin: The first discovered plant growth hormone. In L. Taiz, L. and E. Zeiger (Eds.), *Plant Physiology*, (Fifth edition). (pp. 545-582). Massachusetts U.S.A. Sinauer Associates Inc, Publishers.
- Tee, E. E., Johnston, M. G., Papp, D., and Faulkner, C. (2023). A PDLP-NHL3 complex integrates plasmodesmal immune signaling cascades. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 120(17): e2216397120.
- Thomas, C. L., Mayer, E. M., Ritzenthaler, C., Fernandez-Calvino, L., and Maule, A. J. (2008). Specific targeting of a plasmodesmal protein affecting cell-to-cell communication. *PLoS Biology*. 6(1): e7.
- Torres-Martínez, H. G., Rodríguez-Alonso, G., Shishkova, S., and Dubrovsky, J. G. (2019). Lateral root primordium morphogenesis in angiosperms. *Frontiers in Plant Science*. 10: 206.
- Tylewicz, S., Petterle, A., Marttila, S., Miskolczi, P., Azeez, A., and Bhalerao, R. P. (2018). Photoperiodic control of seasonal growth is mediated by ABA action on cell-cell communication. *Science*. 350(6385): 212-215.
- Uchida, N. and Torii, K. U. (2019). Stem cells within the shoot apical meristem: identity, arrangement and communication. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 76(6): 1067-1080.
- Vatén, A., Dettmer, J., Wu, S., Stierhor, Y. D., Miyashima, S., Yadav, S. R., ..., and Helariutta, Y. (2011). Callose biosynthesis regulates symplastic trafficking during root development. *Developmental Cell*. 21(6): 1144-1155.
- Vázquez-Chimalhua, E., López-Bucio, J., Valencia-Cantero, E. y Beltrán-Peña, E. (2018). Mecanismos moleculares que controlan el desarrollo de los meristemos en plantas. En E. Beltrán-Peña, J. López-Bucio y M. Martínez-Trujillo (Eds.), *Fronteras en la biología: Señalización y comunicación de las plantas* (pp. 28-39). Morelia: Morevalladolid.
- Vicente-Hernández, A., Salgado-Garciglia, R., Valencia-Cantero, E., Ramírez-García, A., García-Juárez, P., and Macías-Rodríguez, L. (2019). *Bacillus methylotrophicus* Ma-96 stimulates the growth of strawberry (*Fragaria X ananassa* 'Aromas') plants *in vitro* and slows *Botrytis cinerea* infection by two different methods of interaction. *Journal of Plant Growth Regulation*. 38(3): 765-777.
- Wang, A. (2021). Cell-to-cell movement of plant viruses via plasmodesmata: a current perspective on potyviruses. *Current Opinion in Virology*. 48: 10-16.
- Wang, Y. and Jiao, Y. (2023). Cell signaling in the shoot apical meristem. *Plant Physiology*. 193(1): 70-82.
- Wu, S. W., Kumar, R., Iswanto, A. B. B., and Kim, J. Y. (2018). Callose balancing at plasmodesmata. *Journal*

of *Experimental Botany*. 69(22): 5325-5339.

Zambryski, P. (2004). Cell-to-cell transport of proteins and fluorescent tracers via plasmodesmata during plant development. *Journal of Cell Biology*. 164(2):165-168.

Zambryski, P. and Crawford, K. (2000). Plasmodesmata: gatekeepers for cell-to-cell transport of developmental signals in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 16: 393-421.

Zavaliev, R., Ueki, S., Epel, B. L., and Citovsky, V. (2011). Biology of callose (β -1,3-glucan) turnover at plasmodesmata. *Protoplasma*. 248: 117-130.

Zažímolová, E., Krecek, P., Skůpa, O., Hoyerová, K., and Patrásek, J. (2007). Polar transport of the plant hormone auxin- the role of PIN-FORMED (PIN) proteins. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 64(13): 1621-1637.

Zhang, J. and Peer, W. A. (2017). Auxin homeostasis: the DAO of catabolism. *Journal of Experimental Botany*. 68(12): 3145-3154.

Zhang, Y., Yu, J., Xu, X., Wang, R., Liu, Y., Huang, S., ..., and Wei, Z. (2022). Molecular mechanisms of diverse auxin responses during plant growth and development. *International Journal of Molecular Science*. 23(20): 12495.



Imagen tomada de: Canva educativo

Factores asociados al liderazgo docente Factors associated to teacher leadership

Leydi Gabriela Achach-Sonda^{1*}, Edith Juliana Cisneros-Cohernour²

RESUMEN

El liderazgo docente resulta ser una variable importante debido al papel que juega en la mejora de la calidad del profesorado y su relación positiva con los resultados escolares; sin embargo, en las realidades institucionales persisten situaciones que obstaculizan o desalientan al magisterio a asumir estos roles. El objetivo de la presente investigación fue el de describir cuáles son los factores que facilitan o inhiben el desarrollo del liderazgo docente en una escuela primaria de Mérida, Yucatán, México. Se siguió un estudio de caso con métodos mixtos. Para el análisis cualitativo, se trabajó con los datos recabados mediante las técnicas de observación participante y la entrevista semi-estructurada. Para el análisis de datos cuantitativos se utilizó la técnica de la administración de encuestas online, y se llevaron a cabo inferenciales no paramétricos: Ji cuadrada y prueba U de Mann Whitney. Se encontró que tener un liderazgo docente alto está relacionado positivamente con tener iniciativa para emprender proyectos innovadores escolares; a diferencia, el nivel bajo de liderazgo se asoció con la incomodidad con roles de liderazgo. Se detectaron diferencias en los resultados de las técnicas cualitativas y las cuantitativas. En el estudio cualitativo se obtuvo que ser docente de apoyo, la figura del director, el individualismo, la disponibilidad de tiempo, la carga administrativa, los grupos numerosos, entre otros, fueron categorías que pueden influir en el hecho de actuar o no con liderazgo. Es indispensable conocer todas las situaciones por la que atraviesan los profesores para poder tomar las decisiones de manera informada, así como encontrar las raíces reales de los problemas que están estrechamente relacionadas con las decisiones sobre política pública.

PALABRAS CLAVE: liderazgo docente, escuela primaria, maestros de primaria.

ABSTRACT

Teacher leadership is an important variable due to the role it plays in improving teacher quality and its positive relationship with school results. However, contextual situations exist within institutions that hinder or discourage teachers from assuming these roles. The objective of this research was to describe the characteristics and factors that foster or inhibit the development of teacher leadership in a primary school in Mérida, Yucatán. A case study with mixed methods was followed. For the qualitative phase data were collected employing participant observation and semi-structured interviews. For the quantitative phase of the study online surveys were administered and the following non-parametric inferential tests were carried out: chi-square and Mann-Whitney U test; Findings suggest that high levels of leadership are positively correlated to having the initiative to undertake innovative school projects. In contrast, low levels of leadership were associated to discomfort with leadership roles. Significant differences were identified in the results of the qualitative and quantitative phase. The qualitative phase revealed that being a support teacher, the principal's role, individualism, the availability of time, the administrative burden, large groups, among others, were categories that can influence teacher's intentions to act or not with leadership. It is essential to know the situations that all teachers go through in order to make decisions in an informed manner, as well as to find the real roots of the problems that are closely related to decisions on public policy.

KEYWORDS: teacher leadership, elementary school, elementary school's teachers.

*Correspondencia: gabyachach.sonda@gmail.com/Fecha de recepción: 16 de agosto de 2022/Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2023/Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

¹Secretaría de Educación Pública del Gobierno del Estado de Yucatán, calle 34 núm. 101 A, 25, col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, México, C. P. 97070. ²Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Educación, Mérida, Yucatán, México.

INTRODUCCIÓN

Los docentes representan la variable más importante entre todas aquellas relacionadas con disminuir el rezago educativo de una escuela (Ross, 2015), es por ello que se alienta a los maestros que asuman roles de liderazgo (Webber y Nickel, 2021).

El liderazgo docente se refiere a las actividades, actitudes y aptitudes de un profesor que le permiten ejercer influencia sobre sus compañeros y estudiantes, participar en la toma de decisiones y coordinar esfuerzos para mejorar los resultados escolares y el rendimiento de los y las alumnas. Este liderazgo implica establecer relaciones positivas con todos los miembros de la comunidad educativa, incluyendo otros maestros, personal administrativo, padres y estudiantes, lo que tiene un impacto no solo en su salón de clases, sino también en todo el entorno escolar (Wenner y Campbell, 2017; Godlesky, 2018). El liderazgo docente favorece el aprendizaje profesional de los docentes, el trabajo colaborativo, las estrategias de enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes (Gordon y Solís, 2018; Von-Esch, 2018; Fierro-Evans y Fortoul-Ollivier, 2021). Por lo tanto, desarrollar líderes docentes para lograr el éxito dentro de las escuelas, es fundamental.

Este atributo ha sido estudiado sobre todo en Estados Unidos, debido a que es en este país en donde emerge el término (liderazgo docente) como parte de la creación de ciertas reformas educativas y programas, como *A Nation Risk*, que estaban centrados en mejorar la calidad de los docentes y las condiciones de enseñanza (Wenner y Campbell, 2017). El propósito de algunas de estas investigaciones fue hallar el significado del liderazgo docente (Cosenza, 2015); las características de los líderes docentes (Lumpkin y col., 2014), su relación con la efectividad de los docentes (Jacques y col., 2016) y los factores que inciden en su desarrollo (Kenjarski, 2015; Sawalhi y Sellami, 2021; Zhang y col., 2021). Para recabar dicha información, se han empleado diversas técnicas: cualitativas, como

entrevistas y grupos de enfoque; las encuestas son de las más frecuentes, mientras que la observación ha sido la menos utilizada.

A diferencia de Estados Unidos, si bien, en América Latina el término de liderazgo ha ganado atención en las últimas décadas, aún existe una comprensión limitada sobre la importancia que juega el papel del liderazgo docente (Pineda-Báez, 2021). En este sentido, el país norteamericano tiene cierta ventaja sobre el conocimiento acumulado en torno a su conceptualización, ya que: “las políticas públicas en México, España y Colombia comparten la falta de un discurso relacionado con el liderazgo docente” (Fierro-Evans y Fortoul-Olliver, 2021: 165).

Wenner y Campbell (2017) señalaron que, el liderazgo del profesor continuará sufriendo de aquellos factores que inhiben su efectividad si los investigadores no llenan los vacíos en el conocimiento con evidencia científica.

En cuanto al contexto mexicano, se han encontrado algunas investigaciones alrededor de este tema, sin embargo, en su mayoría se han enfocado al nivel medio y medio superior y en el rol del director más que en el de los docentes como líderes (Aravena y col., 2020). Algunos estudios indican que, en el país, la idea de líder sigue recayendo en la figura del director (González y col., 2019; Pineda-Báez, 2021) y la idea de un liderazgo distribuido aún causa conflicto para algunos grupos de docentes, aceptando así, su condición de subordinados (Gratacós y col., 2021).

Este trabajo tuvo por objetivo establecer los factores que pueden considerarse como inhibidores o facilitadores en el desarrollo del liderazgo docente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, con características del paradigma constructivista (Guba y Lincoln, 1994), se realizó en el periodo entre enero de 2020 a junio de 2021. Se recurrió al enfoque cualitativo con la intención de tener una me-

mejor comprensión del fenómeno y las percepciones humanas sin buscar generalidades (Guba y Lincoln, 1994). Sin embargo, se empleó un diseño de estudio de caso con métodos mixtos (Stake, 2005; Creswell, 2012), ya que al utilizar enfoques tanto cuantitativo como cualitativo en el estudio, se logra una comprensión más completa de los problemas de investigación (Creswell y Plano-Clark, 2011).

Participantes

La muestra estuvo compuesta por toda la plantilla docente (18 maestros) de una escuela primaria pública del oriente de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Es importante aclarar que, aunque todos los docentes aceptaron participar al inicio de la investigación, uno de ellos optó por no continuar. Dicho docente respondió únicamente a la entrevista, pero no a los cuestionarios.

También se tuvieron pláticas informales con la presidenta de la sociedad de padres de familia, 2 administrativos de dicha escuela y 2 docentes.

Consideraciones éticas

Se solicitó un permiso por escrito al director del plantel para realizar observación participante y platicar con los integrantes de la comunidad escolar. Durante las entrevistas personales, se entregó el consentimiento informado a cada uno de los entrevistados y se recopilaron las autorizaciones. Para fines de anonimato y confidencialidad se cambiaron los nombres de todos los informantes.

Obtención de la información

La recolección de datos cualitativos comenzó a partir de enero de 2020; la primera observación participante se realizó en una sesión de Consejo Técnico Escolar (CTE) donde participó el director de la escuela y docentes de la plantilla. La segunda se realizó una semana después de la primera observación en las instalaciones de la escuela primaria. En esa ocasión se tuvo la oportunidad de sostener pláticas informales con un integrante del personal administrativo de la escuela, un docente de inglés y con la presi-

dentada de la sociedad de padres de familia. La tercera observación se llevó a cabo 2 semanas después de la segunda, y en esa ocasión el director permitió presenciar 2 clases de docentes diferentes y de tener una plática informal con él y con una docente de sexto grado. Las jornadas de observación se realizaron en un horario de 8:00 a.m. a 12:00 p.m. aproximadamente, y en ellas se empleó un diario de campo para realizar las anotaciones de lo observado y platicado de manera informal.

En Yucatán, como parte de las estrategias de prevención, a partir del martes 17 de marzo de 2020, se implementó un periodo de suspensión de actividades escolares para reducir el riesgo de contagios por COVID-19 (Gobierno del Estado de Yucatán, 2020). Debido a lo anterior, se decidió modificar las técnicas planeadas para la investigación (observaciones, grupo de enfoque y encuestas en papel). En su lugar, se optó por sustituir el grupo de enfoque por entrevistas individuales y la encuesta en papel por la encuesta on-line; y dejaron de realizarse observaciones participantes.

Antes de llevar a cabo las entrevistas y las encuestas se contactó mediante llamada telefónica y WhatsApp a los participantes del estudio, y posterior a su autorización, se les enviaron dos baterías de instrumentos que fueron administrados por medio de Formularios Google. El tiempo para responder ambos fue de tres semanas, durante las cuales se envió un mensaje recordatorio al finalizar la primera y segunda semana.

El primer formulario contenía los siguientes apartados: 1) consentimiento informado, 2) datos personales, en el que se recolectaron las variables: sexo, especialidad, grado académico, edad, años de servicio, tipo de contratación y antigüedad en la escuela; 3) la entrevista estructurada, con las siguientes preguntas abiertas: ¿Cuáles considera usted, que son las situaciones o factores que le impiden ejercer su liderazgo? y Usted, ¿Cuáles considera que son las situaciones o factores que le facilitan ejercer su liderazgo?

En el segundo formulario se enviaron dos cuestionarios: la traducción y adaptación del Teacher leadership inventory (Inventario del liderazgo docente) y Factores que facilitan o inhiben el desarrollo del liderazgo docente.

Inventario del liderazgo docente

La versión original de este instrumento fue elaborada en inglés por Angelle y De-Hart (2011), y para fines de esta investigación, fue traducida, adaptada y validada por Achach-Sonda (2021). Para llevar a cabo la traducción y adaptación del instrumento se siguió la metodología y recomendaciones propuestas por Van-de-Vijver (2015).

Este proceso consistió en cuatro fases:

Fase 1. Traducción literal: la elaboró una experta en el idioma, no relacionada con la investigación.

Fase 2. Juicio de expertos: se realizó con docentes de la ciudad de Mérida, con la intención de valorar el contenido, la comprensibilidad y pertinencia de cada ítem; así como para contextualizar algunas palabras que no eran congruentes en la traducción literal. Para seleccionar a los expertos se invitó a alrededor de 20 docentes, y para elegirlos, se utilizó como criterio que tuvieran al menos tres años de experiencia docente y que laboren en el nivel primaria. Al final, solamente 14 accedieron a participar.

Fase 3. Validación de constructo convergente: participaron 29 maestros de Mérida; el muestreo fue intencional, empleando la técnica de bola de nieve (García-González y Sánchez-Sánchez, 2020).

Fase 4. Validación por análisis factorial exploratorio: el muestreo fue no probabilístico por conveniencia; los criterios considerados fueron, ser docentes de primaria y que se encontraran laborando en ese momento. Se realizó con base en las respuestas de 100 participantes.

Los criterios considerados incluyeron, en primer lugar, que fueran docentes de primaria y,

en segundo lugar, que se encontraran laborando en ese momento. Se confirmó que el instrumento adaptado está constituido por tres factores (Oportunidades para ejercer el liderazgo, $\alpha = 0.796$; Compromiso para ejercer el liderazgo $\alpha = 0.807$; El maestro supra practicante $\alpha = 0.783$), a diferencia del original que está constituido por cuatro factores. Se mantuvieron los 17 ítems que originalmente se tenían. La prueba piloto se realizó entre los meses de abril a julio de 2020. Los 100 participantes de la prueba piloto tuvieron un promedio de tres semanas para responder.

Se empleó el método de extracción de mínimos residuales con rotación oblicua (oblimin), 16 de los 17 ítems se agruparon en tres factores cuyos autovalores son de 5.107 (factor 1), 1.032 (factor 2) y 0.919 (factor 3) (Tabla 1) y en total explicaron una varianza de 45.3 % (factor 1 = 19.4 %; factor 2 = 14.9 %; factor 3 = 10.9 %). El ítem 1 no cargó en algún factor, así que se considera independiente. Así mismo, en dicha tabla se presenta la definición operacional que constituye a cada factor.

Factores que facilitan o inhiben el desarrollo del liderazgo docente

La encuesta incluía 29 ítems, divididos en tres secciones: Factores dentro del contexto escolar, Factores externos al contexto escolar y Factores propios del docente.

El nombre de las secciones se consideró con base en la información localizada en la literatura, específicamente de los resultados de Zinn (1997). Las preguntas tenían una respuesta cualitativa dicotómica con opciones de respuesta: sí o no y se codificaron cuantitativamente de la siguiente forma: (sí = 1; no = 0).

El instrumento no mide algún constructo en particular, si no que valora la presencia o ausencia de situaciones que ocurren alrededor del docente y que, de acuerdo con la literatura, podrían estar asociadas al liderazgo docente, ya sea de forma positiva o negativa. Pasó por un juicio de expertos, que fueron los

■ **Tabla 1. Indicador de confiabilidad por factor e ítem del instrumento Inventario del liderazgo docente.**
 Table 1. Reliability indicator by factor and item of the Teacher Leadership Inventory.

Definición operacional	Ítems	Alfa de Cronbach
Factor 1. Oportunidades para ejercer el liderazgo (6 ítems) ($\alpha = 0.796$)		
Se refiere a todas las acciones y actitudes que no dependen del docente sino de los administradores (director o supervisor) para delegar y transferir ciertas funciones. Abarca la voluntad de los administradores para compartir el liderazgo y permitir a los docentes participar en las tomas de decisiones, asumir responsabilidades y nombrarlos líderes. Así mismo se refiere al apoyo que brindan a los profesores.	14. Tengo la oportunidad de participar en tomas de decisiones importantes incluso cuando no tengo una posición oficial de liderazgo.	0.86
	12. El director responde a mis preocupaciones e ideas.	0.86
	11. Los administrativos están de acuerdo cuando asumo responsabilidades de liderazgo.	0.86
	16. Me proporcionan tiempo (antes, durante o después de la jornada escolar) para colaborar con otros maestros sobre asuntos relevantes para la enseñanza y el aprendizaje.	0.86
	15. El director consulta a todos los maestros por igual para aportar en la toma de decisiones.	0.87
	17. He sido nombrada o nombrado por el director alguna vez para ocupar algún puesto o actividad de liderazgo.	0.86
Factor 2. Compromiso para ejercer el liderazgo (7 ítems) ($\alpha = 0.807$)		
Los siete elementos de este factor se centran en las acciones de los profesores para comprometerse e involucrarse en responsabilidades de liderazgo. Se refiere al nivel de aprovechamiento de las oportunidades que los administradores les brindan para participar en la toma de decisiones, en las formas de mejorar la escuela y el aprendizaje, así como también en la influencia que tienen en sus colegas que les permite apoyarlos y aconsejarlos.	4. Platico con otros maestros formas de mejorar el aprendizaje de los estudiantes.	0.86
	3. Comparto nuevas ideas con otros maestros para enseñar, ya sea a través del grado educativo, departamento, reuniones escolares, desarrollo profesional, entre otros.	0.87
	6. Me involucro activamente en la búsqueda de maneras para mejorar la escuela como un conjunto.	0.86
	5. Me involucro en la toma de decisiones acerca de actividades como el desarrollo profesional de los profesores, proyectos curriculares pedagógicos, actividades artísticas, actividades deportivas.	0.86

continúa...

	2. Ofrezco apoyo voluntariamente si otros maestros tienen dudas acerca de cómo enseñar un nuevo tema o habilidad.	0.86
	7. Me mantengo actualizado en la investigación educativa del nivel o asignatura.	0.87
	13. Planeo el contenido de las actividades de aprendizaje profesional en mi escuela.	0.86
Factor 3. El maestro supra practicante (3 ítems) ($\alpha = 0.783$)		
Este factor mide la percepción de los docentes hacia su involucramiento en actividades que se desarrollan fuera de su horario laboral. Son maestros que no les molesta trabajar horas extras con la intención de mejorar y ayudar para tener mejores resultados escolares.	9. Me quedo voluntariamente después del horario escolar para ayudar a otros maestros que necesitan apoyo.	0.87
	8. Me quedo voluntariamente después del horario escolar para trabajar en actividades de mejora escolar.	0.87
	10. Me quedo voluntariamente después del horario escolar para apoyar a administrativos (ejemplo: director, supervisor) si necesitan ayuda.	0.86
Ítem independiente		
	1. Los maestros nos apoyamos mutuamente cuando tenemos algún estudiante con problemas de comportamiento en el salón de clases.	0.87

mismos 14 participantes que revisaron el instrumento anterior.

Se calcularon las puntuaciones obtenidas en cada sección del instrumento, haciendo la sumatoria de los valores de los ítems correspondientes a cada sección y de cada participante. En la Tabla 2, se describen las variables y los ítems que les corresponden dentro del instrumento, así como, la forma en que está conformada cada una de las tres secciones. Las preguntas de ambos cuestionarios (Inventario del liderazgo docente y Factores que facilitan e inhiben el desarrollo del liderazgo docente) se hicieron con respecto al último ciclo escolar (2019 a 2020).

Análisis de la información cualitativa

Para garantizar la validez de la información recabada se realizaron dos diferentes tipos de triangulación de datos: por técnicas y por participantes (Hackfort y Birkner, 2003; Stake, 2005; Creswell, 2012). Para el análisis de datos cualitativos, primero se hizo la transcripción de las entrevistas (Stake, 2005); luego se siguió el método propuesto por Creswell (2014), que inicia con el procesamiento de los datos, se continúa con la lectura, la codificación y se concluye con la interpretación de los significados. Para la codificación de datos (abierta y axial), desarrollo de temas y la comparación constante, se siguieron las recomendaciones de Schettini y Cortazzo (2015).

■ **Tabla 2. Variables del instrumento Factores que facilitan e inhiben el liderazgo docente.**
Tabla 2. Instrument variables Factors that facilitate and inhibit teacher leadership.

Variable en el análisis	Ítem dentro del instrumento
Factores dentro del contexto escolar	
Apoyo de colegas	1. Mis colegas me apoyaron cuando tuve alguna iniciativa.
Ayuda de director	2. He recibido ayuda del director cuando se me presenta alguna dificultad en el salón de clases.
Respaldo del director	3. El director me ha respaldado cuando se presenta un conflicto con algún padre de familia.
Capacitación	4. He recibido capacitación dentro de la escuela por parte del/a director/a, de la SEP o de alguna dependencia externa.
Flexibilidad de horarios, asignaturas y actividades	5. He tenido la flexibilidad de adecuar mis horarios, asignaturas y actividades que trabajo en el día.
Apoyo del director en emprendimiento	6. Cuando quise emprender un proyecto innovador, mi director me ha brindado su apoyo.
Espacios físicos para actividades colegiadas	7. En la escuela, hemos contado con algún espacio físico para llevar a cabo actividades colegiadas.
Necesidades de los alumnos	8. He escuchado las necesidades de mis alumnos para tomar decisiones y redirigir mi práctica docente.
Tiempo para realización de actividades planificadas	9. He tenido tiempo de realizar todas mis actividades planificadas.
Tiempo para tutoría individual a estudiantes	10. He tenido tiempo suficiente en mi jornada laboral para proporcionarle tutoría individual a aquellos alumnos que requieren más apoyo.
Cantidad de comisiones en el PEMC	11. He tenido a mi cargo muchas comisiones en el Programa Escolar de Mejora Continua (PEMC).
Factores externos al contexto escolar	
Apoyo de su familia para la preparación profesional	12. Mi familia me ha animado a seguirme preparando profesionalmente.
Notas periodísticas sobre el trabajo docente	13. He leído notas periodísticas donde sobresale el trabajo que los docentes realizan para mejorar la educación.
Reconocimiento por parte de padres de familia	14. Algún padre de familia se me ha acercado para felicitarme por los logros de su hija/o.
Compromisos familiares	15. Los compromisos familiares han sido un factor para no poder terminar los pendientes de la escuela.
Asuntos familiares	16. He rechazado oportunidades de crecimiento profesional debido a asuntos familiares.

continúa...

Desestimación hacia el docente por medios de comunicación	17. Los medios de comunicación han realizado publicaciones que desestiman la labor docente.
Quejas de los padres de familia	18. Los padres de familia han presentado alguna queja contra mí y eso ha afectado mi trabajo.
Factores propios del docente	
Identidad de género	19. He tenido problemas para llevar a cabo mi labor docente debido a mi identidad de género.
Problemas de salud	20. He tenido problemas de salud que afectan mi desempeño laboral en la escuela.
Iniciativa para realización de proyectos innovadores	21. He tenido la iniciativa para llevar a cabo algún proyecto de innovación que impacte en la comunidad escolar.
Sentimiento de ser apreciado	22. Me he sentido apreciado por mi comunidad escolar.
Reconocimiento de la importancia de su labor	23. Creo que mi trabajo es importante para la mejora de la calidad educativa.
Apego ético a las leyes de su trabajo	24. He realizado mi trabajo de acuerdo con lo establecido en las leyes, planes y programas que lo rigen.
Apreciación a su trabajo	25. Me he sentido orgulloso/a del trabajo que realizo.
Experiencia en su puesto	26. Los años que llevo trabajando me han servido para mejorar mi práctica.
Agotamiento físico	27. Me he sentido agotado/a físicamente por mi trabajo.
Incomodidad con roles de liderazgo	28. No me he sentido a gusto cuando me han puesto a cargo de alguna tarea o actividad.
Zona de confort	29. Prefiero realizar las mismas actividades cada ciclo escolar.

Después de leer y codificar las respuestas de las entrevistas, se agruparon en dos temas: (1) Factores que facilitan el liderazgo docente y (2) Factores que inhiben el liderazgo docente. Para determinar las secciones de los temas, se retomó la propuesta de Zinn (1997): Factores dentro del contexto escolar, Factores externos al contexto escolar; Factores propios del docente. Los códigos surgieron a partir de la triangulación de la información proporcionada por los participantes y con base en las variables encontradas en otros estudios similares en la literatura (Zinn, 1997; Cosenza, 2015;

Kenjarski, 2015; Mungarro y col., 2017; Gordon y Solis, 2018; INEE, 2018; González y col., 2019; Cisneros-Cohernour, 2021; Webber y Nickel, 2021). Para que se conformara cada uno de los temas, categorías y variables, se tomaron en cuenta dos condiciones: la frecuencia con la que los participantes reportaron o mencionaron cada una de las variables, es decir, que al menos dos participantes aludieran al mismo código. O bien, que el código mencionado por un participante también fuera consistente con alguno de los resultados obtenidos con otra técnica, ya sea cualitativa o cuantitativa.

Análisis de la información cuantitativa

Caracterización del nivel del liderazgo docente

Las respuestas a los 17 ítems del instrumento Inventario del liderazgo docente se codificaron asignándole un valor cuantitativo mediante la siguiente escala: Nunca = 1; Pocas veces = 2; Algunas veces = 3; Siempre = 4). A partir de las respuestas que los docentes proporcionaron en el instrumento, se calcularon las puntuaciones que cada uno obtuvo y con base en ellas, se dividió al grupo a partir de la identificación de terciles; posteriormente, se eligieron el tercil inferior y el superior, es decir, el conjunto cuya puntuación fue de 51 puntos o menos (tercil 1) y el conjunto de cuya puntuación fue de 56 puntos o más (tercil 3). De esta forma, se conformaron el grupo de docentes con liderazgo bajo (tercil 1) y el grupo de docentes con liderazgo alto (tercil 3), respectivamente.

Análisis de comparación de grupos

Se utilizó la prueba no paramétrica U de Mann Whitney para hacer el análisis de comparación de dos grupos de datos independientes (docentes con nivel de liderazgo alto y docentes con nivel de liderazgo bajo) respecto a la puntuación obtenida en las variables de tipo intervalo: Factores dentro del contexto escolar, Factores externos al contexto escolar y Factores propios del docente. Se usó para comprobar la heterogeneidad entre las medianas de las dos muestras. Se eligió ésta, dado que las variables son de tipo intervalo y se cumplía también con el supuesto de tener grupos independientes (Howell, 2014).

El índice Ji cuadrada o χ^2 se realizó para probar diferencia entre los dos grupos de docentes conformados y las variables de tipo nominal, es decir, cada uno de los ítems que conforman la encuesta Factores que apoyan o inhiben el desarrollo del liderazgo docente. Esta prueba se empleó dado que el nivel de todas las variables que se analizaron se encontraban en un nivel categórico y no se cumple con el supuesto de distribución normal.

RESULTADOS

La caracterización de la población del estudio (Tabla 3) mostró que en su mayoría eran

mujeres, predominaban los docentes frente a grupo, con nivel licenciatura, y más de la mitad no tenía más de 5 años laborando en el plantel. En su mayoría contaban con una antigüedad de 14 a 29 años de servicio. La edad más frecuente se encontraba entre 47 a 51 años. Todos tenían plaza base.

Factores que facilitan el liderazgo docente

En esta categoría surgieron solo factores dentro del contexto escolar y los propios del docente, quedando omitidos los externos al contexto escolar, por no haber sido señalados por al menos 2 docentes (Tabla 4).

Factores dentro del contexto escolar

Apoyo existente entre los “maestros de apoyo”

Un docente de apoyo refirió que parece existir una división marcada entre ambos grupos, por ello, señaló como un factor que facilita su liderazgo “el apoyo que tenemos entre los maestros de las materias de apoyo [...] entre nosotros sí podemos trabajar de manera armónica y empática” (Jaime, docente de la primaria, Comunicación personal, 14 de octubre, 2020).

El Instituto Nacional de la Evaluación para la Educación (INEE, 2019) define, como maestros de apoyo a todos los docentes que imparten clases por horas de materias como inglés, computación, educación artística y educación física. En este grupo también se incluyen a los profesores de USAER (Unidad de Servicios de Apoyo a la Educación Regular). El resto de los profesores son denominados como maestros de grupo o maestros frente a grupo, en el entendido de que son aquellos responsables de un solo grupo de estudiantes e imparten las asignaturas de español, matemáticas, ciencias naturales, historia, geografía, cívica y ética, entre otras.

El director como agente de apoyo

En este estudio de caso se observó y escuchó, de manera constante, el compromiso del director con la educación y su influencia estratégica para que los maestros desarrollasen

■ **Tabla 3. Características de los docentes participantes.**
Table 3. Characteristics of the participating teachers.

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Especialidad		
Docente frente a grupo	13	72.2 %
Docente de apoyo (inglés, educación artística, cómputo)	5	27.8 %
Sexo		
Masculino	6	33.3 %
Femenino	12	66.7 %
Grado académico		
Licenciatura	13	72.2 %
Maestría	4	22.2 %
Normal básica	1	5.6 %
Edad		
31 a 36 años	2	11.1 %
37 a 41 años	2	11.1 %
42 a 46 años	4	22.2 %
47 a 51 años	6	33.3 %
52 a 56 años	4	22.2 %
Años de servicio		
5 a 13 años	3	16.7 %
14 a 21 años	6	33.3 %
22 a 29 años	6	33.3 %
30 a 37 años	3	16.7 %
Tipo de contratación		
Plaza base	18	100 %
Antigüedad en la escuela		
2 a 5 años	10	55.6 %
6 a 8 años	2	11.1 %
9 a 11 años	3	16.7 %
12 a 14 años	3	16.7 %

■ **Tabla 4. Factores dentro del contexto escolar y propios del docente que facilitan el liderazgo docente.**
Table 4. School context and teacher's factors that facilitate teacher leadership.

Dentro del contexto escolar	Propios del docente
<ul style="list-style-type: none"> • El apoyo de los compañeros • El apoyo entre maestros de apoyo • El director como agente de apoyo • Empatía • Buena comunicación (asertiva) entre colegas • Colaboración • Que los demás tengan apertura y escucha a propuestas e ideas • Ambiente de oportunidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Interés • Compromiso del profesor • Deseos de aprender, de escuchar • Empatía • Responsabilidad • Conocimiento de diversos temas • Tener dominio de palabra • Poder centrar la atención de un auditorio • Crear interés de los demás • Madurez • Forma de expresarse (Amabilidad, carisma) • Disposición • Iniciativa • Facilidad de adaptación • Actitud (Ser motivadora) • Experiencia laboral • Preparación • Ser motivadora

sus habilidades como líderes. Varios integrantes de la comunidad escolar estuvieron de acuerdo en que este actor dirige a la escuela hacia el éxito, les otorga confianza a los maestros, tiene apertura para escuchar y dialogar y soluciona conflictos de manera asertiva. Así mismo, se preocupa para brindar las herramientas y recursos esenciales para que a los maestros no les falte nada y puedan ofrecer a sus alumnos más y mejores oportunidades de aprendizaje. En palabras de una integrante del equipo administrativo:

“El director le proporciona material y equipo a todos los maestros para que no tengan que estar comprando de su dinero. A cada uno les entrega plumones y borrador para pintarrón, una memoria USB (Universal Serial Bus), hojas en blanco, una caja de lápices y plumas, papel bond, entre otros materiales” (Lupita, personal administrativo de la primaria, Comunicación personal, 7 de febrero, 2020).

Lo anterior, se confirma con la infraestructura observada en las visitas a la escuela, en donde se apreció que cada salón cuenta con un proyector, pantalla de protector, aire acondicionado, impresora, entre otros materiales poco usuales en escuelas públicas.

Ambiente de oportunidades

En las entrevistas y observaciones, se documentó que los docentes opinan que, trabajar en una escuela en donde prevalece el respeto, se tiene acceso a diversos recursos, se facilita el desarrollo de nuevas habilidades y existen relaciones positivas podría ser uno de los factores que permita ejercer el liderazgo.

En una de las pláticas informales, con una de las docentes de grupo, ella comentaba que: “el ambiente escolar es muy agradable, los maestros tienen buena relación entre ellos y con el director, aunque aclaró que ésta es estrictamente profesional, y que existe apoyo mutuo

entre docentes” (Dulce, docente de la primaria, comunicación personal, 21 de febrero, 2020), lo que le permite a la maestra, sentirse a gusto, recibir retroalimentación de su trabajo y así mejorar su calidad de enseñanza y el aprendizaje de sus alumnos y alumnas.

Factores propios del docente

Compromiso del profesor

Este grupo de maestros coincidió en relacionar su liderazgo con el compromiso que demuestran. Fue posible observar y escuchar opiniones acerca de la calidad de trabajo que realizan los profesores en dicha escuela, tanto por parte de los administrativos como de la presidenta de la sociedad de padres de familia. Uno de los comentarios positivos que surgió fue el siguiente:

“Los maestros son muy buenos, al menos los que les ha tocado a mis hijos. Cumplen con su trabajo, califican la tarea, cuando algo va mal con los niños o hay algún incidente, te mandan a llamar y te lo dicen. Eso es bueno, porque así, siempre estamos enterados de lo que pasa con nuestros hijos y así podemos ayudarlos más” (Presidenta de la sociedad de padres de familia, Comunicación personal, 7 de febrero, 2020).

En la cita anterior, también se destaca la correspondencia entre padres de familia y maestros, así como el interés y preocupación para el bien de sus hijos y alumnos. Uno de los profesores de apoyo, refirió tener una buena impresión de los maestros: “Los maestros de aquí son muy responsables, cada vez que entro a los salones, los estudiantes están sentaditos haciendo tarea, los niños siempre se encuentran trabajando temas del currículo oficial, a eso le adjudica que los niños sean muy educados y tengan buen nivel de aprovechamiento [...]. Además, en las reuniones de trabajo, percibe que siempre que el director informa sobre algún curso que está ofreciendo la Secretaría de Educación Pública (SEP), los maestros muestran interés por estar siempre actualizados, se interesan, piden información y en muchas oca-

siones los toman y solicitan al director nuevos cursos de formación” (Jaime, Comunicación personal, 7 de febrero, 2020).

Factores que inhiben el liderazgo docente

En esta categoría surgieron los tres factores (Tabla 5), tomados como base del estudio de Zinn (1997).

Factores dentro del contexto escolar

Riesgos que implica el puesto oficial de líder

Al cuestionar a los maestros acerca de cuál sería una situación que le impida ejercer su liderazgo, una de ellas respondió que escalar al puesto de dirección tiene ciertos inconvenientes; en sus palabras expresó lo siguiente: “[...] ya que el subir de nivel para ser director, por ejemplo, me tendría que ir a otro municipio y siempre mandan a los nuevos a lugares lejanos” (Patricia, docente de la primaria, Comunicación personal, 1 de octubre, 2020). En ese sentido, iniciar un cargo oficial de liderazgo implica cierto retroceso en el sistema, situación que desanima a los docentes para postularse como candidatos a la promoción de una posición jerárquicamente superior.

Falta de apoyo y empatía a los colegas de apoyo. Se entrevistó a cuatro docentes de apoyo. Pero en particular, uno de ellos indicó que: “He tenido enfrentamientos con compañeros responsables de grupos y con el director debido a que las decisiones se toman regularmente cuando no estamos presentes en la escuela” (Jaime, docente de la primaria, Comunicación personal, 7 de febrero, 2020). Los maestros de apoyo van determinados días de la semana y por algunas horas, a diferencia de los docentes frente a grupo que cubren la jornada completa. Lo que, a su vez, tiene como consecuencia que no se enteren de algunos avisos o actividades que se llevan a cabo, por lo que sienten que no son tomados en cuenta. Al respecto, también opinó una docente de apoyo, cuando se le preguntó cuál sería un factor que inhiba su liderazgo, dijo:

“Me falta [...] tener un cargo más importante para mis compañeros, pues ser de apoyo

■ **Tabla 5. Factores dentro y externos del contexto escolar y propios del docente que inhiben el liderazgo docente.**

Table 5. School context internal and external factors and teacher’s factors that inhibit teacher leadership.

Dentro del contexto escolar	Externos al contexto escolar	Propios del docente
<ul style="list-style-type: none"> • Envidia • Riesgos que implica el puesto oficial de líder • Falta de antigüedad del maestro en la escuela • Falta de apoyo y empatía a los colegas de apoyo • Conflictos con las autoridades educativas y jefes inmediatos • Actitud apática del grupo • Falta de compromiso • Falta de colaboración y apoyo • Falta de empatía por parte del líder • Carga administrativa • Saturación de grupos • El tiempo limitado 	<ul style="list-style-type: none"> • Los hijos 	<ul style="list-style-type: none"> • No tener voluntad, interés, asertividad, manejo de emociones. • No tener un cargo importante dentro de la escuela también se le puede llamar exclusión. • Falta de seguridad • Individualismo • Falta de interacción con los compañeros • Apatía • No tener prioridad de ser líder [de otros] sólo de los alumnos • Trabajar de una forma estricta, exigente y disciplinada de trabajar • Ver el bienestar propio • No pedir opiniones • El carácter • Ser desorganizado • Incomodidad con el puesto de líder

es una desventaja en esta escuela” (Claudia, docente de la primaria, Comunicación personal, 12 de octubre, 2020). Durante una de las visitas se observó que hace falta coordinación entre ambos grupos de maestros, ya que a veces los maestros de grupo les dan a los niños ciertas indicaciones durante la hora del maestro o maestra de apoyo, lo cual genera malentendidos entre ellos.

Conflictos con las autoridades educativas y jefes inmediatos. Los administrativos como el director y el supervisor pueden ser agentes de apoyo para los docentes, pero también, pueden ser una variable que inhiba el desarrollo de su liderazgo. Algunos profesores de esta escuela han tenido experiencias negativas con sus superiores, ya que señalaron que en ocasiones tienen enfrentamientos o desacuerdos

con sus autoridades educativas y jefes inmediatos, lo cual les causa cierta impotencia. Dicha situación se refleja de manera desfavorable en el ejercicio de su liderazgo. Otro actor educativo mencionado fue el supervisor; referente a él, indican que no asiste regularmente a la escuela, no muestra preocupación ni interés por el trabajo docente. Por último, algunas personas de la comunidad escolar perciben como un problema el hecho de que la Secretaría ya no suministre recursos de limpieza a la escuela. Al respecto, una madre de familia comentó: “muchos no lo saben, pero la SEP ya no da nada, la escuela tiene que ver de dónde saca dinero para comprar detergente, escobas, reparar las cosas... se gasta mucho dinero” (Presidenta de la sociedad de padres de familia, Comunicación personal, 7 de febrero, 2020).

La carga administrativa ha sido una constante que también se lee en publicaciones de redes sociales y a la que gran parte del magisterio le genera inquietud (Mungarro y col., 2017). En una reunión de CTE, los docentes discutían acerca de que es complicado, para ellos, pertenecer a una Comunidad de Aprendizaje Profesional, debido a que se sienten cargados de funciones de tipo administrativas, como llenar formatos de estadística de los alumnos. Ello les resta tiempo para reunirse con sus colegas a discutir acerca de formas para mejorar los resultados de los alumnos y de la escuela.

Saturación de grupos

Se refiere a la cantidad de alumnos y alumnas que se encuentran inscritos en un mismo grupo y que excede a la cantidad recomendable; esta problemática aparentemente condiciona el tipo de enseñanza o dedicación a los estudiantes. Los maestros expresaron en una reunión que al tener muchos alumnos en sus salones sienten que tienen más trabajo y los pendientes no se terminan, pues deben preparar más material y desarrollar actividades para aquellos alumnos rezagados, porque no les da tiempo de atenderlos de manera individual. Cuando se cuestionó a una docente acerca de cuál consideraba que era una dificultad para desarrollar su trabajo, ella refirió que:

“Hay mucha demanda en la escuela, los grupos rebasan los cuarenta alumnos y ya no hay suficiente espacio ni sillas en los salones; la maestra refirió que a veces se le hace complicado realizar actividades en equipos u otras actividades que permitan la movilización de los estudiantes” (Dulce, docente de la primaria, Comunicación personal, 21 de febrero, 2020).

Lo anterior, fue consistente con lo que la presidenta de la sociedad de padres de familia señaló como una circunstancia negativa que percibía de la escuela.

De la saturación de grupos se desprende la cuestión del tiempo limitado. Al tener muchos

alumnos para atender, los docentes sienten que la jornada escolar no es suficiente para satisfacer todas las necesidades de los niños y niñas del grupo, además de todas las tareas administrativas que requieren cumplir. Una profesora expresó lo siguiente:

“A veces quiero trabajar con algún niño que está atrasado en alguna materia: lectura, escritura, matemáticas, pero no me da tiempo dentro del horario, por lo que a veces le tengo que pedir al niño que se quede mientras los demás van a educación física, biblioteca o cómputo, pero sé que también está mal, porque lo que los otros maestros enseñan también es importante para su formación” (Dulce, docente de la primaria, Comunicación personal, 21 de febrero, 2020).

Factores externos del contexto escolar

Los hijos

El trabajo docente por naturaleza requiere dedicar esfuerzo fuera del aula para planear clases, preparar materiales, calificar trabajos, entre otras actividades. El tiempo que empleen en ello depende de cada uno. Los maestros advierten que tener una posición de liderazgo exige el cumplimiento de aún más responsabilidades de las ya habituales; si a esto se le suma sus responsabilidades como ser padres o madres de familia, los maestros sienten la necesidad de escoger entre una de las dos tareas (ser líder/ser padre o madre de familia). Una de las maestras de dicha escuela comentó lo siguiente al respecto:

“Tengo capacidades y habilidades de líder, fui directora comisionada en la cual me desempeñé muy bien de acuerdo a mi autoridad inmediata superior. Pero ahora, por el estudio de mi hija, prefiero estar centrada en mi trabajo como docente en la institución” (Patricia, docente de la primaria, Comunicación personal, 1 de octubre, 2020).

Factores propios del docente

Individualismo

Es una problemática que da como resultado el escaso trabajo en equipo, por lo tanto, la

pérdida de los beneficios que se obtienen a partir del mismo. El trabajo colaborativo entre profesores y profesoras estimula el aprendizaje profesional, la comunicación asertiva y fortalece las relaciones sociales. Como consecuencia de este aislamiento, el docente no interactúa con el resto de sus colegas, por consiguiente, el trabajo en equipo se ve limitado y ello se convierte en una barrera para demostrar su liderazgo. Una de las razones por las que ocurre es porque el docente no está interesado, prioriza el trabajo dentro del aula, es decir, el proceso de enseñanza-aprendizaje, esto según lo que mencionaron varios de los entrevistados. Por ejemplo, 2 participantes del estudio refirieron lo siguiente:

“Le doy prioridad a mi trabajo con los niños y no interactúo demasiado con mis compañeros y compañeras” (Dulce, docente de la primaria, Comunicación personal, 21 de febrero, 2020); “la situación es que estoy enfocada en el proceso de enseñanza-aprendizaje de mis alumnos, no es prioridad para mí ser líder, únicamente de mis alumnos” (Patricia, docente de la primaria, Comunicación personal, 1 de octubre, 2020).

Caracterización de docentes con liderazgo bajo o alto

La caracterización de ambos grupos (bajo nivel y alto nivel de liderazgo) a partir de las variables: sexo, especialidad, grado académico y tipo de contratación se presentan en la Tabla 6. Se observa que 7 de los entrevistados presentaron alto liderazgo y 7 bajo liderazgo.

Cuantitativos

En cuanto a los factores que inhiben o facilitan el liderazgo docente, existe una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre el nivel de liderazgo docente, bajo o alto, y los factores dentro del contexto escolar (Tabla 7), por lo que, en su conjunto, acciones (variables) como el apoyo de los colegas, la ayuda y el respaldo del director, la capacitación, la flexibilidad de horarios, asignaturas y actividades, contar con espacios físicos para

actividades colegiadas, atender las necesidades de los alumnos, contar con tiempo para realizar las actividades de la planeación y para brindar tutoría individual a los estudiantes, así como la cantidad de comisiones otorgadas, ofrecen a los maestros la oportunidad de ejercer su liderazgo.

Por otra parte, no se encontró ninguna diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), entre el nivel de liderazgo docente, bajo o alto, y las otras dos variables: Factores externos al contexto escolar y Factores propios del docente (Tabla 7).

Para identificar específicamente en qué variables de la lista de cotejo “Factores que apoyan o inhiben el desarrollo del liderazgo docente” existe una diferencia estadísticamente significativa con relación al nivel de liderazgo docente (alto o bajo), se realizó una prueba Ji cuadrada. Tal como se muestra en la Tabla 8, en 9 variables no se pudo calcular el valor de χ^2 , dado que todos los participantes de ambos grupos respondieron de la misma manera. Así mismo, solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el nivel de liderazgo docente (bajo/alto) y dos de las variables que corresponden a la sección Factores propios del docente: iniciativa para realización de proyectos innovadores ($\chi^2 = 7.14$; gl = 1; $P < 0.05$), e incomodidad con roles de liderazgo ($\chi^2 = 7.78$; gl = 1; $P < 0.05$). En ambos casos se puede deducir que el nivel de liderazgo (alto/bajo) se asocia a dos características de los docentes, estas son, la capacidad del maestro para emprender proyectos novedosos y la sensación que le genera hacerse cargo de alguna actividad de liderazgo. Respecto a ello, en la Tabla 8 se puede apreciar que el 86 % de los docentes que tuvieron una puntuación alta en la escala de liderazgo docente, refieren que han tenido la iniciativa de realizar algún proyecto de innovación que impacte en la comunidad escolar en el último ciclo escolar; en contraparte, solamente el 14 % de los docentes con puntuación baja de liderazgo docente afirmó haber realizado dicha acción. El

■ **Tabla 6. Caracterización de los dos grupos de docentes a partir de su nivel de liderazgo.**
Table 6. Characterization of the two groups of teachers based on their leadership level.

Variable	Liderazgo bajo	Liderazgo alto
	N (%)	N (%)
Sexo		
Masculino	2 (29 %)	2 (29 %)
Femenino	5 (71 %)	5 (71 %)
Especialidad		
Docente frente a grupo	5 (71 %)	6 (86 %)
Docente de apoyo (inglés, educación artística, cómputo)	2 (29 %)	1 (14 %)
Grado académico		
Licenciatura	4 (57 %)	6 (86 %)
Maestría	2 (29 %)	1 (14 %)
Normal básica	1 (14 %)	0 (0 %)
Tipo de contratación		
Plaza base	7 (100%)	7 (100 %)

■ **Tabla 7. Comparación de los factores que afectan o facilitan el liderazgo según el nivel mostrado por el profesor (alto o bajo liderazgo).**

Table 7. Impact of the factors that affect or facilitate leadership according to the level shown for each teacher (high or low leadership).

Factores	Liderazgo bajo		Liderazgo alto		Estadístico*	P
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.		
Dentro del contexto escolar	8.1	1.2	9.6	0.9	8.5	0.04
Externos al contexto escolar	4.7	1.3	5	1	20.5	0.642
Propios del docente global	6.4	1.6	7.9	1.2	12	0.112

*Mann-Whitney U.

100 % de los participantes clasificados con bajo nivel de liderazgo docente aseguraron haberse sentido incomodos cuando les otorgaron un puesto o cargo de alguna tarea o actividad de liderazgo. Por otro lado, el 71 % de

los sujetos con alto puntaje de liderazgo docente no tuvieron esa sensación.

En cuanto a las variables de la edad, años de servicio y antigüedad en la escuela, y su re-

■ **Tabla 8. Comparación entre el nivel de liderazgo (alto/bajo) con cada una de las variables de los factores: dentro del contexto, externas al contexto y propios del docente.**

Table 8. Comparison between the level of leadership (high/low) with each of the factor variables: within the context, external to the context and the teacher's own.

Variables	Liderazgo bajo	Liderazgo alto	Valor χ^2	P
	N (%)	N (%)		
Apoyo de colegas	6 (86 %)	6 (86 %)	0	1
Ayuda de director	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Respaldo del director	6 (86 %)	7 (100 %)	1.08	0.299
Capacitación	6 (86 %)	6 (86 %)	0	1
Flexibilidad de horarios, asignaturas y actividades	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Apoyo del director en emprendimiento	6 (86 %)	7 (100 %)	1.08	0.299
Espacios físicos para actividades colegiadas	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Necesidades de los alumnos	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Tiempo para realización de actividades planificadas	2 (29 %)	5 (71 %)	2.57	0.109
Tiempo para tutoría individual a estudiantes	3 (43 %)	6 (86 %)	2.8	0.094
Cantidad de comisiones en el PEMC	0 (0 %)	2 (29 %)	2.33	0.127
Apoyo de su familia para la preparación profesional	5 (71 %)	7 (100 %)	2.33	0.127
Notas periodísticas sobre el trabajo docente	5 (71 %)	7 (100 %)	2.33	0.127
Reconocimiento por parte de padres de familia	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Compromisos familiares	4 (57 %)	2 (29 %)	1.17	2.8
Asuntos familiares	4 (57 %)	4 (57 %)	0	1
Desestimación hacia el docente por medios de comunicación	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Quejas de los padres de familia	1 (14 %)	1 (14 %)	0	1
Problemas de salud	4 (57 %)	1 (14 %)	2.8	0.094
Identidad de género	1 (14 %)	0 (0 %)	1.08	0.299

continúa...

Iniciativa para realización de proyectos innovadores	1 (14 %)	6 (86 %)	7.14	0.008**
Sentimiento de ser apreciado	6 (86 %)	7 (100 %)	1.08	0.299
Reconocimiento de la importancia de su labor	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Apego ético a las leyes de su trabajo	6 (86 %)	7 (100 %)	1.08	0.299
Apreciación a su trabajo	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Experiencia en su puesto	7 (100 %)	7 (100 %)	NA*	NA
Agotamiento físico	5 (71 %)	6 (86 %)	0.424	0.515
Incomodidad con roles de liderazgo	0 (0 %)	5 (71 %)	7.78	0.005**
Zona de confort	1 (14 %)	2 (29 %)	0.424	0.515

*NA: No aplica porque no se pudo calcular porque todos los docentes dieron la misma respuesta.

**Indica diferencia significativa.

lación con la puntuación alta o baja de liderazgo docente, los resultados, de acuerdo a la prueba U de Mann Whitney, señalaron que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en las tres variables analizadas con respecto al nivel de liderazgo docente (alto o bajo) (Tabla 9).

DISCUSIÓN

El tiempo limitado, la carga administrativa, el apoyo de los compañeros, la antigüedad en la escuela, la experiencia laboral y los hijos resultan ser variables que intervienen en el desarrollo del liderazgo de los maestros y maestras, de acuerdo al estudio cualitativo. No obstante, esto no fue consistente con la información obtenida con los resultados cuantitativos, pues a pesar de que estas variables fueron tomadas en cuenta en el instrumento, resultaron no ser estadísticamente significativas. Esta discrepancia puede explicarse a partir de Johnson y col. (2002), quienes revelaron que los mexicanos suelen manifestar en menor medida información personal cuando se emplean las encuestas. Por otra parte, las variables que fueron congruentes con los resultados de ambos enfoques fueron

la incomodidad con puestos de liderazgo y la iniciativa para emprender y guiar acciones de liderazgo.

También, se encontró una semejanza con la literatura que hace referencia al papel del director en el desarrollo del liderazgo docente. De acuerdo con Kenjarski (2015) y Cisneros-Cohernour (2021), el liderazgo docente depende del apoyo de la administración, pues cuando ambas partes (docente-administración) mantienen relaciones óptimas, los beneficios que obtienen son recíprocos. El director es un apoyo cuando aporta los recursos y materiales suficientes, le brinda oportunidades de liderazgo a los docentes y, permite que estos participen en la toma de decisiones; por el contrario, es un inhibidor, cuando demuestra falta de confianza hacia sus docentes, impide que desarrollen iniciativas propias y no comparte responsabilidades de liderazgo (Kenjarski, 2015). Algunos participantes (con alto nivel de liderazgo) del estudio estuvieron de acuerdo en que su director es una variable que favorece su liderazgo, tanto en la parte cualitativa como en los resultados descriptivos del instrumento inventario del liderazgo

■ **Tabla 9. Efecto de la edad, años de servicio y antigüedad en el nivel de liderazgo docente (alto o bajo).**

Table 9. Effect of age, years of service and seniority on the level of teacher leadership (high or low).

Factores	Liderazgo bajo		Liderazgo alto		Estadístico*	P
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.		
Edad del docente	43.3	9.7	45.4	2.8	20	0.605
Años de servicio del docente	18.6	11.5	19.4	3.9	21.5	0.748
Antigüedad del docente en la escuela	5.1	4.1	7.4	5.3	21.5	0.743

*Mann-Whitney U.

docente. En contraparte, empleando las mismas técnicas se obtuvo a otro grupo de docentes (con bajo liderazgo), quienes afirmaron que en ocasiones, han tenido desacuerdos o conflictos con autoridades educativas, y a veces no se sienten tomados en cuenta por el director, lo cual los ha llevado a tener un bajo liderazgo en la escuela. En general, los participantes señalaron que se necesita del director para poder ejercer un liderazgo alto en la escuela, no obstante, esto difiere con el estudio de Cosenza (2015), donde sus participantes concluyeron que pueden ser líderes con o sin el apoyo del director. Es importante señalar que en el análisis estadístico de comparación para grupos independientes la variable del director no resultó ser estadísticamente significativa, por lo tanto, se podría inferir que su papel es indiferente en el hecho de tener un liderazgo alto o bajo.

A pesar de que los maestros frecuentemente compartieron sus ideas de enseñanza con otros docentes (Tabla 1, ítem 3), ofrecieron su apoyo a otros docentes (ítem 2) y percibieron que hay apoyo mutuo entre ellos (ítem 1); el individualismo o aislamiento del docente en el aula surgió en el estudio cualitativo. Se ha documentado, en algunas investigaciones, que el individualismo, es un factor que limita el liderazgo del profesor, ya que es importante para tener mejores resultados escolares, que los maestros trabajen en colaboración en be-

neficio de los resultados en el aprendizaje de los estudiantes de la escuela (Kenjarski, 2015). En el presente estudio se comprobó que para algunos maestros (tanto con alto o bajo liderazgo) es difícil ver más allá de sus aulas y de sus alumnos. Sin embargo, de acuerdo con las entrevistas, también se detectó que este individualismo podría ser generado por la limitación del tiempo y espacios para el trabajo colaborativo entre docentes; otra explicación refiere que en ocasiones, cuando los líderes docentes intentan influir en colegas que tienen menor interés para enriquecer el aprendizaje de los alumnos tienen como resultado relaciones tensas y rechazo (Webber y Nickel, 2021).

La participación en las Comunidades Profesionales de Aprendizaje (CPA) es una práctica común de los docentes líderes de países como Estados Unidos (Gordon y Solis, 2018; Von-Esch, 2018; Donnelly y col., 2019). En México, a partir del 2018, la SEP comenzó a introducir el ejercicio de las CPA durante los CTE, a pesar de ello, en esta investigación se encontró que los docentes en general, refieren no disponer del tiempo para reunirse en las CPA, debido a que los CTE, que es el único espacio proporcionado para sostenerlas, se destina, más bien, a tareas de tipo administrativas; esto fue consistente también con el hecho de que el 18 % de los profesores indicó que pocas veces platica con otros maestros

sobre cómo mejorar el aprendizaje (dato no mostrado). Lo anterior coincide con el reporte del INEE (2018) y con autores como Mungarro y col. (2017), quienes expresaron claramente la necesidad que surge por parte del magisterio del país de que les provean el tiempo y los espacios para conformar redes de aprendizaje, en donde puedan compartir sus experiencias en sus aulas y los conocimientos que reciben en las capacitaciones a las que asisten; de esta manera, se puede también reducir el aislamiento y la enseñanza individualista que permea en algunos (González y col., 2019). Webber y Nickel (2021) también reflejan que la cuestión del tiempo es una limitante para que los docentes reflexionen sobre su trabajo y se comprometan a su aprendizaje permanente.

El tema sobre cómo influye la política del sistema educativo, específicamente en la gestión de los cambios de centros de trabajo en la decisión de tener, o no, un cargo oficial de líder, por ejemplo, de dirección o supervisión, surgió en este estudio. Durante una de las pláticas informales, se habló acerca de iniciar una carrera como director (dentro de la SEP) y sus implicaciones en la vida personal de los docentes que se arriesgan. El miedo de asumir el reto de ser director puede ser generado también por otras situaciones como la incomodidad, la incertidumbre o incomodidad de asumir puestos de liderazgo (Webber y Nickel, 2021) que fue una de las variables que explicaron el nivel bajo de liderazgo a través de las pruebas estadísticas inferenciales.

Otro aspecto encontrado como inhibidor fue la condición de ser docente de apoyo, los profesores de inglés, educación artística, educación física y biblioteca resultaron ser los docentes categorizados en el grupo de bajo liderazgo y así como también fueron nominados mayormente como no líderes; a su vez, estos docentes, en las entrevistas expresaron sentirse poco escuchados y tomados en cuenta en las decisiones de la escuela; la explicación más lógica es que el reducido núme-

ro de horas que trabajan en la escuela impide que puedan desarrollar relaciones favorables en comparación que las que pueden lograr sus demás colegas. Respecto a esto, Cisneros-Cohernour (2021) manifiesta que los docentes que son contratados por horas reducidas tienen oportunidades limitadas para participar en actividades de desarrollo profesional.

El sistema educativo del país se caracteriza por ser burocrático y exigir una serie de requisitos para poder alcanzar el beneficio de encontrarse en una condición adecuada para ejercer un alto liderazgo (Reyes, 2020). Tanto la distancia al centro escolar como la burocracia educativa habían surgido anteriormente en estudios como circunstancias que han generado malestar e insatisfacción entre los maestros de México que evidentemente manifiestan en su trabajo en el aula y en consecuencia en su liderazgo (Mungarro y col., 2017; INEE, 2018); no obstante, la situación de los docentes de apoyo no ha sido comúnmente referenciada como inhibidor.

El actual Programa Sectorial de Educación 2020–2024 (DOF, 2020) afirma que, el Sistema para la Carrera de las Maestras y los Maestros asegurará que los docentes reciban la asesoría, apoyo y acompañamiento, así como tutoría de pares de mayor experiencia y se compromete a vigilar que existan espacios para la actualización y superación profesional del magisterio y a hacerse responsables de fortalecer su liderazgo en la comunidad (DOF, 2019). A pesar de ello, y como puede reflejarse en líneas anteriores, las acciones por parte de las autoridades correspondientes aún no se traducen en la realidad de estos docentes. Las políticas educativas, en su mayoría, se han enfocado a establecer el conjunto de características y acciones que se espera de los profesores de educación básica desde su ingreso y durante su trayectoria en el sistema, lo cual ha generado tensiones entre el magisterio debido a la alta exigencia en las evaluaciones, lo cual resulta consistente con una revisión de políticas

de España (Gratacós y col., 2021), donde refirieron que en los documentos se precisan competencias claras relacionadas con el liderazgo docente como requisitos para la carrera inicial del profesorado de dicho país; así mismo Webber y Nickel (2021) también detectaron ciertas tensiones entre ciertas políticas y los líderes docentes en Canadá, por lo tanto este asunto resulta no ser exclusivo del país, ni de Latinoamérica.

De acuerdo con el INEE (2018), el promedio de alumnos que atiende un docente de educación básica es de 22; en el caso de esta escuela, hay grupos donde se encuentran inscritos arriba de 30 niños; este hecho es discutido en la presente investigación como un factor que inhibe el liderazgo de los profesores. La saturación de grupo fue asociada con la calidad en la enseñanza que puede ofrecer él o la profesora, ya que impacta en el tiempo disponible para cada estudiante y en el espacio físico con el que se cuenta para realizar diversas actividades, de acuerdo con lo que los docentes comentaron. Algunos autores refieren que una característica de los líderes docentes es su capacidad para brindar una enseñanza innovadora y eficaz, por lo tanto, al no poder llevarla a cabo por tener un gran número de alumnos, se convierte en un obstáculo para mejorar los resultados en el rendimiento del grupo y los de la escuela (Kenjarski, 2015; Mungarro y col., 2017; Webber y Nickel, 2021). Los líderes docentes ejercen una enseñanza diferenciada o personalizada de acuerdo con las necesidades de los alumnos, son innovadores, propician el pensamiento crítico y reflexivo, así como también producen recursos complementarios para que los alumnos reciban una enseñanza más efectiva (Gordon y Solis, 2018; Wenner y Campbell, 2018; Donnelly y col., 2019); el grupo de docentes entrevistados indica que el hecho de tener grupos numerosos le impide realizar estas actividades propias de un líder docente. Por último, es importante aclarar que en los resultados de las entrevistas no se encontraron variables externas al contexto escolar que faciliten el liderazgo docente, lo cual no fue

consistente con lo que se reporta en la literatura. Zinn (1997) resaltó la influencia de variables, como los familiares, medios de comunicación, padres de los estudiantes, compromisos familiares, la salud personal, entre otros, en la función del liderazgo. Además de lo anterior, si bien el liderazgo puede depender de aspectos externos, otra parte recae en el docente, en sus capacidades, conocimientos, actitudes y aptitudes (Kenjarski, 2015). En este estudio, se revela que el interés, la empatía, la responsabilidad, el conocimiento, la iniciativa, la facilidad de adaptación, el compromiso entre otros, son variables que tienen un papel importante para que el profesor tenga un buen desempeño como líder y para que la comunidad escolar tenga una percepción favorable acerca de él.

CONCLUSIONES

El manifestar iniciativa para realización de proyectos innovadores fue la variable facilitadora que destacó significativamente entre los grupos de alto y bajo liderazgo. Esta es una variable interna por lo que usualmente no depende de personas o factores externos, sino del mismo docente, destacando su compromiso, sus deseos de aprender, su habilidad de captar el interés de los demás y su facilidad de adaptación. Entre las barreras que afectaron el liderazgo, la que mostró ser diferente significativamente entre ambos grupos fue la incomodidad con roles de liderazgo, asociada al hecho de que algunos docentes se enfrentan a situaciones administrativas presentes en el sistema educativo y que generan cargas administrativas excesivas, provocando incomodidad a tomar posiciones de liderazgo de manera formal e informal. Otras cuestiones críticas que se rescatan en la investigación son la falta de tiempo, la saturación de grupos, así como la falta de apoyo entre los docentes que están frente a grupo y los docentes de apoyo, tema que no se había reportado en la literatura como una variable que pudiera influir en el desempeño de los maestros. Conocer las situaciones por las que atraviesan los profesores permitirá encontrar las raíces de los problemas para tomar decisio-

nes de manera informada, especialmente en aspectos de política pública. Mejorar el liderazgo docente en los profesores hará que su desempeño sea más eficaz al momento de instruir a sus alumnos, mejorando el sistema educativo, no solo con programas destinados a ello, sino que, se logre el cumplimiento de sus objetivos, para evitar que los docentes estén sobresaturados y puedan intercambiar mejoras de aprendizaje. Los resultados encontrados en el presente estudio aportan nueva información en el contexto de educación básica del país que puede ser útil para el estudio particular de cada escuela. Representan un diagnóstico

de lo que se puede mejorar, para que todos los que colaboran dentro de una institución analicen ventajas y desventajas de la administración de los recursos, colaboración del personal, planeación y educación que se está brindando. La relevancia del enfoque cuantitativo fue otorgar validez estadística a las conclusiones del estudio.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Achach-Sonda, L. G. (2021). *Liderazgo docente: conceptos y factores que facilitan e inhiben su liderazgo*. [Tesis de maestría no publicada]. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Angelle, P. S. and De-Hart, C. A. (2011). Teacher perceptions of teacher leadership: Examining differences by experience, Degree, and position. *NASSP Bulletin*. 95(2):141-160.
- Aravena, F., Pineda-Báez, C., López-Gorosave, G. y García-Garduño, J. M. (2020). Liderazgo de Directores Noveles de Latinoamérica a través de las Metáforas: Chile, Colombia y México. REICE. *Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. 18(3): 71-91.
- Cisneros-Cohernour (2021). The Key Role of Administrators in Supporting Teacher Leadership and Professionalism in Southern Mexico. *REAL. Research in Educational Administration & Leadership*. 6(1): 313-340.
- Cosenza, M. N. (2015). Defining Teacher Leadership: Affirming the Teacher Leader Model Standards. *Issues in Teacher Education*. 24(2): 79-99.
- Creswell, J. (2012). *Educational Research. Planning, Conducting and Evaluating Quantitative and Qualitative Research*. (Fourth edition). United States of America: Pearson. 650 Pp.
- Creswell, J. (2014). Research design. *Qualitative, quantitative and mixed methods approaches*. United States of America: Sage Publications. 342 Pp.
- Creswell, J. and Plano Clark, V. (2011). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. United States of America: Sage. 457 Pp.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2019). Ley General del Sistema para la Carrera de las Maestras y los Maestros. [En línea]. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGSCMM_300919.pdf. Fecha de consulta: 13 de abril de 2021.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2020). Programa Sectorial de Educación 2020-2024. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/562380/Programa_Sectorial_de_Educacion_n_2020-2024.pdf. Fecha de consulta: 13 de abril de 2021.
- Donnelly, A., Holland, E., King, F., Tapper-Clasborn, A. K. M., Lunney, E., Higgins, J., ..., and McElvaney, M. (2019). Inspiring Inclusion in your Classroom and Beyond. *International Journal of Teacher Leadership*. 10(2): 28-55.
- Fierro-Evans, C. and Fortoul-Ollivier, B. (2021). Reflexivity: An essential feature of teacher leadership in Mexico, Colombia and Spain. *Research in Educational Administration & Leadership*. 6(1): 164-198.
- García-González, J. R. y Sánchez-Sánchez, P. A. (2020). Diseño teórico de la investigación: instrucciones metodológicas para el desarrollo de propuestas y proyectos de investigación científica. *Información Tecnológica*. 31(6): 159-170.
- Gobierno del Estado de Yucatán (2020). Mensaje del Gobernador Mauricio Vila Dosal a toda la población yucateca, en *Gobierno del Estado de Yucatán*. [En línea]. Disponible en: https://www.yucatan.gob.mx/saladeprensa/ver_notas.php?id=2595. Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2023.
- Godlesky, L. E. (2018). Examining the relationship

- between teacher leadership perception and professional learning community engagement, in *Rowan Digital Works*. [En línea]. Disponible en: <https://rdw.rowan.edu/etd/2544>. Fecha de consulta: 3 de marzo de 2020.
- González, R., Palomares, A., López, E. y Gento, S. (2019). Explorando el liderazgo pedagógico del docente: su dimensión formativa. *Contextos Educativos*. (24): 9-25.
- Gordon, S. and Solis, R. (2018). Teacher Leaders of Collaborative Action Research: Challenges and Rewards. *IE: Inquiry in Education*. 10(2): 3.
- Gratacós, G., Ladrón-de-Guevara, B., and Rodríguez, I. (2021). A Study of Teacher Leadership Concept in Institutional Documents in Spain. *REAL. Research in Educational Administration & Leadership*. 6(1): 241-275.
- Guba, E. and Lincoln, Y. (1994). Competing Paradigms in Qualitative Research. In N. Denzin and Y. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 105-117). United States of America: Sage publications.
- Hackfort, D. and Birkner, H. A. (2003). Triangulation as a basis for diagnostic judgments. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*. 1(1): 82-94.
- Howell, D. (2014). *Fundamental Statistics for the Behavioral Sciences*. (Eighth edition). United States of America: Cengage Learning. 677 Pp.
- INEE, Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (2018). Políticas para el mejoramiento profesional de los docentes en México, en *INEE*. [En línea]. Disponible en: <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2018/12/documento3-mejoramiento-pro.pdf>. Fecha de consulta: 28 de enero de 2020.
- INEE, Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (2019). Personal y organización escolar de la escuela primaria mexicana. ECEA 2014, en *INEE*. [En línea]. Disponible en: <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/01/P1D252.pdf>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2023.
- Jacques, C., Weber, G., Bosso, D., Olson, D., and Bassett, K. (2016). *Great to Influential. Teacher Leader's Roles in Supporting Instruction*. United States of America: American Institutes for Research. 28 Pp.
- Johnson, T., O'Rourke, D., Burris, J., and Owens, L. (2002). Culture and Survey Nonresponse. In R. M. Groves, D. A. Dillman, J. L. Eltinge, and R. J. A. Little. *Survey Nonresponse* (pp. 55-69). United States of America: Wiley.
- Kenjarski, M. (2015). Defining Teacher Leadership: Elementary Teachers' Perceptions of Teacher Leadership and the Conditions Which Influence its Development, in *NC State Repository*. [En línea]. Disponible en: <http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/10097>. Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2019.
- Lumpkin, A., Claxton, H., and Wilson, A. (2014). Key Characteristics of Teacher Leaders in Schools. *Administrative Issues Journal: Connecting Education Practice and Research*. 4(2): 59-67.
- Mungarro, G., Chacón, Y. y Navarrete, G. (2017). Malestar Docente y su Impacto Emocional en Profesores de Educación Primaria. Ponencia, XIV Congreso de Investigación Educativa. [En línea]. Disponible en: <http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v14/doc/2398.pdf>. Fecha de consulta: 1 de marzo de 2021.
- Pineda-Báez, C. (2021). Conceptualizations of Teacher-leadership in Colombia: Evidence from Policies. *REAL. Research in Educational Administration & Leadership*. 6(1): 92-125.
- Reyes, H. Q. (2020). Los espacios olvidados de participación y autonomía escolar frente a los procesos de rendición de cuentas y burocracia en México. *Journal of Supranational Policies of Education*. (11): 87-105.
- Ross, J. (2015). The Development and support of a Teacher Leaders in Ohio: A Grounded Theory Study, in *OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center*. [En línea]. Disponible en: http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ashland1450643469. Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2019.
- Sawalhi, R. and Sellami, A. (2021). Factors influencing teacher leadership: voices of public school teachers in Qatar. *International Journal of Leadership in Education*. 1-18.
- Schettini, P. y Cortazzo, I. (2015). *Análisis de datos cualitativos en la investigación social*. Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata. 119 Pp.
- Stake, R. (2005). Qualitative case studies (Third edition). In N. K. Denzin and Y. S. Lincoln (Eds.), *The sage handbook of qualitative research* (pp. 443-466). United States of America: Sage Publications.
- Van-de-Vijver, F. J. (2015). Methodological of cross-cultural research. In M. Gelfand, Y. Hong, and C. Y. Chiu (Eds.), *Handbook of advances in culture & psy-*

chology (pp. 101-160). United Kingdom: Oxford University Press.

Von-Esch, K. S. (2018). Teacher leaders as agents of change. *The Elementary School Journal*. 119(1): 152-178.

Webber, C. F. and Nickel, J. (2021). Sustainable Teacher Leadership. *Research in Educational Administration & Leadership*. 6(1): 277-311.

Wenner, J. and Campbell, T. (2017). The Theoretical and Empirical Basis of Teacher Leadership: A Review of the Literature. *Review of Educational Research*. 87(1): 134-171.

Wenner, J. and Campbell, T. (2018). Thick and thin: Variations in teacher leader identity. *International Journal of Teacher Leadership*. 9(2): 5-21.

Zhang, M., Tian, J., Ni, H., and Fang, G. (2021). Exploring teacher leadership and the factors contributing to it: An empirical study on Chinese private higher education institutions. *SAGE Open*. 11(1): 1-12.

Zinn, L. (1997). Supports and barriers to Teacher Leadership: Reports of Teacher Leaders. Seminario, in *Annual Meeting of the American Educational Research Association*. [En línea]. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=ED408259>. Fecha de consulta: 17 de octubre de 2019.



Imagen tomada de: Canva educativo

Desarrollo de una escala de intención de uso del comercio móvil y su validación mediante análisis compuesto confirmatorio

Development of a scale of intention to use mobile commerce and its validation through confirmatory composite analysis

Marina Isabel Sánchez-Sánchez, Virginia Guadalupe López-Torres*

RESUMEN

La intención de comportamiento se ha estudiado desde la teoría de la acción razonada para predecir el comportamiento de los individuos. El objetivo de esta investigación fue desarrollar y validar una escala para medir la intención de uso del comercio móvil, a partir de las variables de la teoría unificada de aceptación y uso de tecnología como impulsores, y las variables riesgo percibido y tradición como inhibidores. El instrumento fue aplicado en línea a 211 consumidores del estado de Baja California, México. Se utilizó el análisis compuesto confirmatorio para verificar la fiabilidad del instrumento, así como la validez convergente, discriminante, nomológica y predictiva. Se obtuvo un instrumento válido y confiable para medir la influencia de las variables expectativa de rendimiento, influencia social, motivación hedónica, riesgo percibido, condiciones facilitadoras y tradición en la intención de uso del comercio móvil. La escala desarrollada satisface los criterios exigibles a un modelo de medición reflectivo.

PALABRAS CLAVE: comercio móvil, análisis compuesto confirmatorio, intención de uso, riesgo percibido, tradición.

ABSTRACT

Behavioral intention has been studied from the theory of reasoned action to predict the behavior of individuals. The objective of this research was to develop and validate a scale to measure the intention to use m-commerce, based on the variables of unified theory of acceptance and use of technology as drivers, and the variables of perceived risk and tradition as inhibitors. The instrument was applied on-line to 211 consumers in the state of Baja California, Mexico. Confirmatory composite analysis was used to verify the reliability of the instrument, as well as convergent, discriminant, nomological and predictive validity. A valid and reliable instrument was obtained to measure the influence of the following variables: performance expectancy, social influence, hedonic motivation, perceived risk, facilitating conditions and tradition on the intention to use m-commerce. The developed scale meets the criteria required for a reflective measurement model.

KEYWORDS: mobile commerce, confirmatory composite analysis, intention to use, perceived risk, tradition.

*Correspondencia: virginia.lopez@uabc.edu.mx/Fecha de recepción: 24 de febrero de 2023/Fecha de aceptación: 13 de noviembre de 2023/Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales, Avenida Reforma s/n, Valle Dorado, Ensenada, Baja California, México, C. P. 22890.

INTRODUCCIÓN

El *m-commerce* es una forma de comercio electrónico que usa dispositivos móviles (teléfonos celulares, tabletas y laptops) y redes inalámbricas para acceder a sitios web con el fin de realizar transacciones mercantiles (Lee y Wong, 2016; Gao y Shao, 2019). Entre sus ventajas, se destaca el ahorro de tiempo, conveniencia, variedad de productos, precios bajos, transformación de la forma tradicional de compras, capacidad para comprar y pagar en línea en cualquier momento y en cualquier lugar (Kim y col., 2015). Las últimas dos ventajas marcan la diferencia con el comercio electrónico, al eliminar las restricciones físicas. En este sentido *m-commerce* es la nueva forma de ejercer el comercio electrónico, una respuesta a la penetración de los dispositivos móviles y la tecnología inalámbrica (Lee y Wong, 2016; Moorthy y col., 2017; Gao y Shao, 2019).

Según la Teoría de la Acción Razonada (TAR), la intención de comportamiento mide la fuerza de un individuo para ejercer dicho comportamiento, ya que tener la intención no significa ejecución. En estudios previos, la intención de uso de comercio móvil se ha estudiado como intención de uso continuado, intención de usar el teléfono móvil para realizar compras, intención de uso de compras móviles e intención de compras con *m-commerce* (Kalinic y Marinkovic, 2016; Moorthy y col., 2017; Trojanowski y Kułak, 2017; Blaise y col., 2018; Sair y Danish, 2018; Gao y Shao, 2019; Grečić y Mekić, 2019; Sujatha y Sekkizhar, 2019; Tarchini y col., 2019).

Es importante señalar que la intención de uso hace que un cliente actúe como resultado de una serie de factores (Moorthy y col., 2017). Para el presente estudio, intención de uso del *m-commerce* es la medida de la fuerza de voluntad de un consumidor de utilizar dispositivos móviles para realizar compras (Ajzen y Fishbein, 1975; Kalinic y Marinkovic, 2016; Shaw y Sergueeva, 2019).

La aparición de la tecnología y su incorporación en distintos procesos es de interés cien-

tífico, en particular su adopción y uso, cuyo estudio se realiza en mayor medida por medio del modelo de la teoría unificada de aceptación y uso de tecnología (UTAUT, por sus siglas en inglés: unified theory of acceptance and use of technology), el cual mide la intención de uso de tecnología considerando la expectativa de esfuerzo, la expectativa de rendimiento, la influencia social y las condiciones facilitadoras (Venkatesh y col., 2003). Este modelo evolucionó para medir la adopción del internet móvil agregando las variables precio, motivación hedónica y hábitos (Venkatesh y col., 2012).

Entre los factores preponderantes para adoptar una tecnología se encuentran la expectativa de rendimiento, la cual depende de satisfacer lo que el usuario espera recibir por su uso (Venkatesh y col., 2012). En *m-commerce* es la expectativa de mejora en la capacidad de compra que tiene un individuo por el uso de la tecnología (Singh y col., 2018). Algunas personas adoptan tecnología por la influencia social que ejercen las personas de su entorno (familiares y amigos), a tal grado que piensan deben utilizar dicha tecnología (Venkatesh y col., 2012). La motivación hedónica refiere a la diversión o placer derivado del uso de la tecnología (Venkatesh y col., 2012). Las condiciones facilitadoras, otro factor preponderante, son las disposiciones favorables percibidas por un individuo para llevar a cabo un comportamiento, incluyen autoeficacia y disponibilidad de recursos (Venkatesh y col., 2003).

En la intención de uso de tecnología existen también factores inhibidores, uno de ellos es el riesgo percibido, que influye de forma negativa, en este caso, en la intención de uso del *m-commerce* (Moorthy y col., 2017; Al-Adwan y col., 2019; Pandey y Chawla, 2019). El riesgo percibido se refiere al grado en que los consumidores creen que realizar transacciones en línea, puede provocarles un daño o suceso indeseable (Verkijika, 2018; Al-Adwan y col., 2019); caso contrario es la confianza percibida (Yadav y col., 2015; Blaise y col., 2018;

Tarhini y col., 2019), la cual se asocia con la disposición de uso basada en la capacidad, la benevolencia y la integridad (Tarhini y col., 2019). La tradición es una barrera que ocasiona resistencia al uso de innovaciones, es parte de la teoría de resistencia a la innovación (Moorthy y col., 2017; Kaur y col., 2020). La tradición se refiere a los obstáculos que surgen cuando la innovación produce un cambio en la costumbre establecida del consumidor (Moorthy y col., 2017). Cambio que representa un esfuerzo y afecta la zona de confort, por ello genera resistencia o rechazo. Kaur y col. (2020) señalaron que se refiere a los obstáculos que limitan la aceptación de una innovación, al implicar cambios en la rutina, cultura y comportamiento del adoptante.

La tecnología ha permeado todos los ámbitos de la sociedad, es la base de la economía digital, y fue clave durante COVID-19, en particular en los procesos de comercialización a través de dispositivos móviles (Mehedintu y Soava, 2022; Iuga y Wainberg, 2023). Por ello, es conveniente desarrollar instrumentos que permitan medir la intención de uso del comercio móvil, a partir de las variables facilitadoras e inhibitoras que lo afectan, en especial en español y para el contexto mexicano.

El objetivo de este estudio fue validar el diseño de una escala que midiera la intención de uso del comercio móvil a través del análisis compuesto confirmatorio, considerando la teoría unificada de aceptación y uso de tecnología y la teoría de resistencia a la innovación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló un estudio con enfoque cuantitativo, de alcance explicativo, retrospectivo, con diseño no experimental y corte transversal.

Desarrollo del instrumento

Se identificaron y definieron, con base en la literatura académica, diferentes constructos que integran, las siguientes variables endógenas y exógenas de estudio:

Facilitadoras

a) intención del uso del comercio móvil (INT), única variable endógena, medida de la fuerza de voluntad de un consumidor de utilizar dispositivos móviles para realizar compras (Ajzen y Fishbein, 1975; Kalinic y Marinkovic, 2016; Shaw y Sergueeva, 2019); b) expectativas de rendimiento (ER), medida en que el consumidor cree que usar *m-commerce* le proporciona beneficios (Venkatesh y col., 2012; Singh y col., 2018); c) influencia social (IS), medida en que los consumidores consideran que las personas importantes de su entorno creen que deberían utilizar el comercio móvil como medio de aprovisionamiento (Venkatesh y col., 2012; Grcić y Mekić, 2019; Shaw y Sergueeva, 2019); d) motivación hedónica (MH), disfrute o placer que obtiene un consumidor al utilizar el comercio móvil (Venkatesh y col., 2012; Soni y col., 2019) y; e) condiciones facilitadoras (CF), percepción positiva del consumidor de que existe la infraestructura y los recursos técnicos necesarios para utilizar el comercio móvil (Venkatesh y col., 2012; Verkijika, 2018; Pandey y Chawla, 2019).

Inhíbidoras

a) riesgo percibido (RP), medida en que los consumidores creen que usar el comercio móvil es inseguro o puede tener efectos negativo; b) tradición (TRA), resistencia a utilizar el comercio móvil, dado que implica un cambio en la costumbre del cliente de realizar las compras de manera física.

Se identificaron escalas (ítems) de medición para cada variable a partir de diversos autores (Venkatesh y col., 2012; Kalinic y Marinkovic, 2016; Moorthy y col., 2017; Singh y col., 2018; Al-Adwan y col., 2019; Lissitsa y Kol, 2019; Pandey y Chawla, 2019; Shaw y Sergueeva, 2019 y Soni y col., 2019). Algunos de los ítems que componen la escala desarrollada fueron adaptados y otros diseñados *expreso* a partir de los antecedentes teóricos.

Los ítems adaptados fueron sometidos a un proceso transcultural, de adaptación lingüística y cultural, dado que en primera instancia

se procedió a la traducción, y luego a la adaptación para asegurar la validez y confiabilidad del instrumento al ser aplicado en poblaciones con diferente cultura y/o idioma. El procedimiento consistió en realizar una traducción al español mediante retrotraducción, poniendo especial atención en el lenguaje utilizado para hacerlo compatible con el contexto mexicano, considerando los diferentes usos y significados idiomáticos. De manera general, la adaptación se realizó aplicando las recomendaciones de Hambleton y Zensky (2011), las cuales incluyen cuatro cuestionamientos para evaluar el proceso. Asimismo, se tomaron en cuenta las recomendaciones de Lira y Caballero (2020): se solicitó a un grupo de 8 expertos multidisciplinarios, 3 de ellos bilingües, revisar los ítems, en su caso proponer cambios y consensuar la versión prefinal del instrumento, valorando la equivalencia entre la versión de origen y la de destino.

Estudio piloto

Se evaluó la versión obtenida a través de una prueba piloto. Los datos de esta prueba son los que se utilizaron para validar la escala.

Los ítems adaptados y diseñados se integraron en un instrumento que fue sometido a un proceso de validez por expertos, en el cual se incluyeron 8 catedráticos con grado de doctor, con experiencia profesional que va desde 7 hasta 35 años. A cada uno de los jueces se les solicitó que evaluaran la claridad, coherencia y relevancia de cada uno de los ítems, así como su suficiencia para medir cada dimensión. Lo anterior, de acuerdo con la propuesta de Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez (2008). Se realizó el estudio piloto para valorar la calidad técnica de los ítems, su confiabilidad y validez. La escala de medición utilizada en el instrumento fue tipo Likert de seis puntos de asignación de respuesta, con las opciones totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ligeramente en desacuerdo, ligeramente de acuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo; en ella, se asigna el valor 1 a la opción totalmente en desacuerdo y el valor 6 a la alternativa totalmente de acuerdo (DeVellis, 2016).

La escala fue aplicada en línea a 211 consumidores residentes en el estado de Baja California, México. Según Lloret-Segura y col. (2014) el tamaño de la muestra es adecuado al estar dentro del intervalo mínimo (n) que oscila entre 50 y 400 sujetos; también cumple con la recomendación de al menos $n = 200$ de Ledesma y col. (2019).

Se llevó a cabo un análisis compuesto confirmatorio (ACC) para modelos reflectivos de medición de acuerdo a la propuesta de Hair y col. (2020), el cual incluye siete pasos de análisis realizados mediante los softwares Smart PLS versión 3.0 y SPSS versión 22:

1. Las cargas factoriales de los ítems, estableciendo un punto de corte mínimo de 0.708 y un estadístico t asociado superior a ± 1.96 para que sean significativas para una prueba de dos colas al nivel del 5 % (Hair y col., 2020).

2. La fiabilidad del ítem, la cual resulta de elevar al cuadrado la carga factorial y que debe alcanzar un valor mínimo de 50 %, lo que indica la varianza que se tiene con la variable asociada.

3. La confiabilidad del constructo se puede medir a través de alfa de Cronbach (α) y fiabilidad compuesta (CR, por sus siglas en inglés: Composite Reliability). El α , con valores entre 0.70 y 0.95 se consideran satisfactorios en fases avanzadas de investigación al proporcionar la estimación de la fiabilidad; de igual forma, la CR con valores entre 0.70 y 0.95 son deseables por considerarse una medida válida del constructo. Como α es una medida no ponderada y la CR si es ponderada, por lo que se recomienda reportar ambas medidas, lo que la hace una medida más precisa (Hair y col., 2017).

4. La validez convergente, se obtuvo como el valor promedio de las cargas al cuadrado, es decir, la suma de las cargas al cuadrado de todos los ítems de la variable entre el número de ítems; su valor debe ser igual o mayor a 0.50, ya que ello evidencia que explica al menos el

50 % de la varianza de la variable (Bagozzi y Yi, 1988; Hair y col., 2017). En su valoración, se analizan las cargas externas de cada ítem: altas cargas externas indican que los ítems tienen mucho en común con su constructo asociado (Do-Nascimento y Da-Silva-Macedo, 2016). La validez convergente se valora con base en la varianza extraída media (AVE, por sus siglas en inglés: average variance extracted), la cual determina la varianza entre un constructo (variable) y sus ítems.

5. La validez discriminante representa la medida en que un constructo es diferente del resto de los demás incluidos en la escala, es decir, que mide aspectos distintos. Se utilizó el ratio Heterotrait-Monotrait (HTMT) de las correlaciones (Hair y col., 2020). Existe validez discriminante cuando los ratios HTMT exhiben valores menores a 0.85 (constructos conceptualmente distintos); o a 0.90 (constructos conceptualmente similares) (Henseler y col., 2016).

6. La validez nomológica se obtuvo al correlacionar la variable género (un constructo no incluido en el modelo) con los puntajes de los constructos incluidos, contrastando el valor obtenido con los resultados de investigaciones previas, de acuerdo con Máynez-Guaderrama (2021).

7. La validez predictiva permite predecir el valor de alguna variable dependiente en el futuro. Es similar a la validez concurrente, en este caso se calculó la correlación entre las puntuaciones de los compuestos de los grupos; si la correlación no es significativamente diferente de 1, puede asumirse que los compuestos se han creado de forma similar entre los grupos y, por tanto, hay invarianza composicional. En este trabajo de investigación se utilizaron dos grupos: hombres y mujeres.

Medición de modelos compuestos

Esta técnica conocida como MICOM (por sus siglas en inglés: measurement invariance of composite models) se utiliza en modelos reflectivos para establecer que las estimaciones

entre distintos grupos no provienen de significados diferentes entre los encuestados de cada grupo (Hair y col., 2020). El proceso se realizó en tres pasos, de acuerdo con Henseler y col. (2016), determinando la invarianza configuracional, invarianza composicional y la igualdad de medias y varianzas. Estos autores señalan que no es posible continuar al siguiente paso sin que se cumpla el previo.

La invarianza configuracional se estableció al especificar los indicadores utilizados para medir los constructos del modelo de igual manera para todos los grupos. La invarianza de composición establece que los indicadores se deben agrupar en los componentes de manera equivalente para todos los grupos. Una correlación que no es significativamente distinta de 1 permite asumir que existe invarianza composicional (Máynez-Guaderrama, 2021). La igualdad de medias y varianzas se determinó revisando que no existieran diferencias significativas en los puntajes de los constructos en los valores de las medias y varianzas de los constructos.

Poder explicativo y predictivo del modelo

Se determinó el poder explicativo mediante el análisis del coeficiente de determinación (R^2), representa los efectos combinados de las variables latentes exógenas sobre la variable latente endógena. Valores de 0.25 a 0.49, 0.50 a 0.74 y 0.75 o mayor, se consideran como débiles, moderados e importantes, respectivamente (Hair y col., 2017).

El diseño del modelo estructural del ACC se ejecutó por medio del algoritmo (PLS-SEM, por sus siglas en inglés: Partial Least Squares Structural Equation Modeling) con el software estadístico SmartPLS 3® (Ringle y col., 2015) para lo cual se empleó el constructo endógeno intención de uso.

Se determinó el valor Stone Geiser (Q^2) que valora el grado en que el modelo y sus parámetros reconstruyen los valores (Chin, 2010), lo que permite establecer el poder predictivo de una variable (Ali y col., 2018). Se obtuvo por medio del procedimiento *blindfolding*, técnica

de reutilización de la muestra que omite el d-ésimo dato de los indicadores del constructo endógeno. Los valores mayores que 0 para una variable latente endógena específica indica relevancia predictiva del nomograma para un constructo dependiente (Henseler y col., 2009; Hair y col., 2017); de esa forma, el modelo es capaz de predecir los indicadores [reflectivos] de los constructos endógenos (Barroso y col., 2010; Chin, 2010). Valores inferiores a 0.25 indican una precisión predictiva pequeña, entre 0.25 y 0.5, una precisión media y mayores de 0.5, una precisión grande (Hair y col., 2019).

RESULTADOS

La población participante (211 consumidores) estuvo compuesta por mujeres en un 59.8 % y la mayoría de los encuestados (60.7 %) eran jóvenes millenials (edad entre 18 y 26 años). El nivel escolar que predominó fue licenciatura (56.1 %) (Tabla 1).

La tecnología ha permeado todos los ámbitos de la sociedad, es la base de la economía digital, y fue clave durante COVID-19, en par-

ticular en los procesos de comercialización a través de dispositivos móviles (Mehedintu y Soava, 2022; Iuga y Wainberg, 2023).

En la escala desarrollada, para la prueba piloto, se establecieron 6 variables de interés (4 facilitadoras y 2 inhibidoras) con un total de 40 ítems (Tabla 2).

Al eliminarse los 3 ítems: ER4 (cf = 0.631), ER5 (cf = 0.641) y ER7 (cf = 0.430) (Tabla 2), debido a que sus cargas factoriales no superaron el punto de corte mínimo recomendado de 0.708 (Hair y col., 2020), la fiabilidad de los ítems fue adecuada, ya que todos los ítems tuvieron una fiabilidad superior a 50.1 %.

Respecto a los indicadores de validez convergente del modelo de medición, los α iniciales permanecieron en el rango de 0.70 y 0.95, excepto para RP que fue de 0.959 (Tabla 3). Los valores de CR iniciales estuvieron en el mismo rango aceptable, excepto INT, MH, CF y RP, que excedieron el punto de corte máximo, lo que evidenció la existencia de redundancia, es decir, ítems que medían lo mismo (Lloret-Segura y col., 2014; Henseler y col., 2016). Se procedió a identificarlos, para su posterior eliminación, mediante el cálculo de las correlaciones inter-ítem de los constructos usando el paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS, por sus siglas en inglés: Statistical Package for the Social Sciences) versión 22, siguiendo los pasos de Máynez-Guaderrama (2021). De acuerdo con los resultados se eliminaron 8 ítems: INT1, INT4, MH1, MH3, CF4, RP3, RP4 y RP6 de la escala (Tabla 2), para evitar redundancia y tener valores corregidos de α y CR considerados válidos (Tabla 3).

En todos los casos se cumple con la validez convergente, que fue adecuada al obtener los 29 ítems con una fiabilidad superior al 50.1 %, lo que indica que cada uno de los ítems se correlaciona positivamente con los otros ítems de la misma variable.

Los valores de validez discriminante fueron inferiores a 0.85 (Tabla 4), lo que indica que

■ **Tabla 1. Características demográficas de la población estudiada.**

Table 1. Demographic characteristics of the studied population.

Parámetro	Frecuencia
Sexo	
Mujeres	59.8 %
Hombres	40.2 %
Edad (años)	
15 a 17	10 %
18 a 26	60.7 %
27 a 40	16 %
41 a 55	11 %
> 55	2.3 %
Nivel escolar	
Primaria y secundaria	0.9 %
Preparatoria	28 %
Licenciatura	56.1 %
Posgrado	15 %

■ **Tabla 2. Constructos e ítems del instrumento de medición de la prueba piloto.**
 Table 2. Constructs and items of the measuring instrument.

Ítem	Origen	Carga Factorial	Valor t	Eliminado de la escala
Variables facilitadoras				
Intención de uso del comercio móvil (INT)				
INT1. En el futuro aumentaré la frecuencia de compras en el comercio móvil.	Sánchez y col. (2022)	0.808	24.643	Sí**
INT2. Tengo la intención de realizar compras en el comercio móvil.	Sánchez y col. (2022)	0.917	65.447	No
INT3. Es altamente probable que realice compras en el comercio móvil.	Shaw y Sergueeva (2019)	0.925	61.595	No
INT4. En un futuro próximo, planeo realizar compras en el comercio móvil.	Kalinic y Marinkovic (2016)	0.929	68.775	Sí**
INT5. En el futuro planeo usar el comercio móvil.	Sánchez y col. (2022)	0.879	32.588	No
Expectativas de rendimiento (ER)				
Gracias al comercio móvil tengo los siguientes beneficios:				
ER1. Puedo comprar en cualquier lugar.	Sánchez y col. (2022)	0.792	16.055	No
ER2. Puedo comprar en cualquier momento.	Sánchez y col. (2022)	0.783	14.440	No
ER3. Ahorro tiempo.	Sánchez y col. (2022)	0.822	21.634	No
ER4. Ahorro dinero.	Venkatesh y col. (2012)	0.631	14.094	Sí*
ER5. Compró solo lo que necesito.	Venkatesh y col. (2012)	0.641	11.427	Sí*
ER6. Compró productos que no venden en mi localidad.	Sánchez y col. (2022)	0.818	23.787	No
ER7. Accedo a financiamiento (pagar a plazos).	Venkatesh y col. (2012)	0.430	4.880	Sí*
Influencia social (IS)				
Las personas importantes para mí (amigos, familiares, colegas, conocidos):				
IS1. Creen que debería comprar en comercio móvil.	Sánchez y col. (2022)	0.896	58.108	No
IS2. Me recomiendan comprar en comercio móvil.		0.886	39.596	No
IS3. Influyen en mi decisión de utilizar el comercio móvil.		0.806	23.437	No
IS4. Me motivan a utilizar el comercio móvil para comprar.		0.887	43.807	No

continúa...

Motivación hedónica (MH)				
Comprar en comercio móvil me resulta:				
MH1. Entretenido.	Sánchez y col. (2022)	0.918	69.514	Sí**
MH2. Emocionante.	Venkatesh y col. (2012)	0.920	64.492	No
MH3. Agradable.	Sánchez y col. (2022)	0.940	93.242	Sí**
MH4. Divertido.	Venkatesh y col. (2012)	0.924	55.585	No
MH5. Placentero.	Sánchez y col. (2022)	0.860	25.768	No
Condiciones facilitadoras (CF)				
CF1. Tengo acceso a los dispositivos (Celular, tableta o Laptop) para usar el comercio móvil.	Sánchez y col. (2022)	0.877	23.611	No
CF2. Si uso mi dispositivo móvil para el comercio móvil, funcionará correctamente.	Sánchez y col. (2022)	0.857	24.947	No
CF3. Tengo acceso a servicio de internet para usar el comercio móvil.	Pandey y Chawla (2019)	0.912	36.329	No
CF4. El tipo de dispositivo móvil que uso facilita que yo realice compras en línea.	Venkatesh y col. (2012)	0.921	40.116	Sí**
CF5. Gracias al internet de alta velocidad me es posible realizar compras en línea.	Sánchez y col. (2022)	0.771	16.567	No
CF6. Es posible usar el comercio móvil gracias a que existen distintas formas de pago (tarjeta de crédito/débito, banca en línea, tienda de conveniencia, PayPal, etc.).	Sánchez y col. (2022)	0.928	46.973	No
Variables inhibitoras				
Riesgo percibido (RP)				
Me preocupa que al comprar en comercio móvil:				
RP1. Pueda generar fraudes o intrusiones de piratas informáticos.	Sánchez y col. (2022)	0.846	5.841	No
RP2. Pueda ser inseguro.	Pandey y Chawla (2019)	0.923	6.419	No
RP3. Pueda exponer mi información privada.	Sánchez y col. (2022)	0.893	6.161	Sí**
RP4. Pueda tener error en el cobro.	Sánchez y col. (2022)	0.906	6.279	Sí**
RP5. Pueda tener cargos fraudulentos.	Moorthy y col. (2017)	0.906	6.332	No
RP6. Permita que los vendedores de comercio móvil proporcionen mi información a otros, sin mi consentimiento.	Sánchez y col. (2022)	0.895	5.194	Sí**

continúa...

RP7. Exista el riesgo de robo de información.	Pandey y Chawla (2019)	0.886	5.090	No
Tradición (TRA)				
TRA1. Me desespera comprar en comercio móvil.	Sánchez y col. (2022)	0.785	15.762	No
TRA2. Prefiero comprar de manera física que en comercio móvil.		0.873	26.016	No
TRA3. Prefiero tener contacto con otras personas cuando compro.		0.801	15.776	No
TRA4. Es importante para mí ver el producto antes de comprarlo.	Lissitsa y Kol (2019)	0.769	10.254	No
TRA5. Es importante para mí sentir el producto antes de comprarlo.	Sánchez y col. (2022)	0.798	11.616	No
TRA6. Acostumbro realizar las compras en las tiendas físicas.	Sánchez y col. (2022)	0.799	10.687	No

*Se eliminaron porque sus cargas factoriales no superaron el punto de corte mínimo recomendado (0.708).

**Se eliminaron por ser redundantes de acuerdo con la prueba de fiabilidad compuesta.

■ Tabla 3. Indicadores de validez convergente del modelo de medición.

Table 3. Indicators of convergent validity of the measurement model.

Constructo	alfa de Cronbach		Fiabilidad compuesta		AVE versión corregida
	Inicial	Corregida	Inicial	Corregida	
INT	0.936	0.910	0.951*	0.944	0.797
ER	0.834	0.834	0.876	0.876	0.511
IS	0.892	0.892	0.925	0.925	0.756
MH	0.950	0.905	0.961*	0.941	0.833
CF	0.940	0.922	0.952*	0.942	0.770
RP	0.959*	0.928	0.965*	0.946	0.799
TRA	0.895	0.895	0.917	0.917	0.648

*El valor supera el límite máximo de 0.95 indicando redundancia.

■ Tabla 4. Ratios Heterotrait-Monotrait (HTMT) asociados a la validez discriminante.

Table 4. Heterotrait-Monotrait (HTMT) ratios associated with the discriminant validity.

Constructo	INT	ER	IS	MH	CF	RP
INT						
ER	0.515					
IS	0.505	0.313				
MH	0.504	0.559	0.485			
CF	0.397	0.520	0.298	0.425		
RP	0.094	0.189	0.108	0.127	0.200	
TRA	0.292	0.301	0.122	0.408	0.113	0.300

cada constructo fue diferente al resto de los incluidos en la escala final obtenida, por lo que se cumplió con la validez.

En la validez nomológica no existió correlación estadísticamente significativa con las variables latentes del modelo de medición (Tabla 5). Por lo anterior, se puede afirmar que el modelo de medición reflectivo propuesto cuenta con validez nomológica.

Los indicadores utilizados para medir los constructos del modelo, fueron especificados de igual manera para todos los grupos por lo que se cumple con la invarianza configuracional.

Para ambos grupos (mujeres y hombres), en los resultados obtenidos del procedimiento MICOM, se pudo observar que la correlación entre los puntajes del primer grupo (mujeres) y los puntajes del segundo grupo (hombres) (Tabla 5), no fueron significativamente diferente de 1, por lo que es posible señalar que existe invarianza de composición (Máñez-Guaderrama, 2021).

Los resultados de la evaluación de la invarianza del compuesto, lo cual corresponde al paso 2 de MICOM se indican en la Tabla 6. En la cuarta columna se muestra el cuantil del 5 % de la distribución empírica, que debe ser menor o igual al valor correspondiente de la columna denominada correlación original. Además, los valores de la columna P-valores de permutación deben ser superiores a 0.05, para indicar que la correlación no es significativamente menor a 1, como puede verse en los valores para cada constructo. Lo que permite establecer que existe invarianza de compuesto (Hair y col., 2019).

En los puntajes de los constructos de las mujeres y los puntajes de los constructos de los hombres no existieron diferencias significativas (Tabla 7), ya que se establece la igualdad de medias y varianzas.

Los resultados coinciden con trabajos previos que indican que el género no influye en la MH (Trojanowski y Kułak, 2017; Kwofie y Adjei, 2019; Palos-Sanchez y col., 2019), ni

■ **Tabla 5. Correlación del género con las variables del modelo de medición reflectivo.**

Table 5. Gender correlation with the variables of the reflective measurement model.

Parámetro	INT	ER	IS	MH	CF	RP	TRA
Correlación de Pearson	0.083	0.072	0.054	-0.026	0.031	0.017	-0.071
Sig. (2-colas)	0.229	0.301	0.439	0.712	0.659	0.806	0.307
N	211	211	211	211	211	211	211

■ **Tabla 6. Procedimiento MICOM- Invarianza de composición.**

Table 6. MICOM procedure- Composition invariance.

Constructo	Correlación original	Correlación de medias de permutación	5.0 %	P-valores de permutación
INT	1.000	1.000	0.999	0.791
ER	0.998	0.996	0.987	0.555
IS	0.998	0.997	0.989	0.395
MH	1.000	0.999	0.998	0.918
CF	0.997	0.997	0.992	0.312
RP	0.999	0.866	0.379	0.989
TRA	0.989	0.978	0.945	0.429

■ Tabla 7. Procedimiento MICOM. Igualdad en los valores de medias y varianzas de los composites del modelo de medición.

Table 7. MICOM procedure. Equality in the values of means and variances of the composites of the measurement model.

Constructo	Diferencias originales (Hombres - Mujeres)	Diferencia de medias de permutación (Hombres - Mujeres)	2.5 %	97.5 %	P-valores de permutación
INT	- 0.170	0.003	- 0.278	0.286	0.245
ER	- 0.266	0.000	- 0.276	0.272	0.055
IS	- 0.109	0.004	- 0.268	0.276	0.437
MH	0.052	0.002	- 0.259	0.290	0.707
CF	- 0.062	0.002	- 0.285	0.277	0.666
RP	- 0.035	0.003	- 0.270	0.284	0.820
TRA	0.177	- 0.004	- 0.276	0.244	0.189

en la IS (Hew y col., 2015), tampoco en el RP (Faqih, 2016; Natarajan y col., 2017), la ER (Palos-Sanchez y col., 2019), las CF (Palos-Sanchez y col., 2019), la TRA (Arif y col., 2020), y la INT (Ntsafack y col., 2020).

En los parámetros de coeficientes de correlación parcial (path) y su nivel de significancia (Figura 1) se observó que las variables facilitadoras exógenas IS y ER influyeron positiva y significativamente sobre la variable endógena INT. Lo que coincide con lo señalado en trabajos previos (Blaise y col., 2018; Chimborazo y col., 2021; Samad y col., 2021; Purohit y col., 2022). También se observó que la TRA influyó negativa y significativamente sobre la INT, coincidiendo con Slade y col. (2015); Moorthy y col. (2017) y Bahaddad (2021). El resto de las correlaciones no fueron significativas.

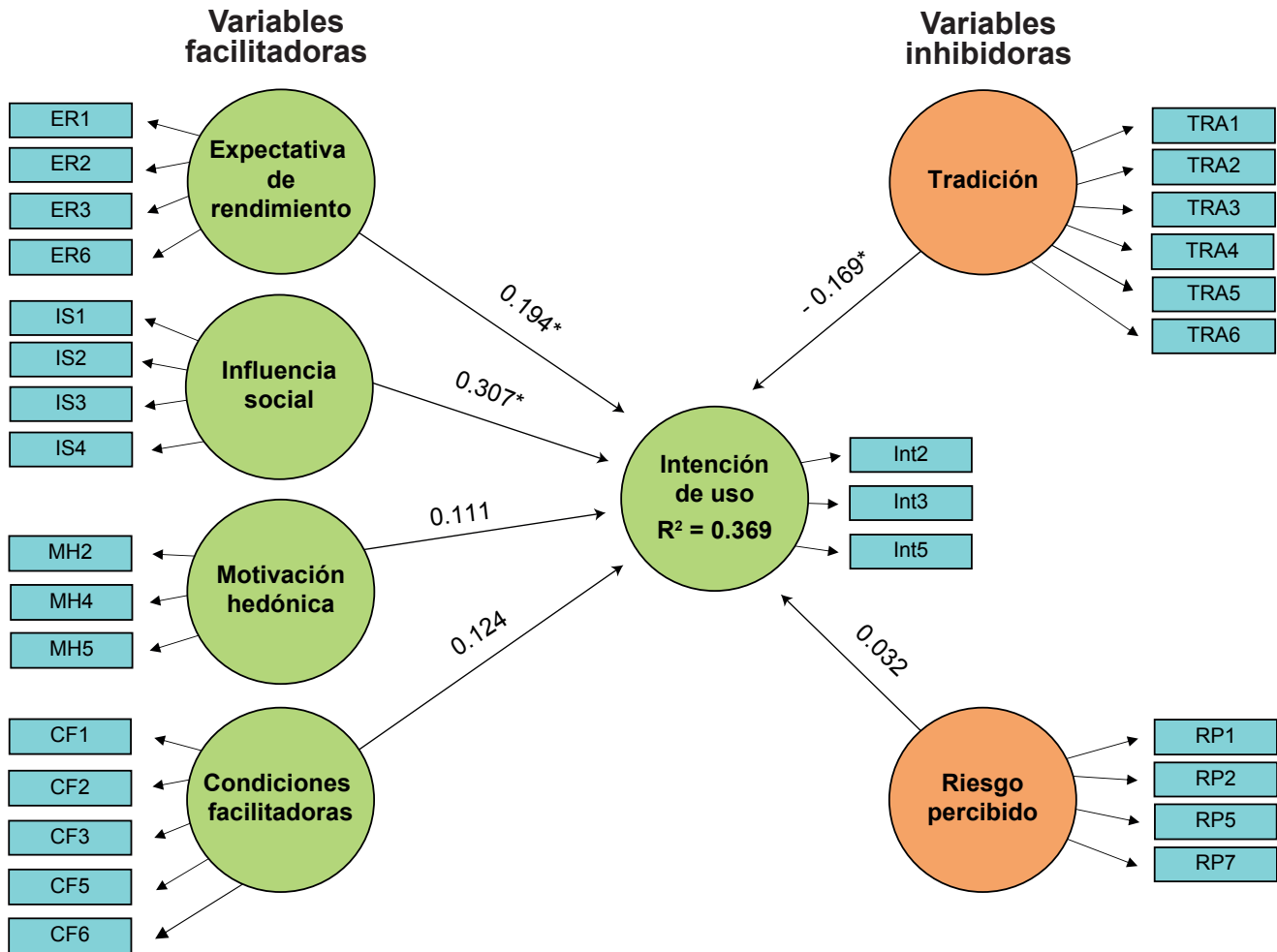
En el contexto del presente estudio, se encontró que la INT tiene un poder explicativo débil ($R^2 = 0.369$) (Figura 1 y Tabla 8) respecto a las variables independientes (Hair y col., 2020). Además, el valor Stone Geiser (Q^2) indicó que la INT tiene un poder predictivo moderado (Ali y col., 2018).

Los ítems correspondientes a las variables facilitadoras presentaron en general mayor carga factorial (Tabla 2), lo que sugiere que, en el contexto estudiado, se manifestaron más

por la percepción del consumidor de usar el comercio móvil, por ejemplo, el ítem CF6 tuvo una carga de 0.928 y se relaciona con la existencia de distintas formas de pago (tarjeta de crédito/débito, banca en línea, tienda de conveniencia, PayPal, etc.) que facilitan el proceso de adquisición de bienes y servicios.

En el caso de la ER, destacó fuertemente el ahorro de tiempo ($ER3 = 0.822$); mientras que la IS se desplegó en mayor grado cuando los consumidores percibieron que su entorno más cercano cree que deberían comprar en comercio móvil ($IS1 = 0.896$). Respecto a la MH, esta se reflejó más explícitamente cuando los consumidores indicaron que comprar en comercio móvil les resultaría divertido ($MH4 = 0.924$). Por último, el RP se manifestó en mayor grado en la preocupación de que comprar por medio de comercio móvil fuera inseguro ($RP2 = 0.923$); mientras que el efecto de la TRA se observó en mayor grado porque manifestaron preferir comprar de manera física que en comercio móvil ($TRA2 = 0.873$).

A partir de los resultados se tiene que solo tres de las 6 variables independientes propuestas fueron significativas para la muestra, es decir, explican la intención de uso del comercio móvil. Sin embargo, se recomienda replicar el instrumento a fin de validar estos



■ Figura 1. Modelo estructural. Los valores sobre los flechas indican la dimensión obtenida para R² y el asterisco (*) su significancia (P ≤ 0.01).

Figure 1. Structural model. The values on the arrows indicate the dimension obtained for R² and the asterisk (*) indicates its significance (P ≤ 0.01).

■ Tabla 8. Poder explicativo y predictivo.

Table 8. Explanatory and predictive power.

Variable endógena	R ²	Q ²
Intención de uso	0.369	0.299

resultados, mismos que son relevantes para las empresas a fin de usarlos en el impulso del comercio móvil.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mostraron que la escala desarrollada de intención de uso del comercio móvil satisfizo los criterios exigibles

para un modelo de medición reflectivo. El análisis compuesto confirmatorio determinó que las cargas factoriales de los ítems fueron adecuadas por su valor y estadísticamente significativas, cumpliendo con los criterios recomendados en términos de fiabilidad del ítem, fiabilidad compuesta, validez convergente, discriminante, nomológica y predictiva. El instrumento desarrollado, con 29 ítems en español, que explica 36.9 % de la intención del uso del *m-commerce* permitirá realizar investigaciones para predecir el uso de este mercado por diferentes grupos de consumidores, así como, analizar los factores que influyen en el mismo, lo cual resulta valioso para los investigadores interesados en el tema. Además, el instrumento podrá ser utilizado, y de ser

necesario, adaptado y validado en otras regiones latinoamericanas.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Ajzen, I. and Fishbein, M. (1975). A Bayesian analysis of attribution processes. *Psychological Bulletin*. 82(2): 261-277.
- Al-Adwan, A. S., Alrousan, M., Al-Soud, A., and Al-Yaseen, H. (2019). Revealing the black box of shifting from electronic commerce to mobile commerce: The case of Jordan. *Journal of Theoretical & Applied Electronic Commerce Research*. 14(1): 51-67.
- Ali, F., Rasoolimanesh, S. M., Sarstedt, M., Ringle, C. M., and Ryu, K. (2018). An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) in hospitality research. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 30(1): 514-538.
- Arif, I., Aslam, W., and Hwang, Y. (2020). Barriers in adoption of internet banking: A structural equation modeling - Neural network approach. *Technology in Society*. 61: 101231.
- Bagozzi, R. P. and Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models. *Journal of the Academy of Marketing Science*. 16(1): 74-94.
- Bahaddad, A. A. (2021). The traditional influence on increasing acceptance of commercial smartphone applications in specific regions of the arabic world. *Complexity*. 1-16.
- Barroso, C., Carrión, G. C., and Roldán, J. L. (2010). Applying Maximum Likelihood and PLS on Different Sample Sizes: Studies on SERVQUAL Model and Employee Behavior Model. In V. Esposito Vinzi, W. W. Chin, J. Henseler and H. Wang (Eds.), *Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications* (pp. 427-447). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Blaise, R., Halloran, M., and Muchnick, M. (2018). Mobile commerce competitive advantage: A Quantitative Study of Variables that Predict M-Commerce Purchase Intentions. *Journal of Internet Commerce*. 17(2): 96-114.
- Chimborazo, L. E., Frassetto, M., and Mollá, A. (2021). Explaining Mobile Commerce Usage Intention Based on Technology Acceptance Models in a Developing Market Context. *Market / Trziste*. 33(1): 25-40.
- Chin, W.W. (2010). How to Write Up and Report PLS Analyses. In V. Esposito, Vinzi, W. W. Chin, J. Henseler, and H. Wang, (Eds.), *Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications*. (pp. 655-690). Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York.
- Cruz, I. y Miranda, A. M. (2023). Factores determinantes de la adopción del m-commerce en consumidores de Tijuana. *Estudios Gerenciales*. 39(167). 192-206.
- DeVellis, R. F. (2016). *Scale Development: Theory and Applications*. (Cuarta edición). Los Ángeles, U.S.A: Ed. SAGE. 280 Pp.
- Do-Nascimento, J. and Da-Silva-Macedo, M. (2016). Modelagem de equações estruturais com mínimos quadrados parciais: um exemplo da aplicação do SmartPLS® em pesquisas em contabilidade. *Revista de Educação e Pesquisa em Contabilidade*. 10(3): 289-313.
- Escobar-Pérez, J. y Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*. 6(1): 27-36.
- Faqih, K. M. S. (2016). An empirical analysis of factors predicting the behavioral intention to adopt Internet shopping technology among non-shoppers in a developing country context: Does gender matter? *Journal of Retailing and Consumer Services*. 30: 140-164.
- Gao, K. and Shao, X. (2019). Adoption research of the m-commerce application based on the perspective of supply chain management in shipping industry. *Journal of Coastal Research*. 83(10083): 839-845.
- Grcić, A. and Mekić, E. (2019). Predictors of m-continuance intention: Case of users in Bosnia and Herzegovina. *Economic Review: Journal of Economics & Business/Ekonomska Revija: Casopis Za Ekonomiju i Biznis*. 17(2): 27-40.
- Hair, J. F., Howard, M. C., and Nitzl, C. (2020). Assessing measurement model quality in PLS-SEM using confirmatory composite analysis. *Journal of Business Research*. 109: 101-110.

- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Castillo-Apráiz, J., Cepeda-Carrión, G., and Roldán, J. L. (2019). *Manual de Partial Least Squares Structural Equation Modeling (pls-sem)* (Second edition). Terrassa, España: OmniaScience.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. ..., and Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (Second edition). Los Ángeles, U.S.A: Sage publications. 384 Pp.
- Hambleton, R. K. and Zenisky, A. L. (2011). Translating and adapting tests for cross-cultural assessments, in *Cross-cultural research methods in psychology*. [En línea]. Disponible en: <https://psycnet.apa.org/record/2010-22491-003>. Fecha de consulta: 6 de abril de 2022.
- Henseler, J., Ringle, C. M., and Sarstedt, M. (2016). Testing measurement invariance of composites using partial least squares. *International Marketing Review*. 33(3): 405-431.
- Henseler, J., Ringle, C. M., and Sinkovics, R. R. (2009). "The use of partial least squares path modeling in international marketing". In R. R. Sinkovics and P. N. Ghauri (Eds.), *New Challenges to International Marketing* (pp. 277-319). Emerald Group Publishing Limited, Bingley.
- Hew, J. J., Lee, V. H., Ooi, K. B., and Wei, J. (2015). What catalyses mobile apps usage intention: An empirical analysis, in *Industrial Management & Data Systems*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IMDS-01-2015-0028>. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022.
- Iuga, I. C. and Wainberg, D. (2023). Factors That Influence the Implementation of M-Commerce by Romanian SMEs During the COVID-19 Pandemic. *Journal of the Knowledge Economy*. 1-34.
- Imbachí, J. F. (2016). m-commerce: El comercio electrónico móvil y los pagos a través de dispositivos móviles. *Revista Contexto*. 46: 117-140.
- Kalinic, Z. and Marinkovic, V. (2016). Determinants of users' intention to adopt m-commerce: An empirical analysis. *Information Systems and e-Business Management*. 14(2): 367-387.
- Kaur, P., Dhir, A., Singh, N., Sahu, G., and Almotairi, M. (2020). An innovation resistance theory perspective on mobile payment solutions. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 55: 102059.
- Kim, C., Li, W., and Kim, D. J. (2015). An empirical analysis of factors influencing m-shopping use. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 31(12): 974-994.
- Kwofie, M. and Adjei, J. K. (2019). Understanding the factors influencing mobile commerce adoption by traders in developing countries: Evidence from Ghana. En Y. Dwivedi, E. Ayaburi, R. Boateng, and J. Effah (Eds.), *ICT Unbounded, Social Impact of Bright ICT Adoption* (pp. 104-127). USA: Springer International Publishing.
- Ledesma, R. D., Ferrando, P. J. y Tosi, J. D. (2019). Uso del análisis factorial exploratorio en RIDEP. Recomendaciones para Autores y Revisores. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación Psicológica*. 52(52): 173-180.
- Lee, W. O. and Wong, L. S. (2016). Determinants of mobile commerce customer loyalty in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 224: 60-67.
- Lira, M. T. y Caballero, E. (2020). Adaptación transcultural de instrumentos de evaluación en salud: historia y reflexiones del por qué, cómo y cuándo. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 31(1): 85-94.
- Lissitsa, S. and Kol, O. (2019). Four generational cohorts and hedonic m-shopping: Association between personality traits and purchase intention. *Electronic Commerce Research*. 21(2): 545-570.
- Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A. y Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología*. 30(3): 1151-1169.
- Máynez-Guaderrama, A. I. (2021). Apoyo del supervisor: su influencia en la autonomía, cohesión y percepción de apoyo organizacional en una dependencia del gobierno. *Estudios Gerenciales*. 37(160): 448-459.
- Mehedintu, A. and Soava, G. (2022). A Hybrid SEM-Neural Network Modeling of Quality of M-Commerce Services under the Impact of the COVID-19 Pandemic. *Electronics*. 11(16): 299.
- Moorthy, K., Suet-Ling, C., Weng-Fatt, Y., Mun-Yee, C., Ket-Yin, E. C., Sin-Yee, K., and Kok-Wei, L. (2017). Barriers of mobile commerce adoption intention: Perceptions of generation X in Malaysia. *Journal of Theoretical & Applied Electronic Commerce Research*. 12(2): 37-53.
- Natarajan, T., Balasubramanian, S. A., and Kasilingam, D. L. (2017). Understanding the intention to use mobile shopping applications and its influence on price sensitivity. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 37: 8-22.

- Ntsafack, F. W., Kala, J. R., and Fosso, S. (2020). Mobile commerce adoption in a developing country: Driving factors in the case of Cameroon, in *ICT for an Inclusive World. Lecture Notes in Information Systems and Organisation*. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34269-2_20. Fecha de consulta: 6 de abril de 2022.
- Palos-Sanchez, P. R., Correia, M. B., and Saura, J. R. (2019). An empirical examination of adoption of mobile applications in Spain and Portugal, based in UTAUT. *International Journal of Mobile Communications*. 17(5): 579-603.
- Pandey, S. and Chawla, D. (2019). Engaging m-commerce adopters in India: Exploring the two ends of the adoption continuum across four m-commerce categories. *Journal of Enterprise Information Management*. 32(1): 191-210.
- Purohit, S., Arora, R., and Paul, J. (2022). The bright side of online consumer behavior: Continuance intention for mobile payments. *Journal of Consumer Behaviour*. 21(3): 523-542.
- Ringle, C. M., Wende, S., and Becker, J. M. (2015). SmartPLS 3. SmartPLS GmbH, Boenningstedt. *Journal of Service Science and Management*. 10(3): 32-49.
- Sair, S. A. and Danish, R. Q. (2018). Effect of performance expectancy and effort expectancy on the mobile commerce adoption intention through personal innovativeness among Pakistani consumers. *Pakistan Journal of Commerce & Social Sciences*. 12(2): 501-520.
- Samad, N. S. A., Abdullah, F. A., Yaziz, M. F. A., and Bahari, N. (2021). The factors influencing the usage of mobile commerce among rural entrepreneurs in peninsular Malaysia. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. 16(20): 131-145.
- Sánchez, M. I., López-Torres, V. G., Montes-de-Oca-Rojas, Y. M., and Leyva-Hernández, S. N. (2022). Mobile commerce usage explained by intention to use, price motivation, and COVID-19. *Journal of Positive School Psychology*. 5690-5709.
- Shaw, N. and Sergueeva, K. (2019). The non-monetary benefits of mobile commerce: Extending UTAUT2 with perceived value. *International Journal of Information Management*. 45: 44-55.
- Singh, S., Zolkepli, I. A., and Cheah, W. K. (2018). New wave in mobile commerce adoption via mobile applications in Malaysian market: Investigating the relationship between consumer acceptance, trust, and self efficacy. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. 12(7): 112-128.
- Slade, E. L., Dwivedi, Y. K., Piercy, N. C., and Williams, M. D. (2015). Modeling consumers' adoption intentions of remote mobile payments in the United Kingdom: Extending UTAUT with innovativeness, risk, and trust. *Psychology & Marketing*. 32(8): 860-873.
- Soni, M., Jain, K. and Kumar, B. (2019). Factors affecting the adoption of fashion mobile shopping applications. *Journal of Global Fashion Marketing*. 10(4): 358-376.
- Sujatha, R. and Sekkizhar, J. (2019). Determinants of m-commerce adoption in India Using technology acceptance model infused with innovation diffusion theory. *Journal of Management Research*. 19(3): 193-204.
- Tarhini, A., Alalwan, A. A., Shammout, A. B., and Al-Badi, A. (2019). An analysis of the factors affecting mobile commerce adoption in developing countries: Towards an integrated model. *Review of International Business and Strategy*. 29(3): 157-179.
- Trojanowski, M. and Kulak, J. (2017). The impact of moderators and trust on consumer's intention to use a mobile phone for purchases. *Central European Management Journal*. 25(2): 91-116.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., and Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*. 27(3): 425-478.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., and Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: Extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly*. 36(1): 157-178.
- Verkijika, S. F. (2018). Factors influencing the adoption of mobile commerce applications in Cameroon. *Telematics and Informatics*. 35(6): 16651674.
- Yadav, R., Sharma, S. K., and Tarhini, A. (2015). A multi-analytical approach to understand and predict the mobile commerce adoption. *Journal of Enterprise Information Management*. 29(2): 222-237.



Pilares institucionales y orientación emprendedora en agricultores del estado de Aguascalientes: el rol mediador de las redes de colaboración

Institutional pillars and entrepreneurial orientation in farmers in the state of Aguascalientes: the mediating role of collaboration networks

Neftali Parga-Montoya^{1*}, Héctor Cuevas-Vargas²

RESUMEN

La orientación emprendedora es crucial para que los agricultores desempeñen su actividad económica con mayor crecimiento. El entorno institucional y la colaboración juegan un papel importante para desarrollar habilidades de emprendimiento. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto mediador de las redes de colaboración en la relación de los pilares institucionales y la orientación emprendedora de los campesinos. Se tomó como base la teoría neoinstitucional, la teoría del capital social y la teoría de los recursos y capacidades. Se hizo un estudio empírico con base en un modelo de ecuaciones estructurales. Se realizó un levantamiento de información con 192 productores agrícolas localizados en el estado de Aguascalientes. En la postura emprendedora, la proactividad fue más importante que arriesgarse o ser más innovador para abarcar con mayor profundidad el mercado. La mediación de las redes de colaboración entre los agricultores ayuda con los costos de las regulaciones, el desconocimiento del entorno institucional y la administración de la actividad agrícola.

PALABRAS CLAVE: teoría institucional, emprendimiento rural, redes de colaboración, modelos de ecuaciones estructurales.

ABSTRACT

Entrepreneurial orientation is crucial for farmers to carry out their economic activity with greater growth. The institutional environment and collaboration play an important role in developing entrepreneurial skills. The objective of this study was to determine the mediating effect of collaboration networks in the relationship between institutional pillars and the entrepreneurial orientation of peasants. The neoinstitutional theory, the theory of social capital and the theory of resources and capabilities are taken as a theoretical basis. It is an empirical study based on a structural equation model. An information survey was carried out with 192 agricultural producers located in the state of Aguascalientes. Relevant results were obtained on the involvement of the entrepreneurial stance, taking into account that the dimension of proactivity is more important than taking risks or being more innovative to cover the market in greater depth. An important finding was that the mediation of collaborative networks between farmers helps lower the costs of regulations and overcome the lack of knowledge about the institutional context and agricultural activity management.

KEYWORDS: institutional theory, rural entrepreneurship, network ties, structural equation modelling.

*Correspondencia: neftali.parga@edu.uaa.mx/Fecha de recepción: 13 de septiembre de 2022/Fecha de aceptación: 11 de diciembre de 2023 /Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

¹Universidad Autónoma de Aguascalientes, Departamento de Agronegocios, Centro de Ciencias Empresariales, Campus Sur, Avenida Prolongación Mahatma Gandhi, núm. 6601, col. El Gigante, Ejido Arellano, Aguascalientes, Aguascalientes, México, C.P. 20340. ²Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Departamento de Innovación empresarial y marketing, Valle de Santiago, Guanajuato, México.

INTRODUCCIÓN

En el sector agrícola, los estudios que se relacionan con la capacidad emprendedora resaltan las implicaciones que tienen las habilidades de emprender. Con esto, se beneficia el sector rural con mejores condiciones de empleo y un aumento del derrame económico (Naminse y Zhuang, 2018). Para Maziriri y Mapuranga (2018), la orientación emprendedora es crucial para los campesinos porque tiene impacto positivo en el crecimiento de sus negocios agrícolas y los convierte en agentes de la actividad productiva en condiciones vulnerables.

La literatura ha considerado a la orientación emprendedora como un efecto del contexto institucional o de las redes de colaboración. Varios estudios han estimado que las decisiones estratégicas de los agricultores se ven favorecidas cuando existe un entorno de certidumbre, protección, legitimidad y facilidad para conseguir conocimiento (Lang y Fink, 2019; Pindado y Sánchez, 2019; Shu y col., 2019), pero son necesarias sus capacidades emprendedoras para alcanzar los beneficios que trae consigo las acciones de emprendimiento. El contexto institucional conceptualiza el marco legal y condiciones socioculturales que permiten la colaboración en un ambiente de certidumbre (Wincent y col., 2016), estado de derecho (Levie y Autio, 2011), y confianza en la figura del campesino (Kang y col., 2016).

Usualmente, la literatura discute la capacidad emprendedora como un conductor de innovación y capacidad de absorción (Barzola-Iza y col., 2020). De igual forma, un elemento discutido por la literatura para explicar la orientación emprendedora en los agricultores han sido las redes que establecen en el entorno que favorecen su actividad agrícola. Autores como Greenberg y col. (2018); Flanagan y col. (2019); Luu y Ngo (2019), han asociado a las redes de colaboración con el incremento de las capacidades para detectar oportunidades de negocio, arriesgar capital y acciones más efectivas hacia la innovación y la competencia proactiva. Desde la teoría del capital social

(Nahapiet y Ghoshal, 2009), existe una carencia de estudios que determinen los efectos que tienen las redes de colaboración sobre la orientación emprendedora de los campesinos. La actividad agrícola presenta barreras constantes para construir condiciones adecuadas de emprendimiento, la capacidad de asociarse es un elemento fundamental para reducir los efectos que tienen los factores del entorno hostil y restrictivo en el que regularmente se desarrollan (Futemma y col., 2020).

Los estudios de la teoría neoinstitucional (NIT, por sus siglas en inglés: Neoinstitutional Theory) se han incrementado a lo largo de los últimos años (Kostova y col., 2008). De acuerdo con Scott (2013), el principal objetivo de la NIT es describir y examinar el marco institucional en el que se dan interacciones de las instituciones y organizaciones. En la configuración política, social y legal de las reglas formales e informales (Urbano y col., 2019), construidas por la sociedad para favorecer la producción, intercambio y distribución (North, 1990).

Siguiendo el discurso de Scott (2013), tres pilares construyen la estructura institucional que provee la guía y línea de acción de los actores, en este caso, los agricultores. El pilar regulativo se refiere a las reglas escritas que tienen el poder de restringir o castigar el comportamiento de los individuos al interactuar con los demás (Kostova y col., 2008). El pilar normativo representa la composición de motivantes sociales estructurados que dan forma al conjunto de decisiones tomadas por un individuo (Scott, 2013). Abarca el valor que le atribuye un individuo, en una sociedad, a un perfil específico. Este perfil normativo es consistente con las creencias y estándares o normas sociales que tiene la sociedad en general (Kostova y Roth, 2002). Por último, el pilar cognitivo concibe los significados, símbolos y esquemas mentales que tiene un individuo en relación a su entorno (Scott, 2013). Este aspecto les proporciona a los individuos los procesos interpretativos necesarios para tomar caminos de decisión, en respuesta a las situacio-

nes que se les presentan en su actividad diaria (Mohammed, 2020).

De igual forma, para la teoría del capital social, en una sociedad, los actores económicos establecen relaciones que son útiles para compartir recursos e información (Nahapiet y Ghoshal, 2009). Las redes de trabajo generan información sobre mercados, suministros e insumos (Martins, 2016). Se vuelven sólidas cuando el contexto institucional es confiable y promueve la colaboración a partir de normas culturales (McKitterick y col., 2016).

Teniendo como base la teoría de los recursos y capacidades (Miller, 2019), la orientación emprendedora surgió como una postura estratégica que dirige a una organización a través de actividades emprendedoras (Susanto y col., 2019). Se reconocen tres componentes principales que engloban la orientación hacia tener la voluntad de arriesgar capital para invertir en mejores oportunidades de negocio, desarrollar nuevas ideas y tomar decisiones proactivas que atiendan la competitividad: innovatividad, proactividad y toma de riesgo (Jeffrey y Covin, 2018). La innovatividad se refiere a tener la intención o la postura a crear nuevos productos, procesos, actividades desde una nueva forma que sea novedosa en el sector. La proactividad es la capacidad de anticiparse a los competidores, desarrollar iniciativas a pesar del esfuerzo que representan y planear proyectos con el fin demadelantarse a la competencia. La toma de riesgo es actuar con valentía, invertir tiempo y dinero a pesar de que representa un alto riesgo, así como, tomar acciones para tomar nuevos mercados en el sector (Koe, 2016).

La orientación emprendedora individual (IEO, por sus siglas en inglés: individual entrepreneurial orientation) es una capacidad que facilita el descubrimiento de nuevas oportunidades de negocio, así como incentiva las intenciones de crecer (Maziriri y Mapuranga, 2018). Para los agricultores, la orientación emprendedora, permite explotar y explorar las oportunidades que tiene su actividad agrícola (Shu y col., 2019). Por ejemplo, el estudio de

Andati y col. (2022) demuestra con sus resultados las oportunidades que genera la orientación emprendedora, se ve reflejada en actividades tecnológicas, acceso a créditos, facilidades financieras, soluciones digitales y una mejor adaptación al cambio ambiental. Esta capacidad emprendedora es esencial en la adquisición de recursos como una postura ventajosa y complementaria a las habilidades agrícolas (Udimal y col., 2019).

Las redes comerciales reducen la ambigüedad y la confianza de con quienes se hacen los negocios (Guercini y Tunisini, 2017). De acuerdo con la literatura, las redes de trabajo tienen impacto en la forma de arriesgar capital (Greenberg y col., 2018), así como, tener innovaciones más efectivas con acciones proactivas (Luu y Ngo, 2019). Las redes institucionales tienen funciones particulares que sirven como agentes económicos que reducen las barreras del marco institucional (Wales y col., 2016; Wang y Juan, 2016). Las redes institucionales tienen efectos sobre las deficiencias que presenta el marco institucional, permitiendo que los actores decidan arriesgarse en mejores condiciones de inversión (Fuentelsaz y González, 2015). Los vínculos institucionales son conductores ideales para los campesinos que, han tomado una perspectiva de negocio a su actividad agrícola, desarrollan sus capacidades de planeación, competencia y gestión (Henke y Vanni, 2017).

El estudio de Gunawan y col. (2016), señala que las redes de colaboración tienen impacto en el comportamiento innovativo, puesto que se requiere mayor información esencial de tendencias, procesos y tecnologías convenientes para las futuras oportunidades de negocio. Por su lado, para Shu y col. (2018) las redes de colaboración integran el contexto para reconocer información valiosa, tratos oportunos para hacer negocios y capacidades para realizar emprendimientos. El efecto mediador de las redes de colaboración ha sido evaluado en relaciones que favorecen la inclusión e intermediación financiera, en el nivel de emprendimiento y los tipos de innovación.

El sector agrícola en México se caracteriza por conformarse por unidades de producción agrícolas de subsistencia, predominantemente de núcleos familiares que no consideran políticas precisas para la toma de decisiones de la actividad agrícola (Boza y col., 2018) con pocas actividades comerciales y desde una economía informal (SAGARPA/FAO, 2012). La población rural vive en condiciones precarias (Torres-Mazuera, 2015), poco acceso a recursos y servicios públicos, así como, una deficiente infraestructura productiva (Morett-Sánchez y Cosío-Ruiz, 2017). Por lo que es necesario estudiar los pilares institucionales que proveen la guía y línea de acción de los agricultores, así como su orientación emprendedora y sus redes de colaboración, para poder establecer los beneficios que conlleva.

El objetivo de este estudio fue determinar los efectos que existen entre el contexto institucional, las redes de colaboración y la orientación emprendedora de los campesinos hidrocládidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio cuantitativo, transversal, no experimental.

Población de estudio

Se trabajó con 97 productores de chile y 95 de vid del estado de Aguascalientes, México, seleccionados por un criterio de conveniencia, ya que se tenía contacto con los gerentes de los sistemas producto de cada cultivo en el estado, los cuales requerían un censo de los agricultores pertenecientes a su agrupación. Para recolectar la información se realizaron entrevistas personales en sus domicilios o mediante asambleas semanales en las comunidades rurales, usando un cuestionario.

Instrumento

El instrumento de medición se divide en dos bloques. El primero corresponde a la información de sexo, edad, formación académica y área cultivada de los participantes. La segunda parte contempla las tres variables del estudio: pilares institucionales, redes de cola-

boración (variables exógenas) y orientación emprendedora (variable endógena).

Pilares institucionales

Se utilizó el instrumento desarrollado por Kostova y Roth (2002), adaptado a 13 indicadores que fueron medidos con una escala tipo Likert de cinco puntos, donde 1 = nada importante y 5 = muy importante. Se compone de tres dimensiones de tipo reflectivo que miden la percepción del contexto institucional, de acuerdo con lo planteado previamente por Scott (2013): regulatorio (4 ítems), normativo (5 ítems) y cognitivo (5 ítems).

Redes de colaboración

Se utilizaron 8 de los 9 ítems de la escala desarrollada por Yiu y col. (2007), en la que considera la cercanía que se tiene con otros actores económicos relacionados con su actividad económica en dos dimensiones: redes comerciales y redes institucionales. Para las redes comerciales se tomó en consideración a los proveedores, clientes y competidores; mientras que para las redes institucionales se consideró al gobierno, universidades, bancos, gremios, comisiones legislativas y dueños de empresas de otros giros. Se utilizó una escala tipo Likert de cinco puntos donde 1 = no tiene relación y 5 = una relación muy cercana. De acuerdo con el autor del instrumento, el objetivo de la escala es evaluar de forma genérica las ventajas y desventajas de la proclividad que tiene el sujeto de estudio para vincularse con el sector en el que se desempeña.

Orientación emprendedora

Se midió a través de una adaptación del instrumento de estrategia emprendedora de Covin y Slevin (1989). La escala es una de las más referenciadas en la literatura para analizar la orientación emprendedora de las empresas (Covin y Wales, 2012). Esta escala mide la orientación emprendedora con tres dimensiones de tipo reflectivo: innovatividad (3 ítems), proactividad (2 ítems) y toma de riesgo (3 ítems). Se utilizó una escala tipo Likert de cinco puntos, donde 1 = nada importante y 5 = muy importante.

El cuestionario fue previamente traducido y se validó por un panel de expertos conformado por tres directores de los comités estatales de los productos agrícolas (Comité Estatal del Sistema Producto Chile y Consejo Estatal de Vinicultores del estado de Aguascalientes). Se realizaron asambleas de agricultores de los cultivos en cuestión para adaptar los indicadores al lenguaje del informante y evitar sesgos presentes que provinieran de la adaptación de las escalas.

El modelo teórico

Se establecieron relaciones unidireccionales entre las 3 variables de estudio (Figura 1), lo que permite determinar la influencia y no una correlación (Wetzels y col., 2009; Ketchen, 2013; Hair y col., 2014). A través de este modelo se buscó determinar la influencia que ejerce cada variable en las demás para comprobar con las siguientes hipótesis de trabajo.

H₁: Los pilares institucionales influyen sobre las redes de colaboración.

H₂: Los pilares institucionales influyen sobre la orientación emprendedora.

H₃: Las redes de colaboración influyen sobre la orientación emprendedora de los agricultores.

H₄: Existe un efecto mediador de las redes de colaboración en la relación de los pilares institucionales y la orientación emprendedora

Fiabilidad y validez

Los resultados de fiabilidad y validez convergente de los constructos reflectivos de primer orden (regulativo, normativo, cognitivo, redes comerciales, redes institucionales, innovatividad, proactividad y toma de riesgo) las tres escalas de segundo orden (pilares institucionales, redes de colaboración) y orientación emprendedora se obtuvieron la metodología descrita por Hair y col. (2017), quienes indicaron que deben estar por encima de 0.7 para que la fiabilidad compuesta sea adecuada para realizar el análisis, en el caso del alpha de Cronbach las variables exógenas deben supe-

rar el 0.7 (Nunnally y Bernstein, 1994). El valor crítico de la varianza extraída promedio (AVE) debe ser superior de 0.5 (Fornell y Larcker, 1981). Las cargas factoriales de los indicadores deben ser mayores a 0.7 (Hair y col., 2017) para realizar el modelo de ecuaciones estructurales.

Validez discriminante

Se evaluó a través de dos pruebas: el test del Heterotrait-Monotrait (HTMT) y el test de Fornell y Larcker (1981). La prueba Heterotrait-Monotrait consiste en revisar los valores por encima de la diagonal de la matriz de las razones de las correlaciones (HTMT₈₅) (Henseler y col., 2014). Se considera el mejor criterio para determinar que se tiene validez discriminante entre los constructos (Cuevas-Vargas y col., 2019).

El test del criterio Fornell-Larcker establece que los valores de las correlaciones entre los constructos deben ser inferiores a la raíz cuadrada del AVE de cada uno de ellos, y según Fornell y Larcker (1981) estos valores deben ser superiores que sus correlaciones correspondientes con cualquier otro constructo.

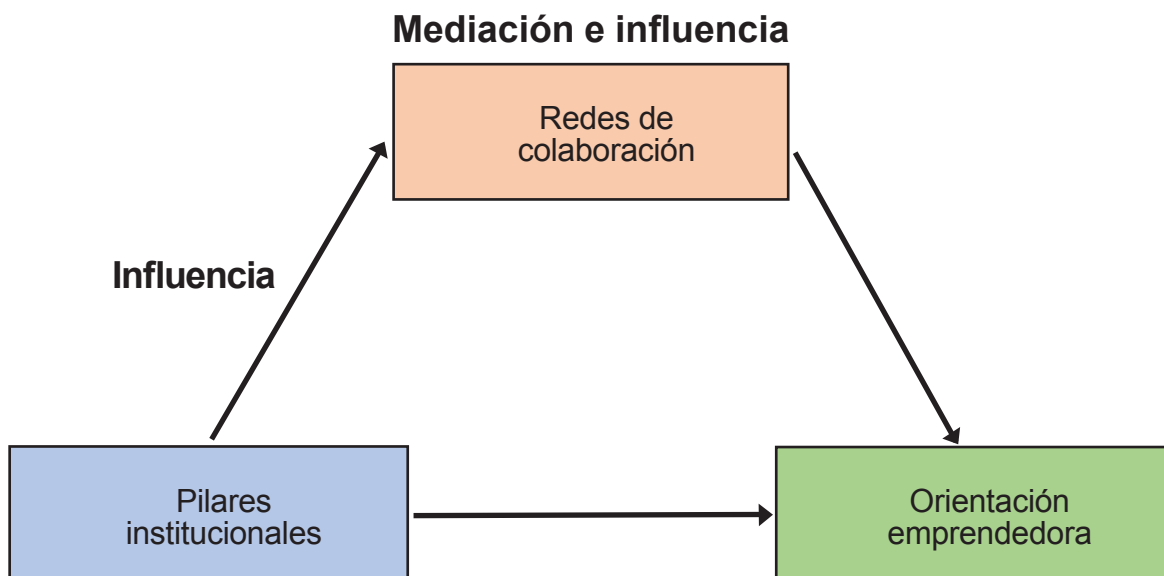
Análisis de datos

Se utilizó la metodología de Modelado de Ecuaciones Estructurales mediante mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM, por sus siglas en inglés: Partial Least Squares Structural Equation Modeling) con el software estadístico SmartPLS 3® (Ringle y col., 2015), que permite resolver los posibles problemas de falta de normalidad de los datos a través del *bootstrapping* (Hair y col., 2017). El proceso se llevó a cabo en dos fases, en la primera se estimó el modelo de medición, en el cual se realizaron las pruebas de fiabilidad y validez de las escalas; y en la segunda, se evaluó el modelo estructural y los efectos mediadores.

RESULTADOS

Características sociodemográficas

La distribución por sexo, edad, nivel educativo y área cultivada de cada grupo se muestra en la Tabla 1. De los 192 agricultores en-



■ Figura 1. Modelo teórico de investigación.
Figure 1. Theoretical research model.

■ Tabla 1. Estadísticos descriptivos del perfil de edad y área cultivada de los entrevistados por nivel educativo y sexo.

Table 1. Descriptive statistics of the age profile and cultivated area of the interviewees by education level and sex.

Parámetro	Chile					Uva				
	n	Edad		Área Cultivada		n	Edad		Área Cultivada	
		Media	D.E.	Media	D.E.		Media	D.E.	Media	D.E.
Nivel educativo										
Ninguna	20	63.9	8.5	7.9	3.7	5	63.4	5.4	2.7	2.5
Primaria	15	51.7	11.4	14.6	17.1	23	65.0	9.8	1.3	1.5
Secundaria	34	46.3	10.9	43.3	128.2	26	53.1	9.1	3.1	5.2
Preparatoria	12	49.4	11.5	30.9	34.6	19	51.9	9.0	2.6	2.1
Licenciatura	13	46.0	12.5	38.9	27.9	16	56.3	12.8	3.6	2.6
Posgrado	3	52.0	12.5	12.0	10.0	6	54.8	5.1	31.8	69.2
Total	97	51.3	12.6	28.4	78.4	95	56.9	10.8	4.5	17.8
Sexo										
Hombre	97	51.3	12.6	28.4	78.4	88	56.3	10.9	4.7	18.5
Mujer	0	--	--	--	--	7	64.6	6.2	1.9	1.9

Tamaño de muestra: 192.

cuestados, 185 fueron hombres; las mujeres solo cultivaban uva. El nivel educativo mostró diferencia por actividad agrícola, ya que el 71.1 % de los agricultores dedicado al Chile carecían de educación primaria o contaban con primaria o secundaria, registrando un porcentaje superior al 56.8 % de los productores

de uva, con las mismas condiciones educativas. En el cultivo de Chile, las personas sin educación primaria presentaron el promedio más alto de edad y la menor cantidad de área cultivada. En el caso de la uva, los agricultores con mayor edad tenían nivel primaria o carecían de ella, pero, en general, sus

áreas de cultivo fueron similares a los demás, excepto para aquellos con posgrado, quienes presentaron más área que el resto del grupo.

Fiabilidad y validez del instrumento

Se obtuvo una alta consistencia interna de los 8 constructos reflectivos de primer orden (Tabla 2). También en las tres escalas de segundo orden se obtuvieron valores por encima de 0.7 en las cargas factoriales (Tabla 3), indi-

cando que la fiabilidad compuesta de todos los constructos fue adecuada (Hair y col., 2017). En el caso del alpha de Cronbach las variables exógenas superaron el 0.7, lo que valida el instrumento (Nunnally y Bernstein, 1994).

Validez discriminante

Los resultados obtenidos y presentados por encima de la diagonal, en la prueba Heterotrait-Monotrait (Tablas 4 y 5) demuestran que

■ **Tabla 2. Evaluación del modelo de medición de tipo reflectivo para constructos de primer orden.**
Table 2. Evaluation of the reflective type measurement model for first order constructs.

Constructo	Ítems*	Validez convergente		Fiabilidad compuesta		
		Rango de cargas > 0.7	Rango de t-valores	AVE	CR	Alfa de Cronbach
Regulatorio	AR1-AR4	0.831 a 0.900	> 2.57	> 0.5	> 0.7	> 0.7
Normativo	AN2-AN5*	0.766 a 0.804	18.525 a 34.680	0.617	0.866	0.796
Cognitivo	AC1-AC5	0.898 a 0.936	42.365 a 76.821	0.833	0.962	0.950
Redes comerciales	RE1-RE2*	0.949 a 0.951	88.429 a 99.534	0.903	0.949	0.892
Redes institucionales	RI1-RI6	0.707 a 0.853	6.206 a 43.844	0.606	0.902	0.869
Innovatividad	OEI1-OEI3	0.884 a 0.918	41.218 a 60.135	0.811	0.928	0.883
Proactividad	OEP1-OEP2*	0.909 a 0.934	45.510 a 101.431	0.850	0.919	0.824
Toma de riesgo	OER1-OER3	0.794 a 0.893	21.580 a 66.605	0.740	0.895	0.823

*Se eliminaron los indicadores AN1, RE3 y OEP3 por tener cargas factoriales inferiores a 0.7.

■ **Tabla 3. Evaluación del modelo de medición de tipo reflectivo para constructos de segundo orden.**
Table 3. Evaluation of the reflective type measurement model for second order constructs.

Constructos de segundo orden	Constructos de primer orden	Validez convergente		Fiabilidad compuesta		
		Coefficiente Path	t-valor	AVE	CR	Alfa de Cronbach
Pilares institucionales	Regulatorio	0.881	51.722	0.597	0.950	0.941
	Normativo	0.850	47.617			
	Cognitivo	0.944	114.994			
Redes de colaboración	Redes comerciales	0.688	16.759	0.513	0.893	0.863
	Redes institucionales	0.946	144.485			
Orientación emprendedora	Innovatividad	0.865	43.645	0.576	0.915	0.894
	Proactividad	0.856	45.818			
	Toma de riesgo	0.835	36.086			

■ **Tabla 4. Validez discriminante de los constructos de primer orden.**

Table 4. Discriminant validity of first order constructs.

Constructo	FOC1	FOC2	FOC3	FOC4	FOC5	FOC6	FOC7	FOC8
Regulatorio (FOC1)	0.861	0.741	0.805	0.113	0.193	0.306	0.358	0.349
Normativo (FOC2)	0.642	0.786	0.800	0.214	0.149	0.418	0.441	0.501
Cognitivo (FOC3)	0.738	0.720	0.913	0.098	0.199	0.281	0.467	0.441
Redes comerciales (FOC4)	- 0.065	0.119	- 0.060	0.950	0.471	0.390	0.273	0.327
Redes Institucionales (FOC5)	- 0.174	- 0.059	- 0.184	0.415	0.779	0.236	0.189	0.220
Innovatividad (FOC6)	0.269	0.346	0.257	0.346	0.205	0.900	0.749	0.615
Proactividad (FOC7)	0.308	0.364	0.416	0.237	0.163	0.642	0.922	0.732
Toma de riesgo (FOC8)	0.296	0.410	0.389	0.282	0.185	0.524	0.609	0.860

- Los números de la diagonal (negritas) representan la raíz cuadrada de los valores AVE.
- Encima de la diagonal, se presenta el test de la razón de correlaciones HTMT⁸⁵.
- Debajo de la diagonal, se presenta el test Fornell-Larcker.

■ **Tabla 5. Validez discriminante de los constructos de segundo orden.**

Table 5. Discriminant validity of second order constructs.

Constructos	Pilares institucionales	Redes de colaboración	Entrepreneurial orientation
Pilares institucionales	0.772	0.213	0.482
Redes de colaboración	- 0.139	0.716	0.334
Orientación emprendedora	0.437	0.298	0.759

- Los números de la diagonal (negritas) representan la raíz cuadrada de los valores AVE.
- Encima de la diagonal, se presenta el test de la razón de correlaciones HTMT⁸⁵.
- Debajo de la diagonal, se presenta el test Fornell-Larcker.

las correlaciones entre los constructos son adecuadas, al ser inferiores a 0.85 (Clark y Watson, 1995; Kline, 2011; Dijkstra y Henseler, 2015). Al aplicar el test del criterio Fornell-Larcker, se encontró que los valores de las correlaciones entre los constructos de primer orden como en los de segundo orden (Tablas 4 y 5) son inferiores a la raíz cuadrada del AVE de cada uno de ellos, cuyos valores en negrita representan la diagonal de la tabla, y según Fornell y Larcker (1981) estos valores son superiores que sus correlaciones correspondientes con cualquier otro constructo, tal y como se observa debajo de la diag-

nal, por lo que se demuestra la validez discriminante de los constructos y por tanto, son confiables y válidos para probar el modelo.

Percepción de los productores

La percepción de la importancia de los pilares institucionales para el desarrollo de su actividad fue alta en la población de campesinos estudiada, alcanzando valores promedio superiores a 4 puntos (4.0 a 4.9), en una escala donde el valor máximo es 5. En este constructo, los productores de Chile tuvieron puntuaciones ligeramente mayores, algunas de ellas significativas (Tabla 6).

■ **Tabla 6. Percepción de los entrevistados sobre los diferentes constructos de acuerdo al tipo de cultivar al que se dedican.**

Table 6. Perception of the interviewees about the different constructs according to the crop type to which they are dedicated.

Clave	Constructo	Chile	Uva	Sig ^a
Pilares institucionales				
AR1	Los trámites para su actividad (licencias de pozos, constancias de extracción de agua, propiedad privada y ejidal, etc.) son fáciles de conseguir.	4.7 ± 0.6	4.6 ± 0.6	
AR2	El costo de los trámites e impuestos es una barrera para su actividad agrícola.	4.6 ± 0.8	4.4 ± 0.7	
AR3	Las leyes e impuestos son aplicadas de manera equitativa para todos agricultores.	4.5 ± 0.9	4.0 ± 1.0	**
AR4	Las acciones gubernamentales benefician a los agricultores en desarrollo.	4.5 ± 0.8	4.3 ± 0.8	
AN2	Ser agricultor es una excelente opción para generar dinero.	4.8 ± 0.4	4.8 ± 0.4	
AN3	Se les tiene respeto a los agricultores exitosos.	4.8 ± 0.5	4.5 ± 0.6	**
AN4	Frecuentemente escucha historias de agricultores exitosos en los medios masivos (periódico, revistas, radio, televisión, internet, etc.).			
AN5	Se consideran a los agricultores personas competentes.	4.6 ± 0.6	4.5 ± 0.6	
AC1	La mayoría de los agricultores tienen experiencia en crear nuevos negocios.	4.9 ± 0.4	4.6 ± 0.4	**
AC2	La mayoría de los agricultores reaccionan de manera rápida a buenas oportunidades de negocio.	4.8 ± 0.5	4.6 ± 0.6	*
AC3	La mayoría de los agricultores tienen la habilidad para conseguir recursos necesarios para abrir un nuevo negocio.	4.9 ± 0.4	4.6 ± 0.6	**
AC4	En general, los agricultores consideran que iniciar un negocio o hacerlo crecer es fácil.	4.9 ± 0.3	4.7 ± 0.5	**
AC5	La mayoría de los agricultores saben dirigir un pequeño negocio.	4.9 ± 0.3	4.7 ± 0.4	**
Redes de colaboración				
RE1	¿Qué tan cercana es su relación con sus clientes (desarrollo de productos, capital financiero, emprendimientos o conocimiento técnico)?	4.1 ± 0.7	2.9 ± 1.2	**
RE2	¿Qué tan cercana es su relación con sus proveedores (desarrollo de productos, capital financiero, emprendimientos o conocimiento técnico)?	4.1 ± 0.8	2.9 ± 1.2	**
RI1	¿Qué tan cercana es su relación con oficinas o instituciones de gobierno (información y acceso a nuevos mercados o asociaciones locales)?	3.0 ± 1.2	2.8 ± 1.2	
RI2	¿Qué tan cercana es su relación con trabajadores de universidades como profesores o investigadores?	2.5 ± 1.3	2.5 ± 1.2	
RI3	¿Qué tan cercana es su relación con bancos o instituciones financieras (soporte y asistencia a financiamientos para nuevas oportunidades de negocio)?	2.4 ± 1.4	2.5 ± 1.3	
RI4	¿Qué tan cercana es su relación con asociaciones, consejos o gremios de empresas?	2.3 ± 1.5	2.4 ± 1.2	

continúa...

RI5	¿Qué tan cercana es su relación con personas que tienen contacto con dueños o gerentes de otras empresas?	2.1 ± 1.4	2.4 ± 1.2	
RI6	¿Qué tan cercana es su relación con personas relacionadas a comisiones legislativas empresariales?	1.9 ± 1.2	2.1 ± 1.2	
Orientación emprendedora				
OEI1	¿Qué tan importante ha sido para usted en los últimos 5 años la innovación?	4.4 ± 1.0	3.6 ± 1.3	**
OEI2	¿Qué tan importante ha sido para usted en los últimos 5 años comercializar nuevas líneas de productos o servicios?	4.3 ± 1.0	3.7 ± 1.0	**
OEI3	¿Qué tan importante ha sido para usted en los últimos 5 años realizar cambios grandes en los productos o servicios?	4.1 ± 1.2	3.7 ± 1.0	*
OEP1	¿Qué tan importante ha sido para usted en los últimos 5 años asegurar la venta de sus cosechas antes que los otros productores?	4.3 ± 0.9	3.8 ± 1.0	**
OEP2	¿Qué tan importante ha sido para usted en los últimos 5 años introducir innovaciones (nuevos productos y/o servicios, procesos, tecnologías y técnicas administrativas) para ganarle a otros productores?	4.2 ± 1.1	3.8 ± 1.1	**
OER1	¿Qué tan importante ha sido para usted en los últimos 5 años tener una fuerte preferencia por los proyectos de alto riesgo (con oportunidades de retornos muy altos)?	3.6 ± 1.3	3.6 ± 0.8	
OER2	¿Qué tan importante ha sido para usted actuar de manera intrépida y directa para lograr los objetivos de la empresa?	4.1 ± 0.9	3.6 ± 1.0	**
OER3	¿Qué tan importante ha sido para usted en los últimos 5 años enterarse de cómo van a vender los demás productores su cosecha, con tal de que usted venda antes que ellos?	4.1 ± 0.9	3.8 ± 1.0	*

^aSe muestra la significancia de la prueba t de Student: **P < 0.01; *P < 0.05

La percepción de la importancia de formar redes de colaboración obtuvo los valores más bajos (Tabla 6), de 1.9 a 4.1, en la que los productores de Chile se diferenciaron solo en la importancia que le dan a su interacción con clientes y proveedores.

La orientación emprendedora (Tabla 6) obtuvo valores promedio que oscilaron entre 3.6 y 4.4. Adicionalmente, los agricultores de sexo masculino, con mayor educación formal (licenciatura y posgrado), manifestaron una orientación emprendedora más alta, de 4.3 puntos (Tabla 7), mientras que los agricultores sin ninguna formación académica se mantuvieron con la media más baja (3.7 puntos). En el caso de las mujeres, la orientación emprendedora más alta fue para las que tuvieron licenciatura y únicamente primaria, aunque, para los 7 casos identificados no se puede hacer

un análisis estadístico profundo que refleje diferencias significativas porque no se cuenta con el tamaño de muestra necesario.

Los productores de Chile valoraron mejor los tres constructos relacionados con su actividad agrícola, que los productores de Perú, al registrar una mayor significancia ($P \leq 0.05$) en los constructos de las tres variables, destacando la orientación emprendedora, seguida de pilares institucionales y redes de colaboración.

Modelo teórico

El modelo estructural mostró suficiente evidencia empírica para obtener intervalos de confianza y evaluar la precisión de los parámetros, ya que todos los parámetros tuvieron valores superiores a 0.2 en los efectos directos (Tabla 8), indicando que el modelo

■ **Tabla 7. Orientación emprendedora de los entrevistados de acuerdo con el sexo y el nivel educativo.**
 Table 7. Entrepreneurial orientation of the interviewees according to sex and educational level.

Nivel educativo	n	Hombres		Mujeres*	
		Media	D.E.	Media	D.E.
Ninguno	23	3.7	1.0	3.0	0.3
Primaria	36	3.8	0.9	3.8	0.0
Secundaria	60	4.0	0.7	--	--
Preparatoria	31	3.9	0.8	--	--
Licenciatura	27	4.3	1.4	3.8	0.0
Posgrado	8	4.3	0.6	--	--

*Las mujeres solo cultivaron uva.

■ **Tabla 8. Resultados del modelo estructural con PLS-SEM.**
 Table 8. Results of the structural model with PLS-SEM.

Relación Path	Coefficiente Estandarizado β	t-valor	p-valor	Decisión
H ₁ : Pilares institucionales → Redes de colaboración	0.346	4.973	0.000	Se acepta
H ₂ : Pilares institucionales → Orientación emprendedora individual	0.371	5.036	0.000	Se acepta
H ₃ : Redes de colaboración → Orientación emprendedora	0.356	6.419	0.000	Se acepta
H ₄ : Pilares institucionales → Redes de colaboración → Orientación emprendedora	0.123	4.018	0.000	Se acepta

estructural tiene relevancia predictiva (Chin, 1998).

Los pilares institucionales afectaron de manera positiva y significativa ($\beta = 0.346$, $P < 0.000$) a las redes de colaboración (Tabla 8), indicando que las impactan favorablemente en un 34.6 %. También tuvieron un impacto positivo y significativo ($\beta = 0.371$, $P < 0.000$) en la orientación emprendedora, de 37.1 %. Por su parte, las redes de colaboración impactaron favorablemente a la variable endógena orientación emprendedora ($\beta = 0.356$, $P < 0.000$) con un 35.6 %.

Existió un efecto indirecto positivo y significativo ($\beta = 0.123$, $P < 0.05$) en el rol desempe-

ñado por las redes de colaboración, en la relación existente entre los pilares institucionales y la orientación emprendedora, con un 12.3 % de impacto, lo que muestra que las redes tienen un efecto mediador y que, con base en los criterios de Zhao y col. (2010), se trata de un efecto parcial, considerado como mediación competitiva, toda vez que tanto el efecto indirecto como el efecto directo son significativos. A este tipo de mediación parcial competitiva se le ha considerado en la literatura como modelo de confusión negativa o inconsistente (MacKinnon y col., 2007; Nitzl y col., 2016).

El modelo mostró la misma tendencia al analizar independientemente la influencia de los pilares institucionales y las redes de colabo-

ración sobre la orientación emprendedora de los agricultores de Aguascalientes dedicados al cultivo de chile y de la uva (Tabla 9).

DISCUSIÓN

La orientación emprendedora, con su impacto favorable para el crecimiento y desarrollo de la actividad agrícola (Maziriri y Mapuranga, 2018), estuvo presente en los agricultores de chile y uva de Aguascalientes entrevistados (Tabla 6) y se mostró influenciada por el sexo y el mayor nivel educativo (Tabla 7).

En este estudio, los resultados mostraron que tanto los pilares institucionales como las redes de colaboración tuvieron efectos favorables sobre las capacidades emprendedoras de los agricultores encuestados. Al respecto, la literatura indica que los pilares institucionales (regulatorio, normativo y cognitivo) ejercen efectos positivos y significativos para construir la capacidad emprendedora que le permite a los campesinos explotar sus oportuni-

des de mercado (Pindado y Sánchez, 2019; Shu y col., 2019; Udimal y col., 2019). La protección legal, la legitimidad que da la sociedad y la facilidad con que se comparte el conocimiento son necesarios para favorecer las capacidades emprendedoras, puesto que, ofrecen un contexto institucional de certidumbre (Lang y Fink, 2019; Pindado y Sánchez, 2019; Shu y col., 2019). El pilar regulatorio favorece la protección, la certidumbre y la facilidad de hacer negocios, por lo que, es un aliado para arriesgar capital en nuevas oportunidades de inversión para los campesinos (Okello-Candiya-Bongomin y col., 2017). El pilar normativo construye la percepción social que se tiene sobre el actor social, por tanto, la reputación y el respeto que se tiene hacia la figura del campesino contribuye a desarrollar confianza y legitimidad a sus actividades económicas y sociales. Por su parte, el pilar cognitivo determina la gnosia del individuo con respecto al mundo y su actividad, cómo sobrellevarla y hacerla cognoscente, por

■ **Tabla 9. Resultados del modelo estructural con PLS-SEM por cultivo.**

Table 9. Results of the structural model with PLS-SEM by crop.

Relación Path	Coeficiente Estandarizado β		t-valor		p-valor		Decisión	
	Chile	Uva	Chile	Uva	Chile	Uva	Chile	Uva
H ₁ : Pilares institucionales → Redes de colaboración	0.265	0.296	3.429	2.791	0.001	0.005	Se acepta	Se acepta
H ₂ : Pilares institucionales → Orientación emprendedora individual	0.273	0.425	2.229	4.312	0.026	0.000	Se acepta	Se acepta
H ₃ : Redes de colaboración → Orientación emprendedora	0.301	0.374	3.716	4.565	0.000	0.000	Se acepta	Se acepta
H ₄ : Pilares institucionales → Redes de colaboración → Orientación emprendedora	0.080	0.110	2.742	2.354	0.006	0.000	Se acepta	Se acepta

ende, tomar decisiones adecuadas por parte de los agricultores surge de su comprensión con el mundo aprendido a partir de las estructuras sociales (Mohammed, 2020).

Los pilares institucionales mostraron también un efecto positivo y significativo sobre las redes de colaboración, lo que concuerda con la literatura, ya que los primeros permiten construir una relación estrecha entre los actores. Lang y Fink (2019) indicaron que las regulaciones proporcionan certidumbre a las relaciones establecidas, al existir una mayor protección entre las interacciones de los campesinos por parte de la ley. En este sentido, el pilar regulatorio pone limitaciones considerables en las habilidades de cómo interactuar con los demás, provocando que la estructura social se dirija hacia una mayor integración o en su defecto, incrementar su capital social. El pilar normativo, por representar la confianza, reputación y reciprocidad que tiene el agricultor con los demás actores del contexto para formar redes de colaboración sólidas y efectivas para la actividad agrícola. El pilar cognitivo permite a los campesinos establecer roles, normas compartidas, actitudes y creencias para obtener acceso a recursos (McKitterick y col., 2016).

Redes de colaboración

Las redes de colaboración ejercieron un efecto positivo y significativo sobre la orientación emprendedora, lo que concuerda con estudios previos. Las redes de colaboración son una fuente de información disponible para los actores estratégicos (Wincent y Westerberg, 2005). Según Jiang y col. (2018), las redes son valiosas para obtener acceso a recursos que, sin la colaboración, no podrían explotar. La capacidad tecnológica y la innovación se transfieren rápidamente porque el conocimiento es compartido dentro de la cadena de valor (Saint-Ville y col., 2016). Por su lado, Shu y col. (2018), señalaron la información valiosa, la celeridad de llegara acuerdos y la posibilidad de desarrollar nuevos proyectos como elementos que surgen de la colaboración cercana con otros.

Las redes comerciales que se tienen con proveedores, clientes y competidores ayudan a proteger las inversiones de los agricultores, debido a que el capital social mitiga las dificultades que presenta la industria y resuelve el aprovisionamiento de los bienes a lo largo de la cadena productiva (Flanagan y col., 2019). En este sentido, se confiere que, los agricultores que se vinculan mejor con sus clientes, consumidores y proveedores procuran mantener una perspectiva competitiva en el sector agrícola, ello debido a que se preocupan por reforzar los proyectos de valor agregado que se fortalecen con la interacción de los involucrados en la actividad agrícola (Verschoore y Adami, 2020). Los agricultores perciben a las redes institucionales valiosas para desarrollar sus ambiciones de crecimiento basándolo en innovación y mercados de exportación (McKitterick y col., 2016).

Efecto mediador de las redes de colaboración

El contexto institucional contribuyó a una mayor capacidad emprendedora, a través de las redes de colaboración que establecen los agricultores, este efecto mediador ha sido observado en estudios previos (Wincent y Westerberg, 2005; Bongomin y col., 2018). El modelo estructural propuesto mostró que los pilares institucionales ejercieron un efecto doble sobre la orientación emprendedora. En el efecto indirecto las redes de colaboración tuvieron una influencia relevante en el entorno institucional para los campesinos, lo cual es un hallazgo importante.

Los efectos mediadores de las redes de colaboración incrementan el impacto positivo que tienen los pilares institucionales a partir de la cercanía de las relaciones. Tanto las redes comerciales como las institucionales permiten que los actores se involucren con los demás, formando una relación estrecha que impulsa las capacidades de innovación, competencia y aceptación de riesgo de inversión (Fuentelsaz y González, 2015); puesto que se reduce la ambigüedad y aumenta la confianza entre los negociantes. La cooperación que se forma tiene impacto en la capacidad de innovar y generar nuevas ideas (Luu y Ngo, 2019).

El capital social, presente en las redes de colaboración, mitiga los obstáculos que surjan en el giro comercial y resuelve la provisión adecuada de los insumos y recursos para ejecutar las actividades diarias (Flanagan y col., 2019). Los vínculos con actores estratégicos como gobierno, instituciones financieras, universidades o gremios de empresas son importantes para desarrollar sus capacidades de planeación y gestión (Henke y Vanni, 2017). Sus funciones particulares son servir de agentes para solventar las deficiencias del marco institucional (Wales y col., 2016); así como, desplegar soporte en las ambiciones de desarrollar nuevos mercados (McKitterick y col., 2016).

CONCLUSIONES

El instrumento utilizado mostró validez y confiabilidad estadística, por lo que fue adaptado correctamente y puede ser empleado en estudios adicionales para este sector productivo. Los productores de Chile mostraron valores superiores en su respuesta a los indicadores de pilares institucionales, redes de colaboración y orientación emprendedora, lo que

indica que es conveniente crear un mejor sistema productivo para los agricultores de la vid en Aguascalientes. La orientación emprendedora de los campesinos, en su actividad productiva, estuvo influenciada por la formación académica y sexo de los participantes, con efecto desfavorable hacia las mujeres. Los resultados indicaron que tanto los pilares institucionales como las redes de colaboración son necesarias para desarrollar una orientación emprendedora. En general, el sector agrícola productor de Chile y uva de Aguascalientes manifestó la importancia de contar con instituciones sólidas que reflejen un marco legal y un entorno confiable, capaz de inculcar lo necesario para desempeñar una actividad agrícola competente. La colaboración existente entre los involucrados en este sector productivo, favorece su orientación emprendedora y la forma en la que el entorno institucional afecta sus actividades.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Andati, P., Majiwa, E., Ngigi, M., Mbeche, R., and Ateka, J. (2022). Determinants of adoption of climate smart agricultural technologies among potato farmers in Kenya: Does entrepreneurial orientation play a role? *Sustainable Technology and Entrepreneurship*. 1(2): 100017.
- Barzola-Iza, C. L., Dentoni, D., and Domenico, D. (2020). How entrepreneurial orientation drives farmers' innovation differential in Ugandan coffee multi-stakeholder platforms. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*. 10(5): 629-650.
- Bongomin, G. O. C., Munene, J. C., Ntayi, J. M., and Malinga, C. A. (2018). Analyzing the relationship between institutional framework and financial inclusion in rural Uganda: A social network perspective. *International Journal of Emerging Markets*. 13(4): 606-630.
- Boza, S., Mora, M., Osorio, F., and Muñoz, J. (2018). Family farmers' reluctance toward incorporating into the formal economy. *Economía Agraria y Recursos Naturales*. 18(2): 75-92.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modelling. In Marcoulides G. A. (Ed.). *Modern Methods for Business Research*. 295(2): 295-336.
- Clark, L. A. and Watson, D. (1995). Constructing validity: Basic issues in objective scale development. *Psychological Assessment*. 7(3): 309-319.
- Covin, J. G. and Slevin, D. P. (1989). Strategic management of small firms in hostile and benign environments. *Strategic Management Journal*. 10(1): 75-87.
- Covin, J. G. and Wales, W. J. (2012). The measurement of entrepreneurial orientation. *Entrepreneurship: Theory and Practice*. 36(4): 677-702.
- Cuevas-Vargas, H., Parga-Montoya, N., and Fernández-Escobedo, R. (2019). Effects of Entrepreneurial Orientation on Business Performance: The Mediating Role of Customer Satisfaction—A Formative-Reflective Model Analysis. *SAGE Open*. 9(2): 1-14.

- Dijkstra, T. K. and Henseler, J. (2015). Consistent and asymptotically normal PLS estimators for linear structural equations. *Computational Statistics and Data Analysis*. 81: 10-23.
- Flanagan, A. C., Midgley, S. J., Stevens, P. R., and McWhirter, L. (2019). Smallholder tree-farmers and forest certification in Southeast Asia: productivity, risks and policies. *Australian Forestry*. 82(1): 18-28.
- Fornell, C. and Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *American Marketing Association*. 18(1): 39-50.
- Fuentelsaz, L. and González, C. (2015). Entrepreneurial failure through institutions and entrepreneurship quality/El fracaso emprendedor a través de las instituciones y la calidad del emprendimiento. *Universia Business Review*. 47(3): 64-81.
- Futemma, C., De-Castro, F., and Brondizio, E. S. (2020). Farmers and Social Innovations in Rural Development: Collaborative Arrangements in Eastern Brazilian Amazon. *Land Use Policy*. 99: 104999.
- Greenberg, Z., Farja, Y., and Gimmon, E. (2018). Embeddedness and growth of small businesses in rural regions. *Journal of Rural Studies*. 62: 174-182.
- Guercini, S. and Tunisini, A. (2017). Formalizing in business networks as a tool for industrial policy. *IMP Journal*. 11(1): 91-108.
- Gunawan, T., Jacob, J., and Duysters, G. (2016). Network ties and entrepreneurial orientation: Innovative performance of SMEs in a developing country. *International Entrepreneurship and Management Journal*. 12(2): 575-599.
- Hair, J. F., Sarstedt, M., Hopkins, L., and Kuppelwieser, V. G. (2014). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool in business research. *European Business Review*. 26(2): 106-121.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., and Sarstedt, M. (2017). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (Second edition). EUA. SAGE publications. 185 Pp.
- Henke, R. and Vanni, F. (2017). Drivers of on-farm diversification in the Italian peri-urban agriculture. *Rivista Di Economia Agraria/Italian Review of Agricultural Economics*. 72(1): 79-100.
- Henseler, J., Ringle, C. M., and Sarstedt, M. (2014). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*. 43(1): 115-135.
- Jeffrey G. and Covin, D. P. S. (2018). A conceptual model of entrepreneurship as firm behavior: A critique and extension. *Entrepreneurship Theory and Practice*. 17(4): 5-21.
- Jiang, X., Liu, H., Fey, C., and Jiang, F. (2018). Entrepreneurial orientation, network resource acquisition, and firm performance: A network approach. *Journal of Business Research*. 87: 46-57.
- Kang, C., Hwang, Y., and Moon, J. (2016). Informatization of small-scale agribusinesses in rural areas of Korea: Perspectives from institutional theory. *Information Development*. 32(4): 1168-1182.
- Ketchen, D. J. (2013). A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling. *In Long Range Planning*. 46(1).
- Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling*. EUA: Guilford publications. 60 Pp.
- Koe, W. L. (2016). The relationship between Individual Entrepreneurial Orientation (IEO) and entrepreneurial intention. *Journal of Global Entrepreneurship Research*. 6(1): 1-11.
- Kostova, T. and Roth, K. (2002). Adoption of an organizational practice by subsidiaries of multinational corporations: Institutional and relational effects. *Academy of Management Journal*. 45(1): 215-233.
- Kostova, T., Roth, K., and Dacin, M. T. (2008). Institutional theory in the study of multinational corporations: A critique and new directions. *Academy of Management Review*. 33(4): 994-1006.
- Lang, R. and Fink, M. (2019). Rural social entrepreneurship: The role of social capital within and across institutional levels. *Journal of Rural Studies*. 70: 155-168.
- Levie, J. and Autio, E. (2011). Regulatory burden, rule of law, and entry of strategic entrepreneurs: An international panel study. *Journal of Management Studies*. 48(6): 1392-1419.
- Luu, N. and Ngo, L. V. (2019). Entrepreneurial orientation and social ties in transitional economies. *Long Range Planning*. 52(1): 103-116.
- MacKinnon, D. P., Fairchild, A. J., and Fritz, M. S. (2007). Mediation analysis. *Annual Review of Psychology*. 58: 593-614.
- Martins, I. (2016). Network usage, entrepreneurial orientation and their effectiveness on SMEs growth. *Journal of Entrepreneurship*. 25(1): 18-41.

- Maziriri, E. T. and Mapuranga, M. (2018). Modeling the nexus between entrepreneurial marketing dimensions and business growth among small and medium agro-processing enterprises in Zimbabwe. *Journal of Agribusiness and Rural Development*. 48(2): 153-163.
- McKitterick, L., Quinn, B., McAdam, R., and Dunn, A. (2016). Innovation networks and the institutional actor-producer relationship in rural areas: The context of artisan food production. *Journal of Rural Studies*. 48: 41-52.
- Miller, D. (2019). Resource-based view of the Firm, in *Encyclopedia of Management Theory, Oxford Research Encyclopedias, March*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.4>. Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022.
- Mohammed, E. A. (2020). Effect of institutional pillars on small and micro enterprises firm performance in Ethiopia. *International Review of Management and Marketing*. 10(2): 56-67.
- Morett-Sánchez, J. C. y Cosío-Ruiz, C. (2017). Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. 14(1): 125-152.
- Nahapiet, J. and Ghoshal, S. (2009). Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage. *Knowledge and Social Capital*. 23(2): 242-266.
- Naminse, E. Y. and Zhuang, J. (2018). Does farmer entrepreneurship alleviate rural poverty in China? Evidence from Guangxi province. *PLoS ONE*. 13(3): 1-18.
- Nitzl, C., Roldan, J. L., and Cepeda, G. (2016). Mediation analysis in partial least squares path modelling, Helping researchers discuss more sophisticated models. *Industrial Management and Data Systems*. 116(9): 1849-1864.
- North, D. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press. [En línea]. Disponible en: <https://www.cambridge.org/mx/academic/subjects/politics-international-relations/political-economy/institutions-institutional-change-and-economic-performance?format=PB&isbn=9780521397346>. Fecha de consulta: 15 de enero de 2014.
- Nunnally, J. C. and Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* (Third edition). EUA: McGraw-hill education. 247 Pp.
- Okello-Candiya-Bongomin, G., Mpeera-Ntayi, J., Munene, J. C., and Malinga-Akol, C. (2017). Financial intermediation and financial inclusion of poor households: Mediating role of social networks in rural Uganda. *Cogent Economics and Finance*. 5(1): 1362184.
- Pindado, E. and Sánchez, M. (2019). Growth-oriented new agricultural ventures: the role of entrepreneurial resources and capabilities under convergence forces. *European Review of Agricultural Economics*. 46(5): 800-833.
- Ringle, C. M., Wende, C. M., and Becker, J. M. (2015). *Smart PLS 3*. Boenningstedt: SmartPLS GmbH. [En línea]. Disponible en: <http://www.smartpls.com>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2015.
- SAGARPA/FAO, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación/Food Alimentation Organization (2012). *Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012*. *Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012*. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-1-diagnostico-del-sector-rural-y-pesquero.pdf>. Fecha de consulta: 2 de junio de 2019.
- Saint-Ville, A. S., Hickey, G. M., Locher, U., and Phillip, L. E. (2016). Exploring the role of social capital in influencing knowledge flows and innovation in smallholder farming communities in the Caribbean. *Food Security*. 8(3): 535-549.
- Scott, W. R. (2013). *Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities*. EUA: Sage publications. 59 Pp.
- Shu, C., De-Clercq, D., Zhou, Y., and Liu, C. (2019). Government institutional support, entrepreneurial orientation, strategic renewal, and firm performance in transitional China. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research*. 25(3): 433-456.
- Shu, R., Ren, S., and Zheng, Y. (2018). Building networks into discovery: The link between entrepreneur network capability and entrepreneurial opportunity discovery. *Journal of Business Research*. 85: 197-208.
- Susanto, P., Abdullah, N. L., and Wardi, Y. (2019). Entrepreneurial orientation: Prioritising and mapping in the context of small and medium-sized enterprises. *Polish Journal of Management Studies*. 20(1): 429-446.
- Torres-Mazuera, G. (2015). Las consecuencias ocultas de la enajenación de tierras ejidales: proliferación de disonancias normativas. *Desacatos*. (49): 150-167.
- Udimal, T. B., Jincai, Z., and Gumah, I. A. (2019).

Dynamics in rural entrepreneurship – the role of knowledge acquisition, entrepreneurial orientation, and emotional intelligence in network reliance and performance relationship. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 13(2): 247-262.

Urbano, D., Aparicio, S., and Audretsch, D. (2019). Twenty-five years of research on institutions, entrepreneurship, and economic growth: what has been learned? *Small Business Economics*. 53(1): 21-49.

Verschoore, J. R. and Adami, V. S. (2020). Interplay of Competition and Cooperation in Wind Farm Interorganizational Projects: Relational Approach. *Journal of Management in Engineering*. 36(1): 1-10.

Wales, W. J., Shirokova, G., Sokolova, L., and Stein, C. (2016). Entrepreneurial orientation in the emerging Russian regulatory context: The criticality of interpersonal relationships. *European Journal of International Management*. 10(3): 359-382.

Wang, E. S. T. and Juan, P. Y. (2016). Entrepreneurial orientation and service innovation on consumer response: A B&B Case. *Journal of Small Business Management*. 54(2): 532-545.

Wetzels, M., Odekerken-Schröder, G., and Van Oppen, C (2009). Using PLS Path Modeling for Assessing Hierarchical Construct Models: Guidelines and Empirical Illustration. *MIS Quarterly*. 33(1): 177-195.

Wincent, J., Thorgren, S., and Anokhin, S. (2016). Costly ties: Social capital as a retardant of network-level entrepreneurial orientation. *Journal of Small Business Management*. 54(1): 229-243.

Wincent, J. and Westerberg, M. (2005). Personal traits of ceos, inter-firm networking and entrepreneurship in their firms: Investigating strategic sme network participants. *Journal of Developmental Entrepreneurship*. 10(3): 271-284.

Yiu, D. W., Lau, C. M., and Bruton, G. D. (2007). International venturing by emerging economy firms: The effects of firm capabilities, home country networks, and corporate entrepreneurship. *Journal of International Business Studies*. 38(4): 519-540.

Zhao, X., Lynch, J. G., and Chen, Q. (2010). Reconsidering Baron and Kenny: Myths and truths about mediation analysis. *Journal of Consumer Research*. 37(2): 197-206.



Imagen tomada de: Canva educativo

Normas sociales, publicidad y consumo alimentario en escolares: modelado mediante lógica difusa tipo 2

Social norms, advertising and food consumption in schoolchildren: modeling using fuzzy logic

Bárbara de los Ángeles Pérez-Pedraza^{1*}, Gerardo Daniel Olvera-Romero², Karla Patricia Valdés-García¹, Rolando Javier Praga-Alejo³

RESUMEN

México ocupa el primer lugar en obesidad infantil en el mundo, por lo que resulta importante identificar variables asociadas al consumo alimentario. El objetivo del presente trabajo fue establecer si la forma en que el consumo de alimentos se modifica en función de las normas sociales alimentarias y la publicidad alimentaria que recibe la población infantil escolar. Se diseñó un estudio multivariado predictivo utilizando sistemas de lógica difusa tipo dos de intervalo (IT2 FLS), y comparando su ajuste con modelos convencionales, como la regresión lineal múltiple (RLM). Se trabajó con las respuestas emitidas por 196 niños en un estudio previo y almacenadas en una base de datos, seleccionando solo las que correspondieron a las variables de interés para el estudio. Las normas sociales a evitar, el número de comidas y la compra de alimentos por la publicidad alimentaria permitieron predecir el consumo alimentario de los niños mediante IT2 FLS. En RLM las horas de comidas tuvo mayor capacidad predictiva que el número de comidas. El IT2 FLS proporcionó un mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0.649$), que el de la RLM ($R^2 = 0.370$). El consumo alimentario, al ser un fenómeno multicausal y complejo, puede ser mejor predicho al utilizar métodos de análisis que manejen de forma más flexible la incertidumbre, como lo hace la IT2 FLS.

PALABRAS CLAVE: consumo alimenticio, inteligencia artificial, lógica difusa, normas sociales, publicidad.

ABSTRACT

Mexico ranks first in childhood obesity in the world, so it is important to identify variables associated with food consumption. The objective of this work was to establish whether the way in which food consumption is modified depending on social food norms and food advertising received by school children. A predictive multivariate study was designed using interval type two fuzzy logic systems (IT2 FLS), and comparing its fit with conventional models, such as multiple linear regression (RLM). We worked with the responses issued by 196 children in a previous study and stored in a database, selecting only those that corresponded to the variables of interest for the study. The social norms to avoid, the number of meals and the purchase of food through food advertising made it possible to predict children's food consumption through IT2 FLS. In RLM, mealtimes had a greater predictive capacity than the number of meals. The IT2 FLS provided a higher coefficient of determination ($R^2 = 0.649$) than that of the RLM ($R^2 = 0.370$). Food consumption, being a multicausal and complex phenomenon, can be better predicted by using analysis methods that manage uncertainty more flexibly, as the IT2 FLS does.

KEYWORDS: food consumption, artificial intelligence, fuzzy logic, social norms, advertising.

*Correspondencia: barbara_perez@uadec.edu.mx/Fecha de recepción: 16 de febrero de 2023/Fecha de aceptación: 25 de enero de 2024/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

¹Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Psicología, Unidad Saltillo, Edificio D, Planta Baja, Unidad Campo Redondo, Saltillo, Coahuila, México, C. P. 25020. ²Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. de C.V., Saltillo, Coahuila, México, C. P. 25290. ³Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Sistemas, Arteaga, Coahuila, México, C. P. 25280.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las mayores problemáticas que tiene México, desde el punto de vista de la salud, es el desarrollo de enfermedades de origen alimentario, como la diabetes y la obesidad. Un grupo vulnerable a ellas son los niños, dado que el país está posicionado en el primer lugar en obesidad infantil en el mundo (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, 2017).

La prevalencia de sobrepeso y obesidad combinada, en niños en edad escolar, es de 38.2 % (Shamah-Levy y col., 2021), por lo que, investigadores y profesionales de la salud han destacado la importancia de identificar cuáles variables están participando en este problema sanitario (Ruiz-Cota y col., 2019). Al respecto, Álvarez (2011) y Pérez y López (2022) refirieron que los fenómenos asociados a la alimentación tienen una base social y cultural que tiene un fuerte peso sobre las conductas alimentarias, específicamente sobre el consumo alimentario, que lleva al exceso ponderal. También, Pérez y López (2022) definieron las normas sociales alimentarias como “estándares percibidos por otras personas sobre lo que es una dieta adecuada, la cantidad y las preferencias alimentarias para los miembros de un grupo social”. Estas fueron categorizadas como normas sociales a reproducir y normas sociales a evitar, indicando los estándares de lo que se debe y no se debe hacer en la alimentación. Además, diferenciaron las normas sociales alimentarias de las normas de salud, por tener su origen en las creencias y tradiciones culturales, más que en hallazgos científicos con sustento empírico.

Si bien, las normas sociales alimentarias tienen su origen en la cultura, son los padres quienes ejercen un gran impacto en la transmisión de estas normas sobre sus hijos, dado que influyen en el entorno donde se desarrollan los niños y proporcionan los parámetros de alimentación y formación corporal, facilitando o inhibiendo la inclusión de productos de bajo valor nutricional y altos en calorías en la dieta, los cuales están relacionados

con el desarrollo de enfermedades metabólicas (Perry y col., 2010; Hogleve y col., 2021).

México es un país globalizado, en el que han ocurrido cambios profundos en los hábitos de alimentación y consumo de comestibles, a raíz de las circunstancias económicas y de políticas sociales que han propiciado el desarrollo de los métodos de producción en la industria de alimentos y de la publicidad de las empresas que buscan posicionar sus productos (Arvizú y col., 2015; Hernández y col., 2015; Torres y Rojas, 2020).

La publicidad en los medios de comunicación, especialmente televisivos, ha influido en el desarrollo de hábitos inadecuados que afectan la salud de los niños y adultos en las familias mexicanas. Se ha demostrado que el uso de personajes famosos, en anuncios publicitarios de comida que son específicamente dirigidos al público infantil, son un factor importante para promover el consumo de alimentos altos en calorías o poco nutritivos, usando recursos persuasivos y emotivos como, por ejemplo, el empleo de caricaturas (Ponce y col., 2017; Gil y Cortés, 2020).

Aun, cuando se sabe de la relación de los factores sociales con el consumo alimentario de los niños, son pocos los estudios que se centran en comprender cómo se da esta relación, sobre todo en lo que refiere a las normas sociales alimentarias y la publicidad alimentaria, dada la complejidad de estas variables y el fenómeno en que participan (Álvarez, 2011). Pérez y Laviada (2023) describieron los hábitos alimentarios y las normas sociales alimentarias de niños en edad escolar de una muestra del noreste de México, con el propósito de entender la relación entre estos factores sociales.

La lógica difusa es un mecanismo de inferencia que modela la incertidumbre mediante procedimientos de inteligencia artificial (Casadeús y Castro, 2018); ha sido definida como “un modo de razonamiento que aplica valores múltiples de verdad o confianza a las categorías restrictivas durante la resolución de problemas”

(Mendel, 2017: 208); permite simular el razonamiento humano a partir de la experiencia de los expertos, con un lenguaje natural y con manejo de imprecisión e incertidumbre (Mendel, 2017). Dentro de los beneficios que conlleva la utilización de la lógica difusa no probabilística es que, permite abordar problemas muy complejos, dado que es una alternativa a la lógica discreta que pretende identificar las categorías máximas de un fenómeno en términos de todo o nada, presencia o ausencia. Mientras que la lógica difusa permite encontrar los grados diversos de pertinencia a una categoría, de manera que se puede ver el continuo de los fenómenos complejos, como lo es la conducta humana y los procesos sociales complejos (Ballester y Colom, 2006).

En cuanto a las aplicaciones de la lógica difusa, en fenómenos psicosociales complejos, se ha encontrado que el estudio y análisis de problemas sociales, como los hábitos alimenticios en niños, suelen manejar mayormente información empírica, por lo que la incertidumbre y variabilidad suelen presentarse frecuentemente (Kennedy, 2010). Existen métodos que pueden trabajar con este tipo de problemas, como el método probabilístico, que asocia un grado de creencia entre 0 y 1 para resumir la incertidumbre; es decir, una probabilidad de 0.7 sobre una oración no indica que sea 70 % verdadera, sino que se tiene un 70 % de confianza de que esa oración sea verdadera (Ballester y Colom, 2006; Mittal y col., 2020). Otros métodos para gestionar la incertidumbre pueden ser los sistemas inteligentes, como las redes neuronales y los sistemas híbridos, que tienen la característica de imitar funciones del cerebro humano y la naturaleza (Mendel, 2017).

La utilización de la lógica difusa no es un método nuevo (Zadeth, 1965). Inicialmente fue aplicada en la comprensión de fenómenos asociados a las ciencias de los datos (Zadeth, 1988; Tayyebi y Soltanali, 2017; Chen y col., 2020; Figueroa-García y col., 2022), para después abrirse campo de una forma amplia en las ciencias sociales, como la economía y las finanzas (Medina, 2006), la administración (Fran-

co-López y col., 2019) y la educación (Ballester y Colom, 2006; Chanchí y col., 2021); así como en ciencias médicas, para la toma de decisiones en el diagnóstico diferencial (John e Innocent, 2005; Ahmadi y col., 2018), para la generación de propuestas de alimentación saludable (Cárdenas, 2021), y recientemente para la predicción de las curvas de contagio del COVID-19 (Jayalakshmi y col., 2021).

En psicología también se ha abierto un campo importante para la aplicación de modelos basados en lógica difusa, dada la factibilidad para la comprensión de los fenómenos complejos de la conciencia y la conducta humana. Estos estudios van desde la comprensión del funcionamiento cerebral para la toma de decisiones (Zéténi, 1988; Duarte, 2000), el razonamiento humano (Erdem y Akyuz, 2021), la implementación de dichos algoritmos para la elaboración de perfiles de personalidad (Barrios, 2018), identificación de intereses y aptitudes vocacionales (Ménez y col., 2004), diagnóstico de trastornos mentales como la distimia, depresión, espectro autista (Nogales, 2015; Valencia, 2016; Mamani, 2020), identificación de la violencia hacia la mujer y la influencia de estos continuos de violencia en las familias (Pozo y col., 2021). En psicología de la salud se ha utilizado para comprender la implicación de los estilos de vida relacionados a la actividad física en el estado emocional (Memmedova, 2018). La lógica difusa ha sido aplicada a una amplia gama de temáticas relacionadas a fenómenos psicológicos y sociales complejos, teniendo una destacada aceptación por su aplicabilidad no probabilística y no discreta, que proporciona modelos más robustos, con muestras más pequeñas (Ballester y Colom, 2006).

El objetivo del presente trabajo consistió en establecer si las normas sociales sobre la alimentación y la influencia de la publicidad de alimentos afectaban el patrón de consumo alimentario en escolares de primaria de 6 a 12 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de investigación

Se realizó un estudio multivariado predictivo

para proponer un modelo de la tendencia de consumo actual de alimentos, por parte de menores escolares, en función de las normas sociales alimentarias y la publicidad alimentaria, utilizando como método de análisis la lógica difusa tipo 2 de intervalo (IT2 FLS, por sus siglas en inglés: Interval type-2 fuzzy logic system). Adicionalmente, se comparó el ajuste de este modelo con el obtenido por un método convencional de regresión lineal (Bisquerra, 1989).

Participantes

Se trabajó con la base de datos recopilada por Pérez y Laviada (2023), integrada por 196 niñas y niños, seleccionados mediante un muestreo probabilístico aleatorio (IC 95 %) de una población de 397 escolares inscritos en una primaria de Saltillo, Coahuila, México. Los criterios de inclusión fueron que estuvieran matriculados en la escuela, que manifestaran interés en participar y que entregaran los consentimientos firmados por sus padres y los asentimientos de ellos mismos. Se excluyeron a aquellos niños con problemas de salud que pudieran afectar su consumo alimentario, como enfermedades gastrointestinales o que requirieran de llevar alguna dieta específica. El rango de edad de la muestra poblacional osciló entre los 6 y los 12 años; el 38 % fueron hombres y 62 % mujeres.

Instrumentos

Se aplicó una batería de pruebas consistente en cuatro apartados. El primero fue el de los datos sociodemográficos, en donde se inquirió la edad, sexo y año escolar de la muestra.

Adquisición de alimentos y hábitos de consumo

El Cuestionario sobre Hábitos de Actividad Física y Alimentación (Moral y col., 2011) mide en 16 ítems la adquisición de alimentos y hábitos de consumo, aspectos relacionados con quién hace las compras, quién prepara la comida, con quién se come en casa, las veces en que se come fuera de casa, así como los horarios de comida, el tiempo de ayuno, la hora en la que almuerza, come y cena, y el total de

comidas que efectúan en el día. En el presente trabajo solo se consideraron y se establecieron puntajes brutos para las veces que se come fuera de casa en la semana (variable x_1), el número de comidas que se hace en el día (variable x_3); y además, se obtuvo el número de horas entre la comida y la cena (variable x_2), al restar la hora de la comida a la hora de la cena referida por el niño.

Normas sociales alimentarias

Se utilizó el cuestionario NSA (Normas sociales alimentarias), desarrollado por Pérez y López (2022), el cual contiene 11 ítems que se agrupan en dos subescalas; normas sociales alimentarias a reproducir (ítems 1 a 6) y normas sociales alimentarias a evitar (ítems 7 a 11). Se responde en una escala Likert de 5 opciones de nivel de acuerdo (0 = en desacuerdo, 4 = totalmente de acuerdo). Se obtienen puntajes directos de la sumatoria de cada subescala, en el sentido de que a mayor puntaje, mayor presencia de las normas sociales alimentarias a reproducir (variable x_4) o a evitar (variable x_5). En su validación en población del noreste de México se obtuvo un alpha de Cronbach de 0.762, una confiabilidad Test-Retest de $R^2 = 0.892$, y una buena bondad de ajuste (GFI = 0.951, RMSEA = 0.059) para dos factores; normas a reproducir ($\alpha = 0.774$) y normas a evitar ($\alpha = 0.446$).

Compra de alimentos por publicidad alimentaria

Se aplicó el Cuestionario de percepción publicitaria (Cobio y Álvarez, 2015) que pregunta en 36 reactivos de opción de respuesta dicotómica por los comerciales televisivos de comida que miran las y los niños. En su validación en población en el noreste mexicano obtuvo un coeficiente de confiabilidad de 0.781. Para obtener el puntaje de compra de alimentos por publicidad alimentaria (variable x_6), se realizó una sumatoria de los 6 reactivos identificados por Pérez-Pedraza y col. (2023), como indicadores de intención de compra, de manera que, a mayor puntaje, mayor compra de alimentos motivados por la publicidad alimentaria. Este apartado obtuvo un

alpha de Cronbach en la muestra de ese estudio de 0.792.

Consumo de alimentos semanal

Se utilizó el cuestionario sobre Hábitos de Actividad Física y Alimentación (Moral y col., 2011), que en su versión original mide, en 28 reactivos, la frecuencia semanal de consumo alimentario con una escala de 4 opciones de respuesta (0 = no lo he consumido, 1 = lo he consumido 1 vez a la semana, 3 = lo he consumido 3 veces a la semana, y 7 = lo he consumido diariamente).

En el trabajo que permitió desarrollar la base de datos consultada, se adaptó el apartado de frecuencia de consumo alimentario al total de porciones que se consumen diariamente (variable y), presentando a los niños imágenes con el tamaño de las porciones de cada alimento, sin utilizar las 4 opciones de respuestas señaladas en el instrumento original, dejándolo abierto a una respuesta numérica. Esta modificación se piloteó previamente, con una muestra independiente, seleccionada por conveniencia, en donde participaron 100 niñas y niños de 6 a 12 años de edad, obteniendo un coeficiente de consistencia interna de 0.892 para la subescala de frecuencia de consumo alimentario.

En el estudio desarrollado inicialmente (base de datos consultada) el apartado de frecuencia de consumo alimentario arrojó tres puntuaciones: una puntuación bruta por alimento consumido en el día; una puntuación bruta por grupo alimenticio (verduras, frutas, cereales, leguminosas, carnes, lácteos, agua, azúcares y grasas), agrupadas conforme a la Guía de Alimentos para la Población Mexicana de la Secretaría de Salud (2010); y finalmente, una puntuación estandarizada del consumo alimentario (insuficiente, adecuado o excedido) alineada a los parámetros de las Guías Alimentarias y de Actividad Física de la Academia Nacional de Medicina (2015) respecto a las porciones para niñas y niños mexicanos en edad escolar de 6 a 12 años. Para este estudio se consideró exclusivamente la su-

matoria bruta del total de los alimentos consumidos en el día, en donde se realizó una adición del total de porciones de los 24 alimentos enlistados en el apartado de consumo alimentario. De manera que, a mayor puntaje, mayor cantidad de alimentos consumidos en el día, sin tomar en cuenta los parámetros de las Guías Alimentarias y de Actividad Física de la Academia Nacional de Medicina (2015) que indican la suficiencia del consumo.

Consideraciones éticas

El estudio fue revisado y aprobado por el Núcleo Académico Básico del Doctorado en Psicología de la Salud de la Universidad Autónoma de Coahuila, así como por el Programa de Desarrollo Profesional Docente, quienes verificaron que se apegaba a los aspectos éticos de la investigación en seres humanos y, particularmente, de investigación en menores de edad de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud (Comisión Nacional de Bioética, 2013). De acuerdo con esta ley, el estudio fue clasificado como una investigación sin riesgo, dado que no se realizó intervención alguna, por basarse los resultados en cuestionarios, en el que se obtuvieron consentimientos por parte de los padres y asentimientos por parte de los niños para que se integraran al estudio.

Procedimiento

Los IT2 FLS se construyeron a partir de las variables latentes de entrada x_1-x_6 , y la variable de salida y , integradas por su sumatoria, que puede apreciarse en la Tabla 1, junto con su descripción.

El modelo de IT2 FLS utiliza el motor de inferencia Mamdani con reglas “Si-Entonces” para la inferencia y tiene funciones de membresía (FM) ordenadas de la misma manera para cada uno de los parámetros. En el presente estudio se seleccionaron 5 FM, dos triangulares (extremos) y tres trapezoidales (centro). Se empleó el mismo proceso de selección y ajuste de parámetros para las FM de las variables de entrada y salida. Para el proceso

■ **Tabla 1. Variables de entrada y respuesta (salida) (abreviada).**
 Table 1. Input and response (exit) (abbreviated) variables.

Variables	Ítems	Posible		Obtenido		M	DE
		Min	Max	Mín	Max		
	Adquisición de alimentos	0	7	2	7	3.27	1.35
x_1 . Cuántas veces come fuera de casa en la semana	Sumatoria de: <ul style="list-style-type: none"> • Entre semana, ¿cuántas veces comes fuera de casa? • El fin de semana, ¿cuántas veces comes fuera de casa? 						
	Adquisición de alimentos	0	24	3	11	5.79	1.18
x_2 . Horas entre la comida y la cena	Diferencia de: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Regularmente a qué hora cenas? • ¿Regularmente a qué hora comes? 						
	Adquisición de alimentos	0	∞	3	9	5.30	1.42
x_3 . Número de comidas que hace en el día	<ul style="list-style-type: none"> • Número de comidas principales que haces en el día • Número de colaciones o snacks que haces en el día 						
	Normas sociales alimentarias (reproducir)	0	24	7	24	13.70	3.75
x_4 . Normas sociales alimentarias a reproducir	Sumatoria de: <ul style="list-style-type: none"> • Se debe comer sentado • Se debe comer en casa • Se debe comer acompañado • Se debe comer en familia al menos una vez al día • Se debe comer de todos los grupos alimenticios • Se debe consumir toda la comida que está en el plato 						
	Normas sociales alimentarias (evitar)	0	16	4	16	10.51	2.95
x_5 . Normas sociales alimentarias a evitar	Sumatoria de: <ul style="list-style-type: none"> • Se debe evitar subir los codos a la mesa • Se debe evitar los alimentos entre comidas • Se debe evitar comer comida rápida • Se debe reducir las comidas fuera de casa 						

continúa...

	Percepción publicitaria	6	12	0	11	5.56	1.35
x_6 . Compra de alimentos por publicidad alimentaria	Sumatoria de: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuando ves un comercial de alimentos le dices a tus papás o cuidadores que te compren el alimento? • ¿Cuando ves un comercial de alimentos le dices a tus papás o cuidadores que te compren el alimento después de que ves el comercial? • ¿Cuando ves un comercial de alimentos le dices a tus papás o cuidadores que te compren el alimento en el momento en que ves el comercial? • ¿Cuando ves un comercial de alimentos le dices a tus papás o cuidadores que te compren el alimento cuando estás en la tienda? • ¿Tus padres compran todo lo que tú les pides de comida? • ¿Te compran en ocasiones un alimento que viste en la televisión? 						
	Frecuencia semanal de consumo alimentario	0	∞	23	120	45.79	1.35
y . Consumo de alimentos semanal	Sumatoria del total de ítems						

de defusificación se usó el método del centroide, y el método Karnik y Mendel (1998), para la reducción tipo (RT). Se utilizaron las mismas variables para desarrollar los dos modelos empleados en el presente estudio: IT2 FLS y regresión lineal múltiple (RLM), a través del método de mínimos cuadrados generalizados, lo que permitió la comparación de los resultados obtenidos por ellos.

Sistemas de lógica difusa tipo 2 de intervalo (IT2 FLS)

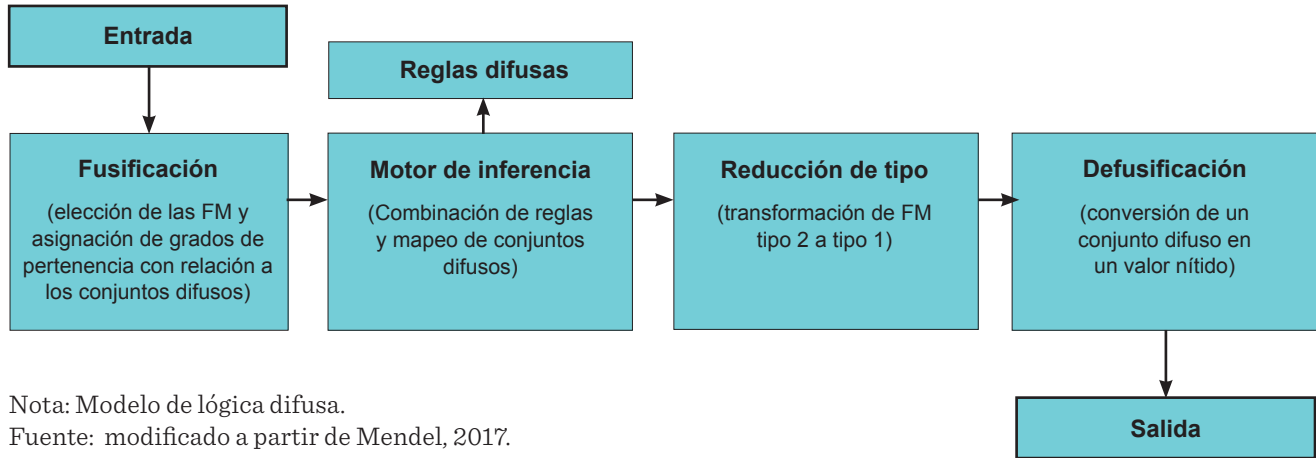
El modelo de IT2 FLS utilizado contó con cuatro fases: fusificación, motor de inferencia basado en reglas difusas, RT y defusificación, como se observa en la Figura 1.

La estructuración del modelo de IT2 FLS comenzó con la elección de las FM que representaron a los conjuntos difusos. Estas fun-

ciones se utilizaron en el proceso de fusificación, y se transformaron en los valores de entrada, en una representación difusa mediante la asignación de grados de pertenencia con relación a los conjuntos difusos. Las FM utilizadas en el actual IT2 FLS fueron las gaussianas.

En el modelo se aplicó un fusificador no singleton de tipo 2, el cual mapea las mediciones $x_i = x'_i$ en números de IT2 FLS, es decir, son IT2 FLS cuyas FM inferior y superior de su huella de incertidumbre (FOU, por sus siglas en inglés: Footprint of Uncertainty) son números difusos de tipo 1. Los T2 FLS (\tilde{A}) y su relación con la FOU se observa en las ecuaciones (1) y (2).

$$1. \tilde{A} = 1/\text{FOU}(\tilde{A})$$



Nota: Modelo de lógica difusa.
Fuente: modificado a partir de Mendel, 2017.

■ **Figura 1. Representación del sistema de lógica difusa tipo 2.**
Figure 1. Type 2 fuzzy logic representation system.

$$2. \text{FOU}(\tilde{A}) = \bigcup_{x \in X} \{x\} \times I_x = \bigcup_{x \in X} J_x$$

$$3. \tilde{A} = \{((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) | x \in X, u \in U \equiv [0,1]\}$$

Donde:

- \tilde{A} : conjuntos difusos tipo 2 (T2 FS).
- x : elemento individual en el conjunto X relacionado con la variable de entrada.
- I_x : función de membresía asociada.
- J_x : conjunto difuso asociado con un elemento x en X .
- $\mu_{\tilde{A}}$: función de membresía tipo 2 asociada al conjunto difuso \tilde{A} .
- (x, μ) : par ordenado donde x pertenece al conjunto X y y es un valor en el intervalo $[0, 1]$.
- U : Operador matemático que denota la unión.

En el siguiente paso se definió el motor de inferencia Mamdani, el cual se encarga de combinar las reglas para mapear los conjuntos difusos antecedentes y consecuentes. Consistió en plantear las reglas difusas, utilizando el conocimiento de los expertos en el objeto de control. Se establecieron con reglas lingüísticas de control para definir la forma en que debía actuar el sistema. Las reglas “Si-Entonces” contenidas en el modelo de IT2 FLS propuesto se modelaron con el método de Zadeh, mostrado en la ecuación (4) (Mamdani y Assilian, 1975).

$$4. \tilde{R}_z^l: \text{Si } x_1 \text{ es } \tilde{F}_1^l \text{ y } \dots \text{ y } x_p \text{ es } \tilde{F}_p^l, \text{ ENTONCES } y \text{ es } \tilde{G}^l \text{ para } \tilde{F}_1^l \in T_{x_1}, \dots \text{ y } \tilde{F}_p^l \in T_{x_p}$$

Donde:

- (x_1, \dots, x_p) : variables de entrada.
- $(\tilde{F}_1^l, \dots, \tilde{F}_p^l)$: valores de membresía difusa.
- $(T_{x_1}, \dots, T_{x_p})$: conjuntos difusos asociados.
- y : variable de salida (respuesta).
- \tilde{G}^l : membresía difusa en el conjunto difuso L .

La definición del alcance de las variables lingüísticas se logró a través del conocimiento experto, siendo un componente esencial en los modelos de inteligencia artificial. Esto permite capturar la incertidumbre y la ambigüedad inherentes al lenguaje natural.

Para construir las reglas “Si-Entonces”, se formuló a partir de la ecuación (4), considerando los siguientes valores: $x_1 = 5$, $x_2 = 4$, $x_3 = 7$, $x_4 = 19$, $x_5 = 17$, $x_6 = 3$, $y = 43$. A su vez, cada valor se dividió en 5 categorías de intervalos iguales, definidas en términos lingüísticos como “muy bajo”, “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto”, lo que permite modelar la información y analizarla con IT2 FLS.

Por último, se estableció el método de RT, el cual transforma las FM tipo 2 a tipo 1, y la defusificación, que implica la conversión de un conjunto difuso en un valor nítido (Ross, 2004). Estos procesos se realizaron mediante el método de centro de conjuntos (COS) y el método del centroide, respectivamente (Mendel, 2017). Las ecuaciones (5) y (6) son las más relevantes al momento de trabajar con RT + defusificación, donde $y_c(x)$ es la salida del sistema (7).

$$5. c_l(\tilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^L x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=L+1}^L x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^L \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=L+1}^L \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}$$

$$6. c_r(\tilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^R x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=R+1}^N x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^R \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=R+1}^N \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}$$

$$7. y_c(x') = \frac{1}{2} [c_l(\tilde{A}) + c_r(\tilde{A})]$$

Coefficiente de determinación R²

Se utilizó para determinar la variabilidad de los resultados del modelo, es decir, la calidad del modelo para replicar los resultados y la variación que puede explicarse. En la expresión (8) se muestra la fórmula utilizada para calcular el coeficiente de determinación.

$$8. R^2 = 1 - \frac{SS_{Res}}{SS_{Tot}}$$

Donde:

$SS_{Tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ = Es la suma de cuadrados totales que mide la variabilidad de y.

$SS_{Res} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ = Es la suma de cuadrados del error que indica cuál es el residual del modelo estimado al explicar la variable de respuesta, donde su representación matemática es SS_{Res} (Montgomery y col., 2006).

RESULTADOS

Las variables x_1 (cuántas veces come fuera de casa en la semana), x_4 y x_5 (normas sociales alimentarias a reproducir y a evitar) y x_6 compra de alimentos por publicidad alimentaria, presentaron los valores promedio más altos, respecto al valor máximo posible estimado (Tabla 1).

En el análisis de varianza (ANOVA) del modelo basado en IT2 FLS, utilizando los residuales y la varianza total para determinar las fuentes de variación, el modelo se considera representativo, debido a que el valor de $P < 0.05$ y que el valor F calculado es mayor que el valor F de referencia en las tablas estadísticas, a partir del umbral de significancia (Tabla 2).

Los coeficientes de determinación del modelo de IT2 FLS, que se obtienen si se omite cada una de las variables, lo que permite identificar cuál de ellas tiene mayor peso. El modelo se vio más afectado al omitir la variable x_5 (“Normas sociales alimentarias a evitar”) ($R^2 = 0.432$), seguida de la variable x_3 (“número de comidas que hace en el día”) ($R^2 = 0.516$) y x_6 (“Compra de alimentos por la publicidad alimentaria”) ($R^2 = 0.524$), demostrando con esto que fueron las de mayor influencia en el consumo de alimentos semanal (variable y), ya que al excluirlas del modelo el coeficiente de determinación (R^2) se redujo significativamente ($P < 0.01$) (Tabla 3).

El modelo de RLM (Tabla 4) permitió predecir el consumo de alimentos de los niños en un 37 %, siendo las horas entre comidas (x_2), las normas sociales alimentarias a evitar (x_5) y la compra de alimentos por la publicidad alimentaria (x_6), las variables de entrada con mayor peso en el modelo ($P < 0.05$). Estos resultados se analizaron también mediante la metodología de exclusión de variables y se llevó a cabo un ANOVA en el modelo de RLM para comparar los resultados entre ambos mo-

■ Tabla 2. ANOVA de IT2 FLS.

Table 2. IT2 FLS ANOVA.

Causa de variación	gl	SS	CM	F _{calculado}	F _{tablas}	R ² _{ajustado}	P
Modelo	6	14 748.050	2 458.008	23.435	2.220	0.649	0.000
Residual	76	7 971.468	104.888				
Total	82	22 719.518					

Nota: SS = Suma de cuadrados, CM = Cuadrados medios.

■ **Tabla 3. Coeficientes de determinación al omitir variables en el modelo de IT2 FLS.**
 Table 3. Coefficient of determination when omitting variables in the IT2 FLS model.

Variable omitida	F _{calculado}	F _{tablas}	P	R ² _{ajustado}
x_1	21.726	2.333	0.000	0.558
x_2	22.387	2.333	0.000	0.566
x_3	18.505	2.333	0.000	0.516
x_4	31.503	2.333	0.000	0.650
x_5	13.460	2.333	0.000	0.432
x_6	19.063	2.333	0.000	0.524

■ **Tabla 4. Regresión lineal múltiple: consumo total de alimentos de la muestra estudiada .**
 Table 4. Multiple linear regression: total food consumption of the analyzed sample.

Variabes de entrada	R ² _{ajustado}	F	P	β	P	Límite inferior	Límite superior
x_1	0.370	9.020	0.000	1.396	0.222	- 0.862	3.653
x_2				5.234	0.000	2.596	7.873
x_3				0.127	0.911	- 2.133	2.387
x_4				0.753	0.102	- 0.153	1.660
x_5				2.278	0.000	1.158	3.399
x_6				1.413	0.023	0.198	2.629

delos (Tabla 5). Se encontró que, de manera similar al modelo de IT2 FLS, la variable que ejerció la mayor influencia en el consumo de alimentos semanal (variable y) fue x_5 (Normas sociales alimentarias a evitar), ya que al excluirla del modelo el coeficiente de determinación (R²) bajó significativamente, con un valor de 0.243, indicando un ajuste deficiente.

Al comparar el ajuste de los modelos, se puede ver que el modelo de RLM obtuvo una R² de 0.370 (Tabla 4), en tanto que el modelo con IT2 FLS presentó una R² de 0.649 (Tabla 2); es decir, predijo el 64.9 % de la influencia que tienen las variables estudiadas (Tabla 1) en el consumo de alimentos semanal.

En la Figura 2, se muestra el ajuste de los modelos de IT2 FLS (línea azul) y RLM (lí-

nea verde) con respecto a los datos obtenidos del instrumento (línea negra). Es posible observar que, el modelo IT2 FLS se ajusta mejor visualmente a los datos del instrumento.

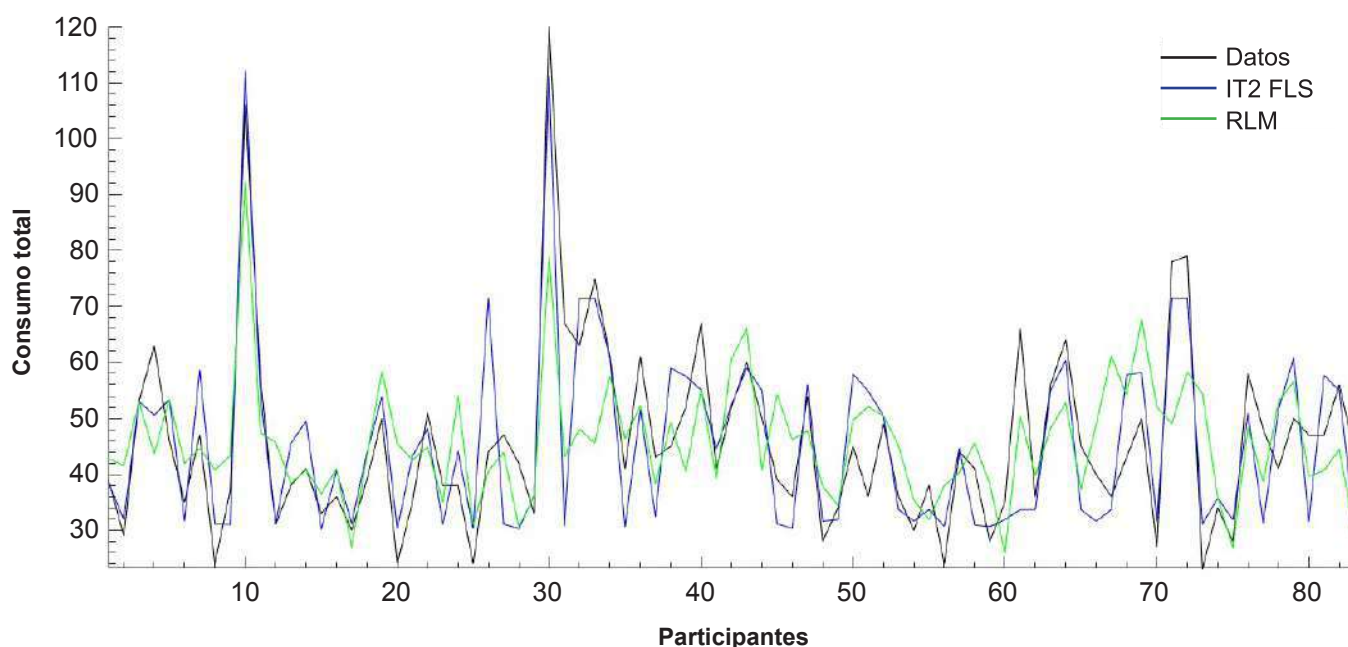
DISCUSIÓN

Los hábitos de alimentación, como las horas entre comidas (x_2) y el número de comidas en el día (x_3), tuvieron una fuerte influencia en el consumo de alimentos semanal de acuerdo a la RLM y al modelo IT2 FLS, respectivamente (Tablas 3 y 5). Este comportamiento fue señalado por Álvarez (2011), quien indicó que los hábitos alimentarios son procesos automatizados, en los que generalmente se llevan a cabo las mismas conductas. De manera que, en este caso, entre más tiempo de ayuno y número de comidas en el día, se da un mayor consumo alimentario, como lo reportan Sha-

■ Tabla 5. Coeficientes de determinación al omitir variables en el modelo de Regresión Lineal Múltiple.

Table 5. Coefficient of determination when omitting variables in the Linear Regression Multiple Model.

Variable omitida	F _{calculado}	F _{tablas}	P	R ² _{ajustado}
x_1	10.451 128	2.333	0.000	0.365 598 3
x_2	6.472 919 9	2.333	0.000	0.250 214 4
x_3	10.962 526	2.333	0.000	0.377 904 8
x_4	10.048 595	2.333	0.000	0.355 563 6
x_5	6.289 057 7	2.333	0.000	0.243 858 3
x_6	9.229 799	2.333	0.000	0.334 139 9



■ Figura 2. Gráfica de ajuste de la variable de respuesta “consumo total de alimentos de los hijos”.

Figure 2. Fit plot of the response variable “children’s total food consumption”.

mah-Levy y col. (2021), quienes encontraron esta asociación común en los mexicanos.

La influencia de las normas sociales alimentarias a evitar y a reproducir, en el consumo alimentario (Tabla 1), mostraron los valores promedio más altos en este estudio, lo cual, se debe probablemente a que son la base social de los hábitos de alimentación. Estas normas son reglas alimentarias que se dan en

ambientes habituales, familia, amigos, cultura, entre otros, permeando las tomas de decisiones y preferencias alimentarias (Álvarez, 2011; Pérez y López, 2022). Destaca el que las normas sociales alimentarias a evitar fue la variable que mejor explicó el consumo en los niños y niñas (Tablas 3 y 5). Esto se puede asociar a que, en esta etapa, los padres suelen utilizar estrategias restrictivas para la regulación del consumo alimentario, principal-

mente para propiciar el consumo de alimentos saludables (Hogreve y col., 2021). Es decir, que las normas sociales llevan a que los padres tengan mayor control restrictivo de la alimentación de sus hijos, enfatizando lo que no deben hacer cuando comen.

Las normas sociales alimentarias a reproducir, es decir las que indican que sí comer o cómo sí comportarse ante los alimentos, representaron la variable que menos aportó a la capacidad predictiva del modelo estudiado (Tabla 3). Esto podría entenderse en el mismo sentido, es decir que, al menos en esa etapa de la vida, la mayor parte de las normas que reciben son restrictivas, y no es hasta la etapa de la adultez, cuando comienzan a incorporar a sus esquemas las normas a reproducir, así como la capacidad de adquisición, dándoles mayor capacidad de decisión respecto a su conducta y consumo alimentario (Hogreve y col., 2021).

La influencia de las normas alimentarias observadas en este estudio, representa un foco de atención, ya que como mencionaron Perry y col. (2010), en ocasiones las normas alimentarias que asumen los padres o adultos suelen inducir una mayor preferencia por alimentos hipercalóricos o no recomendados para consumo en los niños. Esto se debe a que las normas sociales alimentarias no siempre se fundamentan en las normas de salud, sino que, se basan en el sentido común y en la cultura (Pérez y López, 2022). Una cultura obesogénica, en donde los niños están siendo bombardeados por publicidad alimentaria engañosa, puede motivarlos a la compra de comida no saludable (Gil y Cortes, 2020). Los resultados obtenidos muestran que la publicidad alimentaria predice el consumo de alimentos de los niños, de acuerdo a ambos modelos estudiados (Tablas 3 y 5), con lo que es posible afirmar que, la publicidad alimentaria logra su propósito de influir en la intención de compra de los artículos y consumo de estos (Ponce y col., 2017). Sin embargo, es necesario hacer estudios más profundos para identificar los grupos alimentarios que efectivamente se comen

pran y consumen tras percibir la publicidad alimentaria.

En cuanto a los procedimientos de análisis que se pueden utilizar para comprender este fenómeno multicausal, se pudo observar que, al emplear inteligencia artificial, a través de IT2 FLS, se tuvo un mejor coeficiente de determinación que el modelo estadístico de RLM. Esto comprueba que, cuando existe información y datos con poca linealidad, alta variación e incertidumbre, los modelos convencionales, como la RLM, no suelen dar buenos resultados de predictividad, por lo que se recomienda trabajar con modelos alternos (Chanchí y col., 2021).

Es necesario desarrollar estudios longitudinales, que incluyan otros grupos de edad, para determinar si el modelo predictivo propuesto permanece vigente a lo largo del desarrollo vital, y si las implicaciones de desarrollar una conducta alimentaria, a partir de la variable normas a evitar, la cual mostró influencia en el modelo analizado y en la RLM, favorece el desarrollo de una conducta alimentaria saludable en la adolescencia y vida adulta; o si por el contrario, incide en la generación de hábitos nocivos cuando se es capaz de decidir de manera más autónoma y en dónde se esperaría que las normas de reproducción sean las que regulen el consumo.

Se debe tomar en cuenta que, aunque en este estudio se abordaron algunas de las variables consideradas de relevancia en los hábitos alimenticios, al ser este fenómeno complejo, dinámico y multifactorial, pueden existir otras variables que quizá aportasen valor predictivo, y permitiesen una mayor comprensión de los resultados.

Las repercusiones en la salud de los hábitos alimenticios y los factores que inciden en éstos tienen afectaciones importantes en la población mexicana, principalmente en niños de edad escolarizada (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, 2017). La comprensión y análisis de los

elementos como las normas sociales alimentarias y la publicidad alimentaria sobre las conductas alimentarias poco saludables en la población infantil, es fundamental para la implementación de acciones efectivas en la prevención de sobrepeso, obesidad, diabetes, por mencionar algunas (Pérez y col., 2021; Shamah-Levy y col., 2021).

Estudios como este permiten identificar cómo las normas sociales alimentarias y la publicidad alimentaria percibida puede explicar el consumo alimentario, aspectos que son complejos de analizar pues presentan incertidumbre y variabilidad. Por lo que, a partir del uso de la lógica difusa, que simula el procesamiento y razonamiento humano, manejando dicha imprecisión e incertidumbre, se pueden elaborar modelos que proporcionen información más representativa (Mendel, 2017).

Finalmente, se resalta la utilidad de análisis con el uso de modelado con lógica difusa en el estudio de fenómenos sociales complejos y de relevancia para el desarrollo social y de salud. Sin embargo, sigue siendo una limitante de este procesamiento la falta de dimensionalidad de cada variable en el modelo.

CONCLUSIONES

Las normas sociales alimentarias a evitar, la compra de alimentos por la publicidad alimentaria, los hábitos alimenticios como la frecuencia de consumo (número de comidas) y horas entre comidas, predijeron el consumo alimentario semanal en los escolares de una escuela del noreste de México. La variable que ejerció la mayor influencia en el consumo total de alimentos por parte de los niños fueron las “Normas sociales alimentarias a evitar”, tendencia observada en ambos modelos estudiados. El procesamiento de la información mediante los sistemas de lógica difusa presentó una mejor bondad de ajuste y coeficiente de determinación ($R^2 = 0.649$) que el método estadístico de regresión lineal múltiple (RLM) ($R^2 = 0.369$). El enfoque basado en inteligencia artificial, específicamente los sistemas de lógica difusa tipo 2 de intervalo, constituyen un método de procesamiento más eficaz que las aproximaciones tradicionales, como la RLM, para explicar lo que sucede en estos fenómenos complejos y multicausales.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Academia Nacional de Medicina (2015). *Guía alimentaria y de actividad física en Contexto de Sobrepeso y Obesidad en la población mexicana*. [En línea]. Disponible en: <https://www.insp.mx/eppo/blog/3878-guias-alimentarias.html>. Fecha de consulta: 20 de abril de 2017.
- Ahmadi, H., Gholamzadeh, M., Shahmoradi, L., Nilashi, M., and Rashvand, P. (2018). Diseases diagnosis using fuzzy logic methods: A systematic and meta-analysis review. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 161: 145-172.
- Álvarez, J. (2011). Los adolescentes y su imagen corporal: esquemas cognitivos, canon social, hábitos y emociones. En J. Moral, J. L. Ybarra, J. Álvarez, J. Zapata y J. González. (Eds.), *Adolescentes escolarizados: sus hábitos de actividad física y alimentación. Un estudio comparativo en el noreste de México* (pp. 281-303). México: Fontamara.
- Arvizú, O., Polo, E. y Shamah, T. (2015). *Qué y cómo comemos los Mexicanos: consumo de alimentos en la población urbana*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública. 12-14 Pp.
- Ballester, L. y Colom, A. J. (2006). Lógica difusa: una nueva epistemología para las Ciencias de la Educación. *Revista de Educación*. 340: 995-1008.
- Barrios, A. B. (2018). Sistema experto para detectar tipos de personalidades de acuerdo a la edad biológica basado en lógica difusa, en *Repositorio Institucional- Universidad Mayor de San Andrés*. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/17509>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.
- Bisquerra, R. (1989). *Introducción conceptual al análisis multivariable* España: Promociones y Publicaciones Universitarias. 321 Pp.
- Cárdenas, F. G. (2021). Modelo de recomenda-

ción de dietas saludables mediante algoritmos de optimización, lógica difusa y lógica de primer orden [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional-Universidad del Altiplano. [En línea]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3442719>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.

Casadeús, R. y Castro, I. (2018). De la lógica difusa a la inteligencia artificial. Hacia un futuro transhumano. *Ars Brevis: aunario de la cátedra Ramon Llull Blanquerna*. (24): 47-82.

Chanchí, G. E., Sierra, L. M. y Campo, W. Y. (2021). Aplicación de la lógica difusa en la implementación de rúbricas de evaluación en el contexto universitario. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informacao*. E42: 174-187.

Chen, C., Wu, D., Garibaldi, J., John, R., Twycross, J., and Mendel, J. (2020). A Comprehensive Study of the Efficiency of Type-Reduction Algorithms. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 29(6): 1556-1566.

Cobio, A. y Álvarez, J. (2015). Sobrepeso y obesidad; hábitos alimentarios y físicos; autoimagen y percepción de los anuncios alimentarios. [tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, México]. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/9657/>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.

Comisión Nacional de Bioética (2013). *Norma oficial mexicana NOM-12-SSA3-2012, Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos*. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284148&fecha=04/01/2013#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.

Duarte, O. G. (2000). Aplicaciones de la lógica difusa. *Revista ingeniería e investigación*. 45: 5-12.

Erdem, P. and Akyuz, E. (2021). An interval type-2 fuzzy SLIM approach to predict human error in maritime transportation. *Ocean engineering*. 232: 109161.

Figuroa-García, J., Román-Flores, H., and Chalco-Cano, Y. (2022). Type-reduction of Interval Type-2 fuzzy numbers via the Chebyshev inequality. *Fuzzy Sets and Systems*. 435: 164-180.

Franco-López, J. A., Uribe, A. y Monsalve, J. C. (2019). El capital humano y estructural a través de la lógica difusa 2. *Revista Lasallista de Investigación*. 16(2): 160-170.

Gil, C. y Cortes, A. (2020). Publicidad alimentaria en horario infantil: análisis de los anuncios emiti-

dos en tres canales televisivos. *Revista Electrónica de Investigación y Docencia Creativa*. 9(1):1-10.

Hernández, V., Ramos, P. y Núñez, R. (2015). Las prácticas y la publicidad en el consumo de refrescos en mexicanos. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 14(1): 33-35.

Hogreve, J., Matta, S., Hettich, A., and Walker, R. (2021). How do social norms influence parents' food choices for their children? The role of social comparison and implicit self-theories. *Journal of Retailing*. 97(2):173-190.

Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (2017). Sobrepeso y obesidad infantil. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/issste/articulos/obesidad-infantil>. Fecha de consulta: 20 de abril de 2017.

Jayalakshmi, M., Garg, L., Maharajan, K., Jayakumar, K., Srinivasan, K., Bashir, A. K., and Ramesh, K. (2021). Fuzzy Logic-Based Health Monitoring System for COVID-19 Patients. *Computers, Materials and Continua*. 67(2): 2431-2447.

John, R. I. and Innocent, P. R. (2005). Modeling uncertainty in clinical diagnosis using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Systems, man and Cybernetics*. 35(6): 1340-1350.

Karnik, N. and Mendel, J. (1998). Introduction to Type-2 Fuzzy Logic Systems. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence*. 2: 915-920.

Kennedy, M. C. (2010). Bayesian modelling of long-term dietary intakes from multiple sources. *Food and chemical Toxicology*. 48(1): 250-263.

Mamani, E. Z. (2020). *Sistema experto con base en lógica difusa para el diagnóstico de distimia* [Tesis de grado]. Universidad pública de el Alto. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.upea.bo/bitstream/123456789/209/1/TESIS-Elizabeth%20Zulma%20Mamani%20Choque%20-%20Sistema%20Experto%20con%20base%20en%20L%C3%B3gica%20Difusa%20para%20el%20Diagn%C3%B3stico%20de.pdf>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.

Mamdani, E. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 51: 1-13.

Medina, S. (2006). Estado de la cuestión acerca del uso de la lógica difusa en problemas financieros. *Cuadernos de Administración en Bogotá*. 19(32): 195-223.

- Memmedova, K. (2018). Quantitative analysis of the effect of pilates exercises on psychological variables and academic achievement using fuzzy logic. *Quality & Quantity*. 52: 195-204.
- Mendel, J. (2017). *Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems: Introduction and New Directions* (Second edition). Los Angeles, CA, USA: Springer. 250 Pp.
- Ménez, M., Campos, A. C. y Bustillos, C. G. (2004). *Aplicación de lógica difusa en orientación vocacional*. [Tesis de grado]. Repositorio Institucional Instituto Tecnológico. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15306>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.
- Mittal, K., Jain, A., Vaisla, K. S., Castillo, O., and Kacprzyk, J. (2020). A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 95: 1-14.
- Montgomery, P. y Vining. (2006). *Introducción al análisis de regresión lineal* (Tercera edición). Mexico D.F.: Compañía editorial continental. 342 Pp.
- Moral, J., Ybarra, J. L., Álvarez, J., Zapata, J. y González, J. (2011). Adolescentes escolarizados: *Sus hábitos de actividad física y alimentación. Un estudio comparativo en el noreste de México*. México. Fontamara. 181 Pp.
- Nogales, D. (2015). *Sistema experto para el diagnóstico de la depresión en un geronte basado en lógica difusa*. [Tesis de grado]. Universidad Mayor de San Andrés. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/8039>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.
- Pérez, B. A. y López, D. I. (2022). Propiedades psicométricas del Cuestionario de Normas Sociales Alimentarias en el Noreste de México. *Journal of Behavior, Health & Social Issues*. 14(1): 8-16.
- Pérez, B. y Laviada, J. (2023). Hábitos alimentarios y normas sociales alimentarias en escolares. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. (88).
- Pérez-Pedraza, B., Álvarez-Bermúdez, J. y Carréon-Marruffo, M. (2023). Consumo de alimentos y la publicidad alimentaria: contrastes en niños escolarizados. *Cultura Educación y Sociedad*. 14(1): 111-124.
- Perry, C. L., Story, M., and Lytle, L. A. (2010). Promoting healthy dietary behaviors. In R. P. Weissberg, T. P. Gullotta, R. L. Hampton, B. A. Ryan, and G. R. Adams (Eds.), *Issues in children's and families lives, Healthy children 2010 Enhancing children's wellness* (pp. 214-249). London: Sage Publications.
- Ponce, J., Pabón, M. y Lomas, M. (2017). Análisis de contenido de la publicidad de productos alimenticios dirigidos a la población infantil. *Gaceta Sanitaria*. 21(3): 180-186.
- Pozo, P. E., Cozzarelli, A. L., Unkuch, N. M. y Cruz, Y. A. (2021). Violencia contra la mujer y su influencia en las familias dentro de la ciudadela Muñoz. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. 58(9): 1-23.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. United Kingdom: John Wiley & Sons. 312 Pp.
- Ruiz-Cota, P., Bacardí-Gascón, M. y Jiménez-Cruz, A. (2019). Historia, tendencias y causas de la obesidad en México. *Journal of Negative & no Positive Results*. 4(7): 671-745.
- Secretaría de Salud (2010). *Guía de Alimentos para la Población Mexicana*. Pressprinting S.A. de C.V. [En línea]. Disponible en: <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/salud/guia-alimentos.pdf>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.
- Shamah-Levy, T., Romero-Martínez, M., Barrientos-Gutiérrez, T., Cuevas-Nasu, L., Bautista-Arredondo, S., Colchero, M. A., ... y Rivera-Dommarco, J. (2021). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020 sobre Covid-19, en *Resultados nacionales*. [En línea]. Disponible en: <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2020/doctos/informes/ensanutCovid19ResultadosNacionales.pdf>. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2022.
- Tayyebi, S. and Soltanali, S. (2017). A new approach of GA-based type reduction of interval type-2 fuzzy model for nonlinear MIMO system: Application in methane oxidation process. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 167: 12-19.
- Torres, F. y Rojas, A. (2020). Seguridad alimentaria y sus desequilibrios regionales en México. *Problemas del desarrollo*. 201(51): 57-83.
- Valencia, S. (2016). Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de trastornos del espectro autista en niños y adolescentes basado en lógica difusa caso: CEREFÉ. [Tesis de grado]. Universidad Mayor de San Andrés. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/10095>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2024.
- Zadeth, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information/Control*. 8: 338-353.

Zadeth, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*. 21(4): 83-93.

Zéténi, T. (1988). *Fuzzy sets in psychology*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.



Imagen de: Sheila Briget Malpica Acosta

Efecto de tres métodos de extracción en el rendimiento, actividad antioxidante, fenoles totales y estabilidad de extractos de hojas de *Plectranthus amboinicus*

Effect of three extraction methods on yield, antioxidant activity, total phenols, and stability of extracts from *Plectranthus amboinicus* leaves

Sheila Briget Malpica-Acosta¹, Andrés Antonio Acosta-Osorio², José Javier Benedito-Fort³, Rosa Isela Castillo-Zamudio^{1*}

RESUMEN

Los métodos de extracción de fitoquímicos convencionales presentan bajos rendimientos o largos tiempos de proceso. El ultrasonido ofrece alternativas para incrementar el rendimiento en extractos vegetales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres métodos de extracción en rendimiento, composición de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y estabilidad de extractos de hojas de *Plectranthus amboinicus* (oreganón). Los métodos de extracción usados fueron: convencional con agitación (EC), asistida con baño de ultrasonidos (EABU) y asistida con sonda de ultrasonido (EASU). Se usó una proporción 1:10 (p/v) orégano:etanol a 35 ± 2 °C. Los rendimientos se calcularon como materia seca del extracto (% ms). Se usó un modelo de pseudo-segundo orden para ajustar las curvas de extracción experimentales de los tres métodos y obtener los parámetros cinéticos. Se determinaron compuestos fenólicos totales (CFT) y actividad antioxidante (AA) mediante los métodos de Folin-Ciocalteu y DPPH, respectivamente. Se evaluó la estabilidad del CFT y AA durante el almacenamiento. La EASU aumentó 33.93 % el rendimiento en los extractos con respecto a EC. La mayor concentración de CFT ($P \leq 0.05$) se obtuvo mediante EABU (10.32 mg EAG/ms) y para AA mediante EC (19.43 mg ET/g ms). El modelo cinético de pseudo-segundo orden ajustó adecuadamente las cinéticas experimentales. La constante de velocidad (k) de CFT más alta fue de 0.016 g ms/mg EAG-min para la EASU, siendo esta técnica la que demostró una disminución significativa de AA con respecto al tiempo de extracción. Los CFT de los extractos obtenidos mediante EABU, EASU y EC (3.7 mg EAG/g ms, 4.4 mg EAG/g ms y 7.2 mg EAG/g ms, respectivamente), al igual que la AA se mantuvieron estables y sin cambios significativos ($P \geq 0.05$) durante los 34 d de almacenamiento, mostrando nuevamente la ventaja de utilizar la técnica extractiva de ultrasonidos, en función del tiempo.

PALABRAS CLAVE:

oreganón, extracción, actividad antioxidante, compuestos fenólicos, rendimiento.

ABSTRACT

Conventional phytochemicals extraction methods have shown low yields or very long processing times for obtaining. The ultrasound offers alternatives to increase the yields of plant extracts. The objective of this work was to evaluate the effect of three extraction methods on the yield, phenolic compound composition, antioxidant activity and stability of *Plectranthus amboinicus* (oregano) leaf extracts. The extraction methods used were: conventional heat-assisted extraction (CE), ultrasound water bath assisted (UBAE) and ultrasound probe assisted extraction (UPAE). A 1:10 (w/v) oregano:ethanol ratio was used at 35 ± 2 °C. Yields were calculated as extract dry matter (% ms). A pseudo-second-order model was used to fit the experimental extraction curves of the three methods and obtain the kinetic parameters. Total phenolic compounds (TPC) and antioxidant activity (AA) were determined by Folin-Ciocalteu and DPPH methods, respectively. The stability of TPC and AA was evaluated during storage. UPAE increased 33.93 % yield in extracts concerning CE. The highest concentration of CFT ($P \leq 0.05$) was obtained by UBAE (10.32 mg EAG/ms) and for AA by CE (19.43 mg ET/g ms). The pseudo-second-order kinetic model adequately fitted the experimental kinetics. The highest TPC rate constant (k) was 0.016 g ms/mg EAG-min, for UPAE, this technique being the one that demonstrated a significant decrease in AA with respect to extraction time. The TPC of the extracts obtained by UBAE, UPAE and CE (3.7 mg EAG/g dms, 4.4 mg EAG/g dms and 7.2 mg EAG/g ms, respectively), as well as the AA remained stable and without significant changes ($P \geq 0.05$) during the 34 d of storage, again showing the advantage of using the ultrasound extractive technique, as a function of time.

KEYWORDS:

oreganon, extraction, antioxidant activity, phenolic compounds, yield.

*Correspondencia: rosychely@colpos.mx/Fecha de recepción: 20 de marzo de 2023/Fecha de aceptación: 22 de enero de 2024/Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, km 88.5 carretera Federal Xalapa-Veracruz, Veracruz, México, C. P. 91700. ²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz, Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Veracruz, México, C. P. 91870. ³Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia, España, C. P. 46022.

INTRODUCCIÓN

El oreganón (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng.) es una planta suculenta, aromática, perenne, que se encuentra en regiones tropicales y subtropicales, con origen en Asia y África (Prasad y col., 2020). El oreganón se ha usado de forma tradicional como aromatizante, condimento y conservador natural de alimentos debido a su contenido nutricional, intenso olor y sabor (Silalahi, 2018). También se le han conferido propiedades antioxidantes, terapéuticas para el tratamiento de infecciones microbianas, antitusivas, nutritivas y antisépticas (Kumar y col., 2020). En sus hojas se han identificado diversos compuestos fenólicos, metabolitos secundarios resultantes del metabolismo basal de las plantas (Gordo, 2018); los más importantes son los flavonoides: salvigenina, quercetina, apigenina, luteolina, eriodictiol y taxifolina (Menéndez y Pavón, 1999).

En México, son escasas las investigaciones donde se determinen los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Plectranthus amboinicus*. En la mayoría se han determinado el contenido de vitaminas como tiamina, riboflavina y ácido ascórbico, así como los terpenos cariofileno, humuleno, camfor y limoneno. Entre los trabajos más destacados se encuentra el de Morton (1992), quien reportó especies de *P. amboinicus* en la ciudad de México y analizó su contenido fitoquímico; y, posteriormente, el de Bañuelos-Hernández y col. (2020), quienes colectaron especies en México e identificaron sus compuestos por espectrometría de masas.

Los antioxidantes son sustancias químicas que se caracterizan por impedir o retrasar el deterioro oxidativo que afecta a las células (Vilaplana, 2007). Moléculas con propiedades antioxidantes, presentes en extractos de algunas hojas como Murtilla, pueden ubicarse en las membranas que rodean las células, perturbar su estructura, y afectar el flujo de entrada al interior, entre ellos el paso de radicales libres (Avello y Suwalsky, 2006). La actividad antioxidante (AA) es la capacidad de

un compuesto para reducir un radical, el cual acepta un electrón o átomo no apareado de hidrógeno donado por el sustrato; en dicho mecanismo el antioxidante presente en la célula anula la reactividad de la sustancia oxidativa y/o inhibe la generación de radicales libres (Agusti y col., 2014; Galiano, 2019).

Koztowska y col. (2021), evaluaron el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de hojas secas y frescas de oreganón, usando etanol como solvente, y encontraron que ya deshidratadas cuentan con una mayor concentración de compuestos fenólicos que frescas. Este incremento de CFT durante el secado, considerando el aumento de temperatura, es controversial; algunos autores han encontrado disminución (Kulbat-Warycha y col., 2022), sin embargo, otros como Koztowska y col. (2021) e Isah (2019), indicaron que el aumento de los CFT en las hojas deshidratadas puede ser atribuido a tres mecanismos: 1) repuesta al estrés debido al incremento de la temperatura, donde la planta sintetiza estos metabolitos secundarios; 2) ruptura de paredes vegetales y liberación de compuestos bioactivos al medio extracelular; y 3) inactivación de enzimas que degradan los fitoquímicos y por ende, durante largos procesos de almacenamiento, las hojas que reciben tratamiento incrementan la concentración de CFT. Por otra parte, Patel y col. (2010) evaluaron la AA de extractos acuosos y etanólicos de *P. amboinicus*, siendo este último el que mostró una mayor concentración de compuestos con AA en comparación con el extracto acuoso.

Los compuestos bioactivos de plantas pueden ser extraídos por distintos métodos, condiciones y tratamientos del material vegetal, previo al proceso de extracción, con la finalidad de incrementar su concentración. Bhave y Dasgupta (2018), concluyeron que someter *P. amboinicus* a temperaturas por encima de 60 °C aumenta la composición de compuestos fenólicos y directamente la AA, siempre que esta propiedad esté directamente relacionada con la presencia de dichos fenoles. Por lo tanto, usar el método de secado como un

proceso previo a la extracción de las hojas de *P. amboinicus* puede favorecer la concentración de compuestos fenólicos y aumentar los rendimientos en el extracto (Pashazadeh y col., 2021).

En la selección de un solvente de extracción es importante considerar, la polaridad, selectividad, seguridad, costo, reactividad, recuperación, viscosidad y temperatura de ebullición del mismo (Abubakar y Haque, 2020). El etanol es quizá el solvente polar más utilizado, ya que puede extraer metabolitos secundarios importantes a fines a su polaridad, es de baja toxicidad y se recupera fácilmente (Kulbat-Warycha y col., 2022).

La extracción convencional (EC), es un proceso de separación de uno o más componentes en el seno de una mezcla, por la acción de un solvente. Se basa en fenómenos de transferencia de masa y está en función de las diferencias de solubilidad de los solutos (López y col., 2005). La EC consta de tres etapas: 1) la introducción del disolvente en el sólido para solubilizar los solutos; 2) desplazamiento de la disolución obtenida a la superficie del sólido; y 3) distribución de la disolución en el disolvente (Ramírez-Reyes y col., 2015).

Trabajos de EC con *P. amboinicus*, usando distintos solventes como agua, etanol o hexano, reportan rendimientos variables, en función a las diferencias de polaridad. Matias y col. (2019), reportaron que el uso de metanol logra un mayor rendimiento que los solventes acuosos, lo cual se puede deber a la capacidad del alcohol para romper la célula de la pared vegetal con mayor eficacia. Por otro lado, Wibisono y col. (2019) realizaron extractos de oreganón mediante EC, usando agitación y los solventes etanol, agua-hexano y etanol-agua, siendo esta última combinación, con la que se obtuvo mayor rendimiento. Resultados como éste demuestran que la implementación de agitación mecánica en la EC, permite mejores rendimientos y calidad del extracto, en comparación con la

técnica convencional de percolación (Acosta-Martínez y col., 2021).

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es un método amigable con el ambiente, por la disminución de los residuos. Ofrece alta productividad, facilidad de uso y disminución en el consumo de energía (Singh-Sengar y col., 2020). La aplicación de ultrasonidos de potencia, en los procesos extractivos, intensifica la velocidad de transferencia de masa, debido a que las burbujas de cavitación, que implosionan sobre la superficie del sólido, generan rupturas de las células vegetales, lo que facilita el desplazamiento del disolvente en el sólido y la disolución del soluto de interés; finalmente, mediante el fenómeno de capilaridad emerge la disolución al medio de extracción (Corona-Jiménez y col., 2016; Galiano, 2019; Bhagya y Dash, 2020).

Muhamad y Mat (2018), realizaron la extracción asistida con baño de ultrasonidos (EABU) de hojas de *P. amboinicus*, en etanol como solvente, con el cual obtuvieron mayor contenido fenólico y AA, en contraste con los valores obtenidos usando agua y acetato de etilo. Asimismo, Tungmunthum y col. (2019) llevaron a cabo la extracción del ácido rosmarínico, presente en *P. scutellarioides*, y reportaron mayor concentración usando etanol, en comparación a otros solventes evaluados.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres métodos de extracción en el rendimiento, composición de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y estabilidad durante el almacenamiento de extractos de hojas de oreganón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del material vegetal

Las hojas de oreganón (*P. amboinicus*) fueron colectadas manualmente durante los meses de mayo y junio de 2022, en huertos de traspatio, en municipios de Veracruz, México: Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas y Veracruz, con temperaturas máximas de 32 °C y mínimas de 25 °C (estación meteoroló-

gica del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz). Las hojas maduras, las cuales presentaban una mayor concentración de metabolitos, fueron seleccionadas de acuerdo a su largo (Sabra y col., 2018), se lavaron con agua corriente y escurrieron un día antes de su procesamiento, a fin de garantizar la ausencia de agua sobre la superficie de la hoja. Posteriormente, se secaron de acuerdo a la metodología propuesta por Pashazadeh y col. (2021), usando un secador de bandejas (Marca Glint, Mod-041, Veracruz, México) con control de temperatura del aire a 60 ± 2 °C. El tiempo de secado fue de 4 h para alcanzar una actividad de agua en las hojas $a_w \leq 0.4$, dicha variable se midió mediante un higrómetro de rocío (Marca Aqualab, Modelo CX-2, Decagon Devices Inc., Washington, Estados Unidos). Las hojas deshidratadas fueron molidas en un molino de tejido vegetal Wiley (Marca Thomas Scientific, Modelo 3383-L70, New Jersey, Estados Unidos) con una malla 20, a fin de disminuir el tamaño de partícula y aumentar el área de contacto entre el sólido y el solvente. El producto resultante se almacenó en bolsas Ziploc®, envueltas en papel aluminio, con el propósito de protegerlas de la luz durante 3 d/4 °C, previo al proceso de extracción.

Producción de extractos

Se mezclaron 10 g de hojas de *P.amboinicus* deshidratadas y molidas con 100 mL de etanol (proporción 1:10 p/v), en matraces de 125 mL con tapa, envueltos de papel aluminio, a 35 ± 2 °C. Se utilizaron tres métodos de extracción por triplicado: EC, EABU y EASU.

La EC se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Ramírez-Reyes y col. (2015). Los matraces se colocaron con agitación usando un agitador orbital (Marca Thermo Scientific, Modelo MaxQ 4450, Ohio, Estados Unidos) a 175 rpm, durante 9 d y con 2 recambios de solvente cada 3 d.

La EABU se llevó a cabo en un baño sonificador (Marca Branson®, Modelo CPXH 3800, Branson, Connecticut, Estados Unidos) a 40 kHz

por 60 min (Galiano, 2019). Se recambió el solvente en su totalidad cada 10 min (6 recambios) a fin de realizar una extracción exhaustiva.

La extracción asistida con sonda de ultrasonido (EASU) se realizó en un sonicador digital (Marca Sonifier® Branson, Modelo 450 Cell Disruptor, Connecticut, Estados Unidos) por 15 min, empleando una sonda de titanio de un diámetro de 12.7 mm y una amplitud de 50 %, de acuerdo con la metodología propuesta por Corona-Jiménez y col. (2016). El recambio de solvente se realizó cada 2.5 min (6 recambios).

En ambos métodos de extracción asistidos con ultrasonidos, el calor generado fue disipado sumergiendo los matraces en un baño de agua con acumuladores rellenos de un refrigerante.

Rendimiento de extracción

Se determinó con base al porcentaje de sólidos extraídos (Benítez y col., 2019) y se expresó como porcentaje, considerando g de extracto/g de oreganón seco (ms) de acuerdo a la Ecuación 1:

$$\% R = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 10 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

% R = porcentaje de rendimiento.

W_i = peso inicial del soluto.

W_f = peso final del soluto.

Determinación de compuestos fenólicos totales

El análisis CFT se determinó por el método Folin-Ciocalteu descrito por Palomino y col. (2009). Se mezclaron 1 680 µL de agua destilada, 100 µL de reactivo Folin-Ciocalteu y una muestra de 20 µL de extracto etanólico, usando un vórtex (Marca D-LAB, Modelo MX-S, Beijing, China) y se dejó reposar la mezcla por 5 min. Posteriormente, se añadió una solución de Na_2CO_3 al 20 % (p/p), se homogeneizó por 10 s y se incubó por 2 h a

temperatura de 35 ± 2 °C. Las mezclas se analizaron en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys™ 10S, Thermo Scientific, Wisconsin, Estados Unidos) a 760 nm, para obtener la absorbancia y calcular la concentración de CFT a partir de la curva de calibración, que se realizó usando diferentes diluciones de ácido gálico, a fin de conocer el coeficiente de correlación, pendiente e intercepto. Los análisis de los extractos se llevaron a cabo usando diluciones (1.0 mg/mL, 0.80 mg/mL, 0.60 mg/mL, 0.40 mg/mL, 0.20 mg/mL, 0.1 mg/mL y 0.05 mg/mL) a partir de una solución madre de ácido gálico (1 mg/mL). Los resultados se expresaron en mg de equivalente de ácido gálico (mg EAG) por gramo de muestra seca (g ms).

Actividad antioxidante

El análisis de la AA se determinó por el método de solución de radicales libres 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) descrita por Vasco y col. (2008). Se realizó una solución metanólica madre de DPPH (25 mg/mL) y se diluyó hasta una absorbancia cercana a 0.800; 3.9 mL de esta dilución se mezclaron con 0.1 mL de extracto y se incubaron en la oscuridad por 90 min a temperatura de 35 ± 2 °C. Transcurrido el tiempo, se leyeron las mezclas en un espectrofotómetro UV-Vis (Marca Genesys™, Modelo 10S, Thermo Scientific, Wisconsin, Estados Unidos) a 517 nm.

La curva de calibración se realizó a partir de una solución madre de Trolox (1 mg/mL) con etanol a diferentes concentraciones (0.01 mg/mL, 0.025 mg/mL, 0.05 mg/mL, 0.1 mg/mL y 0.2 mg/mL). Los resultados se expresaron como mg de equivalente de Trolox por gramo de muestra seca (mg ET/g ms).

Vida de almacenamiento

La vida útil de los extractos, almacenados a 4 °C, se midió en función de la concentración de CFT (Método Folin-Ciocalteu) y la AA usando el método DPPH (descritos previamente). Se analizaron tres muestras de cada tipo de extracto cada 4 d/36 d. Se almacenaron tres muestras, por cada tipo de método de extracción, en matraces forrados con papel

aluminio en una gaveta a 4 °C y protegidos de la luz. Los análisis de los extractos se realizaron por triplicado.

Modelización de las cinéticas de extracción

La velocidad del proceso de extracción se analizó de acuerdo a la concentración de los CFT y AA de los extractos, en función del tiempo de proceso. La tasa de velocidad (k) y la concentración de saturación del soluto en el solvente (C_s) se obtuvo mediante el modelo cinético propuesto por Bhagya y Dash (2020), el cual se presenta en la Ecuación 2:

$$\frac{dC_t}{dt} = k(C_s - C_t)^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

C_t = concentración de compuesto en el extracto en un tiempo (t) determinado (mg EAG/g ms) ó (mg ET/g ms).

C_s = concentración de saturación del componente químico en la fase líquida (mg EAG/g ms) ó (mg ET/g ms).

k = constante de velocidad del modelo de pseudo segundo orden; bajo las condiciones frontera: $C_t = 0$ en $t = 0$; $C_t = C_s$ en $t = t$ (g ms/mg EAG·min) ó (g ms/mg ET·min).

La ecuación anterior puede transformarse en la Ecuación 3:

$$C_t = \frac{C_s^2 kt}{1 + C_s kt} \quad \text{Ecuación 3}$$

La cual se puede simplificar en forma lineal en las Ecuaciones 4 y 5:

$$\frac{t}{C_s} = \frac{1}{kC_s^2} + \frac{t}{C_s} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\frac{t}{C_s} = \frac{t}{h} + \frac{t}{C_s} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

h = tasa de extracción inicial cuando $t = 0$, la cual es producto de k y C_s^2 .

Análisis estadístico

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA) completamente al azar, usando el programa SAS® (Statistical Analysis System) versión 9.0, para cada tipo de variable: rendimiento de extracción, CFT y AA de los extractos.

Los parámetros estadísticos para evaluar la bondad del ajuste entre los datos experimentales y los predichos por el modelo cinético, para cada curva experimental de CFT y AA, fueron: cuadrado medio del error (MSE, por sus siglas en inglés: mean-square error), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE, por sus siglas en inglés: root-mean-square error) y el coeficiente de determinación (R^2), calculados de acuerdo a Bhagya y Dash, (2020) mediante las ecuaciones 6, 7 y 8, respectivamente, para CFT y las ecuaciones 9, 10 y 11 para obtener los parámetros estadísticos del ajuste de la AA:

$$MSE_{CFT} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (CFT_{mod} - CFT_{exp}) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$RMSE_{CFT} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (CFT_{mod} - CFT_{exp})^2}{n}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$R_{CFT}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (CFT_{mod} - CFT_{exp})^2}{\sum_{i=1}^n (CFT_m - CFT_{exp})^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$MSE_{AA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (AA_{mod} - AA_{exp}) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$RMSE_{AA} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AA_{mod} - AA_{exp})^2}{n}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$R_{AA}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (AA_{mod} - AA_{exp})^2}{\sum_{i=1}^n (AA_m - AA_{exp})^2} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

CFT_{mod} = valor de CFT predicho por el modelo.

CFT_{exp} = valor de CFT experimental.

CFT_m = valor medio de CFT.

AA_{mod} = valor de AA predicho por el modelo.

AA_{exp} = valor de AA experimental.

AA_m = valor medio de AA.

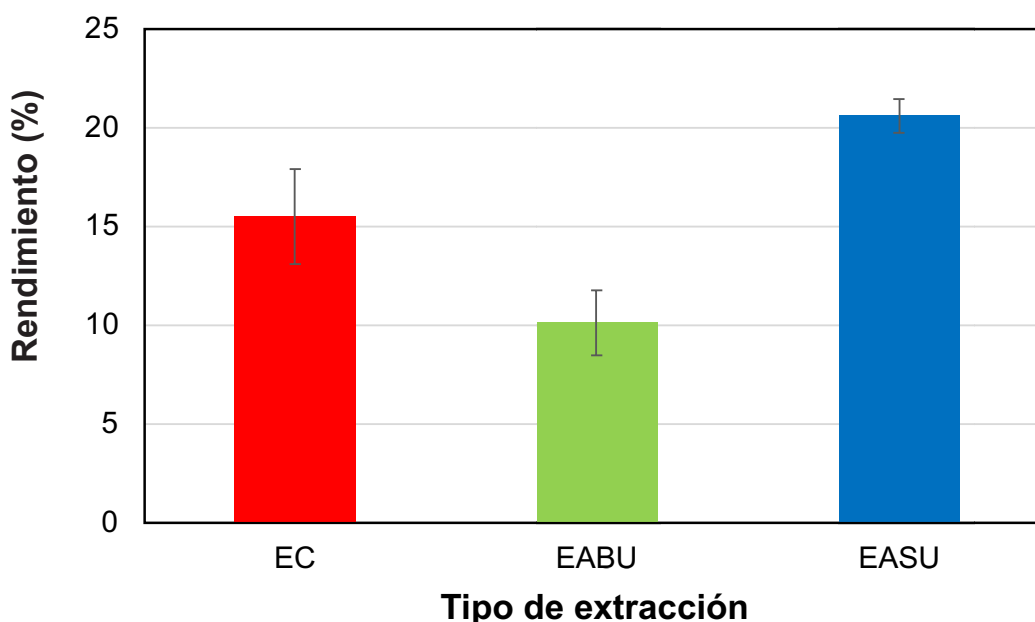
n = número de datos experimentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del rendimiento de extracción

El rendimiento más alto fue el obtenido mediante EASU (20.58 %) ($P \leq 0.05$), que representó un 39.33 % más que el de EC (Figura 1); y aunque la EABU obtuvo menor rendimiento (10.11 %), su tiempo de proceso fue 216 veces menor que el de la EC (60 min vs 216 h) (Figura 2). Estos resultados pueden ser explicados debido a los mecanismos involucrados en la aplicación de ultrasonidos de potencia. En ambos métodos se generan ondas ultrasónicas que viajan a través del medio conductor (solvente) provocando el fenómeno denominado cavitación, que genera burbujas que se impactan y/o crean presión sobre la superficie del sólido, produciendo erosión, cizallamiento y fisuras finas en los tejidos de la matriz vegetal, lo cual permite que el solvente ingrese más fácilmente al interior del producto y favorece la liberación de sustancias intracelulares en el solvente. Ambas acciones intensifican los fenómenos de transferencia de masa que se llevan a cabo durante el proceso de extracción sólido-líquido, y con ello, un mayor rendimiento en solutos (peso seco) en el solvente (Kulbat-Warycha y col., 2022). Por su parte, la sonda de ultrasonidos permite la generación de una mayor turbulencia del medio donde se difunden, por lo que minimiza la resistencia al fenómeno de transferencia en la interfase (Azwanida, 2015; Nurafifah y col., 2018), facilitando el proceso de extracción.

Se han reportado valores similares a los de este estudio en extractos etanólicos de hojas de *P. amboinicus*, mediante extracción por maceración. Rivas-Pérez y col. (2017), documentaron valores en un intervalo entre el 15 % a 20 % mediante maceración pasiva, en una relación 1:10; y Koztowska y col. (2021) alcanzaron un rendimiento de 21.97 %, usando extracción convencional con agitación. Por otra parte, Patel y col. (2010), obtuvieron valores de rendimiento del 18.10 % usando agua como solvente de extracción y, recientemente, Kulbat-Warycha y col. (2022) realizaron la extracción asistida con ultrasonidos de *Pectranthus barbatus* en una combinación agua-etanol como solvente y en-



■ **Figura 1.** Rendimiento de los distintos tipos de extracción con base al porcentaje de sólidos.

Figure 1. Mean values of the yield of the different types of extraction based on the percentage of solids.

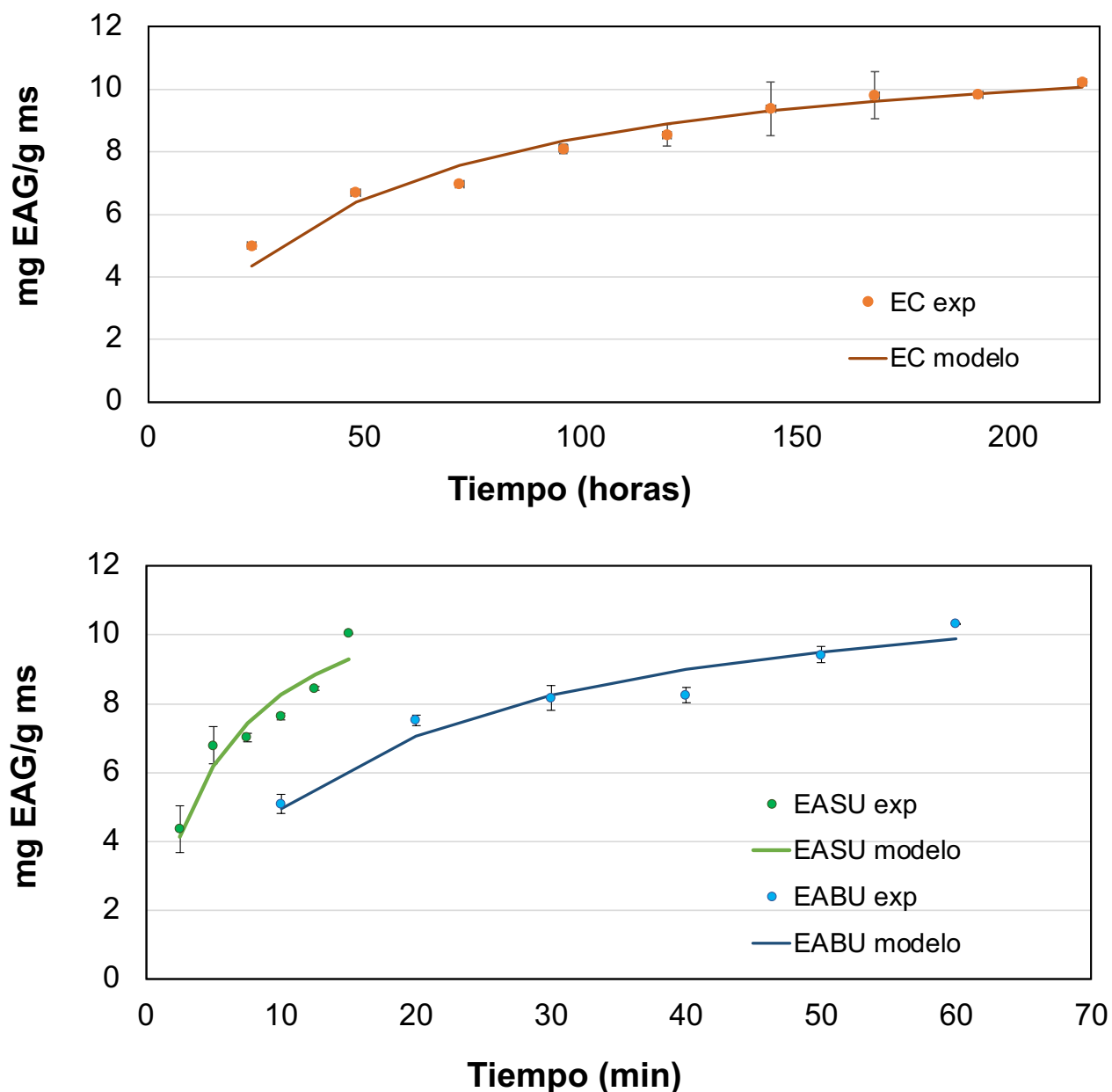
contraron rendimientos de extracción en un intervalo de 24.41 % a 36.36 %, lo cual refleja que, el uso de un solvente binario, agua-etanol, repercutió positivamente en el rendimiento de la extracción. Esto se debe a la concentración de compuestos polares y apolares presentes en el material vegetal, que tendrán mayor afinidad con un solvente u otro, lo que se verá reflejado en el resultado de materia seca (Wibisono y col., 2019).

Determinación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante

La Figura 2 muestra que la concentración máxima de CFT alcanzada por los tres métodos de extracción fue superior a 10 mg EAG/g ms alcanzando el valor máximo de la extracción con EABU (10.32 mg EAG/g ms). Estas gráficas presentan la suma acumulada a través de los diferentes recambios utilizados. El método de extracción no afectó significativamente ($P \leq 0.05$) la cantidad máxima de fenoles extraídos, pero redujo los tiempos de proceso mediante ultrasonidos de potencia para alcanzar esta cifra. No obstante, se incrementó la cantidad de solvente utilizado, de 300 mL en las muestras tratadas por EC a 700 mL en los

procesos con ultrasonido. Cabe mencionar que al final del proceso los solventes fueron recuperados.

Respecto a la presencia de CFT en extractos etanólicos de *P. amboinicus*, algunos autores han reportado concentraciones cercanas a las de este estudio: Patel y col. (2010) encontraron una concentración máxima de 11.6 mg EAG/g ms, usando hojas de *P. amboinicus* en varios solventes (éter de petróleo, cloroformo, etanol y agua) mediante una maceración fría; Koztowska y col. (2021) obtuvieron un valor promedio de 14.677 mg EAG/g ms. En contraste, El-hawary y col. (2012) reportaron un valor promedio de 8.4 mg EAG/g ms, el cual es más bajo que los resultados de esta investigación. Otros autores documentaron concentraciones promedio de CFT más elevadas. Nguyen y col. (2020) obtuvieron 26.84 mg EAG/g ms, usando maceración con etanol como solvente; en tanto que, Shubha y Bhatt (2015) reportaron una concentración 11 veces más elevada (313 mg EAG/g ms), empleando hojas de *P. amboinicus*, en agua, con una relación 1:10, usando el proceso de extracción por hidrodestilación durante 1 h a 90 °C. Recientemente, Koztowska y col. (2021) do-



■ Figura 2. Cinéticas de compuestos fenólicos totales (CFT) obtenidos por el método Folin-Ciocalteu, de extractos de *P. amboinicus*, en función del método de extracción: EC, EABU y EASU. ● Valores medios de datos experimentales, — datos ajustados por el modelo.

Figure 2. Kinetics of total phenolic compounds (TPC) obtained by Folin-Ciocalteu method of *P. amboinicus* extracts, according to extraction method: CE, UBAE and UPAE. ● Mean values of experimental data, — data fitted by the model.

cumentaron una concentración promedio de 146.77 mg EAG/g, empleando hojas de *P. amboinicus* en etanol al 70 % como solvente, con una relación 1:15 durante 10 h a 45 °C, mediante decocción. Estas diferencias pueden estar atribuidas a los tipos y condiciones de ex-

tracción empleados por cada autor. Como se ha reportado en otros estudios (Patel y col., 2010; Wibisono y col., 2019), el agua ha mostrado una mayor afinidad con los compuestos fenólicos presentes en *P. amboinicus* y en particular, el vapor de agua, favorece transferen-

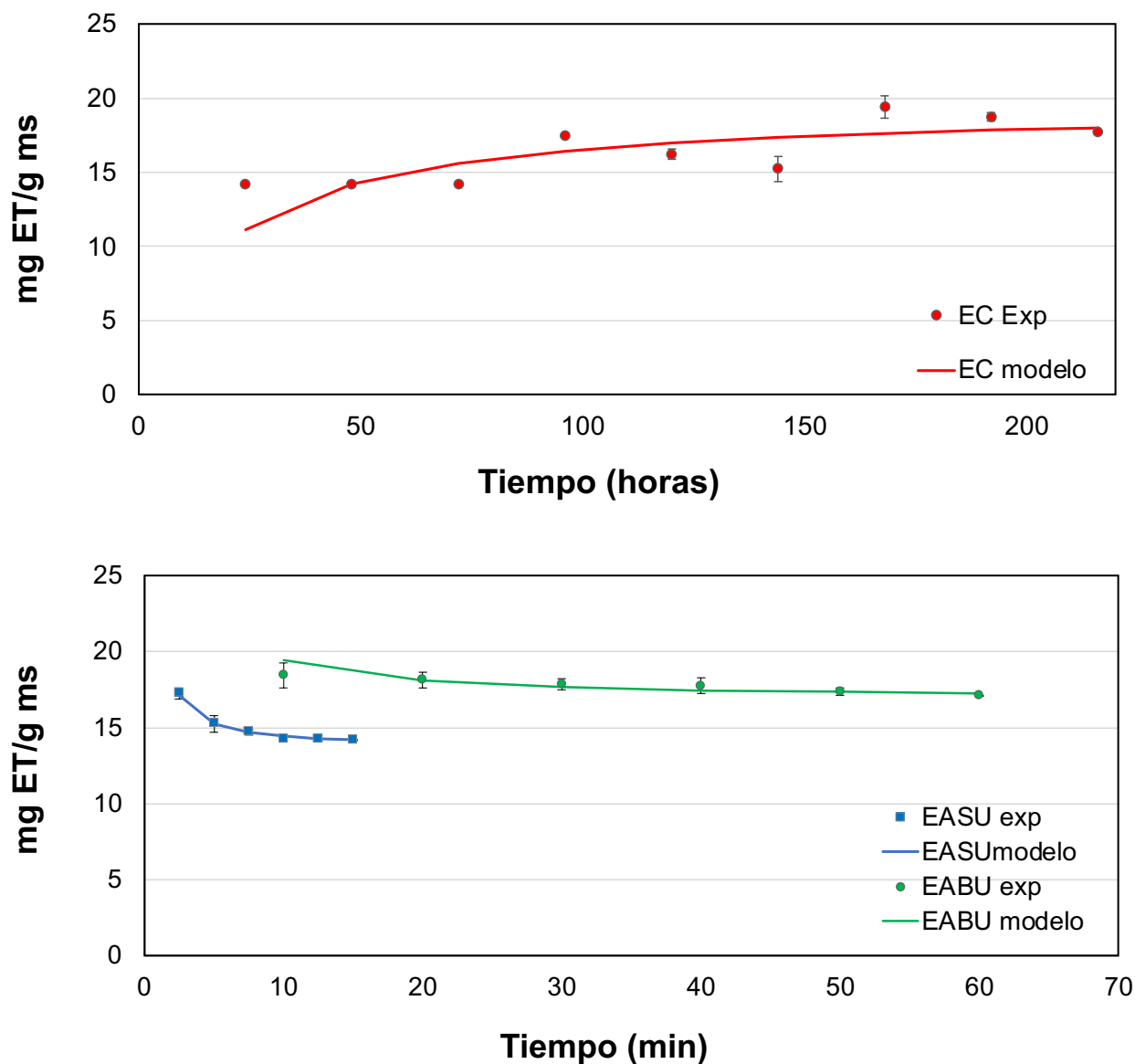
cia de masa y de solutos (Moreno y col., 2010). Otros factores que afectan el contenido de CFT (aumentando o disminuyendo su concentración) son las condiciones edafoclimáticas donde crece *P. amboinicus*, como la calidad de suelo, disponibilidad de agua y condiciones de estrés a las que fue sometida la planta y, finalmente, la capacidad de adaptación de la especie y su componente genético (Kumar y col., 2019).

Respecto a la AA de los extractos, el valor más alto ($P \leq 0.05$) obtenido fue en la EC, con una concentración de 19.43 ± 0.05 mg ET/g ms (Figura 3), sin embargo, el tiempo requerido para obtener esa cantidad de compuestos con AA fue de 168 h; por otra parte, usando ultrasonidos de potencia se alcanzaron los valores máximos de AA de 18.45 ± 0.42 mg ET/g ms y de 17.15 ± 0.23 mg ET/g ms, obtenidos por EABU (10 min) y EASU (2.5 min), respectivamente. Otros autores que han analizado la AA de extractos de *P. amboinicus* han sido Rivas-Pérez y col. (2017), quienes reportaron valores de AA entre 0.4 mg ET/g ms y 0.5 mg ET/g ms en extractos obtenidos mediante maceración pasiva; Samad y col. (2019) alcanzaron valores de 5.48 ± 0.77 mg ET/g ms mediante el uso de extracción asistida con ultrasonidos; y Koztowska y col. (2021) documentaron valores de 4.91 mg ET/g ms. Todos los valores de AA antes citados son muy bajos, en comparación a los resultados encontrados en el presente trabajo, lo que puede deberse a que en esta investigación se llevó a cabo un proceso de extracción exhaustiva con recambio del solvente, para los tres métodos de extracción, lo que favorece el fenómeno de transferencia de masa debido al incremento del gradiente de concentración y la baja saturación del solvente. Por ello, la relevancia de dicha práctica durante el proceso de extracción. Por otra parte, Muhamad y Mat (2019) reportaron valores de 19.55 mg ET/g ms, 27.41 mg ET/g ms y 48.08 mg ET/g ms para el proceso de extracción mediante EABU a 30 °C, 60 °C y 120 °C, respectivamente, en los extractos de hojas de *P. amboinicus*. Dicha diferencia demuestra que las condiciones de proceso, particularmente la

temperatura, puede favorecer la extracción de algunos compuestos con AA. El efecto positivo de la temperatura es debido a la mayor difusividad del solvente dentro de la matriz vegetal principalmente por variaciones de diferentes propiedades como viscosidad, tensión superficial y solubilidad del medio (Bhagya y Dash, 2020). Un dato interesante que se observó en los procesos de extracción asistida con ultrasonidos en la presente investigación, fue la disminución de la AA con respecto al tiempo (Figura 3); algunos autores como M'hiri y col. (2015), reportaron una disminución de la AA del extracto de cáscaras de naranja, atribuido a que el uso prolongado de ultrasonido pudo inducir la formación de radicales libres en el medio líquido, que conducen a reacciones sonoquímicas, provocando oxidación y degradación de los compuestos y a la formación de especies reactivas de oxígeno y radicales libres, debido al fenómeno de cavitación.

Análisis de almacenamiento de los extractos de *P. amboinicus*

El análisis de la vida útil de los extractos se estableció mediante la evaluación de la concentración de CFT (Figura 4) y la evolución de la AA (Figura 5) con respecto al tiempo de almacenamiento a 4 °C. Los valores de CFT de los extractos obtenidos mediante EABU, EASU y EC (con valores iniciales de 3.7 mg EAG/g ms, 4.4 mg EAG/g ms y 7.2 mg EAG/g ms, respectivamente), se mantuvieron estables y sin cambios significativos ($P \geq 0.05$) hasta el final del almacenamiento durante 34 d. Los valores de AA también se mantuvieron estables ($P \geq 0.05$) en función del tiempo. La estabilidad de los CFT se ha observado en extractos líquidos de *Solanum tuberosum*, donde se mostró que los compuestos bioactivos se mantienen estables en condiciones de almacenamiento a 4 °C y en oscuridad (Ercoli y col., 2021). La estabilidad dependerá en principio de las condiciones del proceso, ya que el empleo de temperaturas superiores a la ambiental, durante la extracción, puede favorecer la inactivación enzimática, causantes de la degradación de metabolitos secundarios durante



■ Figura 3. Cinéticas de actividad antioxidante (AA) obtenida por el método DPPH, de extractos de *P. amboinicus*, en función del método de extracción: EC, EABU y EASU. ● Valores medios de datos experimentales, — datos ajustados por el modelo.

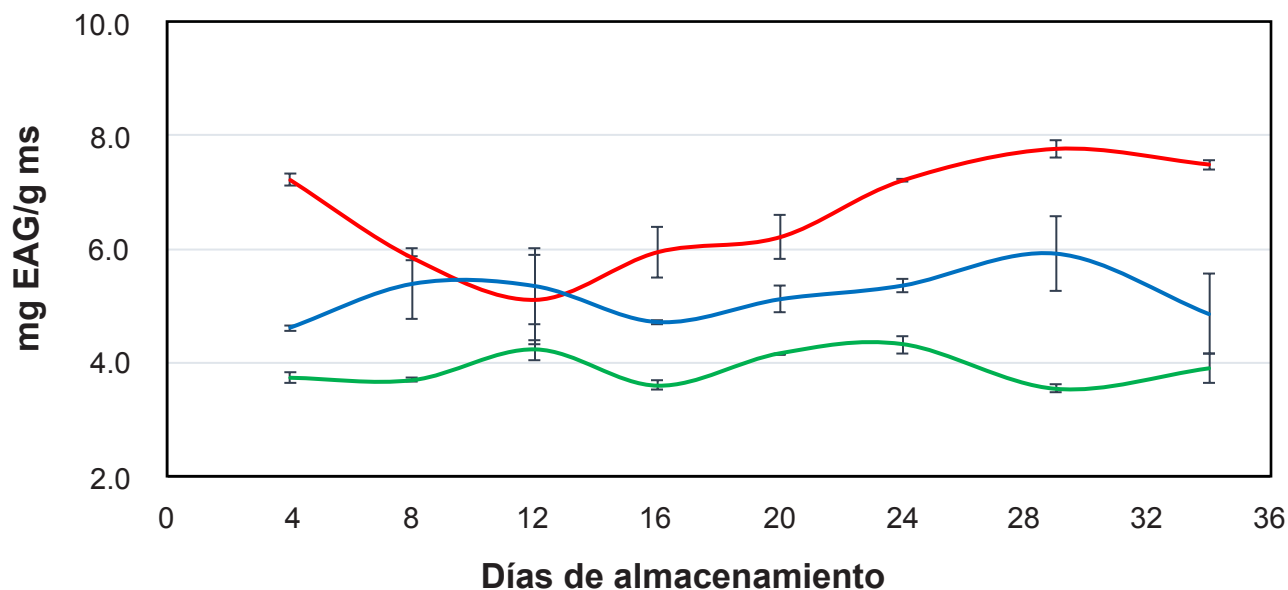
Figure 3. Kinetics of antioxidant activity (AA) obtained by the DPPH method, from *P. amboinicus* extracts, depending on the extraction method: CE, UBAE and UPAE. ● Mean values of experimental data, — data fitted by the model.

la fase de almacenamiento (Isah, 2019). Por otra parte, algunos autores han revelado que el uso de ultrasonidos contribuye a mejorar la estabilidad de almacenamiento de jugos, en función al contenido de metabolitos, con respecto a los tratamientos térmicos. Este comportamiento es atribuido probablemente a la eliminación del oxígeno ocluido del medio lí-

quido, manteniendo la concentración de metabolitos y algunas vitaminas contenidas en la fruta naturalmente (Ruiz-de-Anda y col., 2019).

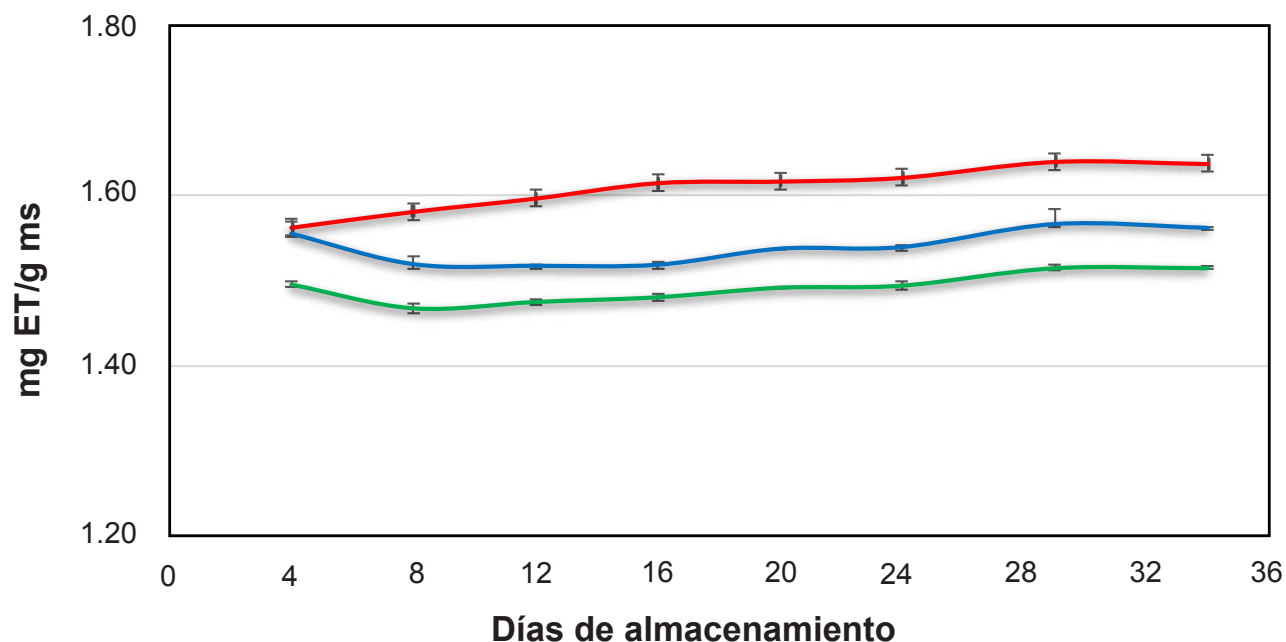
Análisis de los parámetros cinéticos del proceso de extracción

La velocidad de extracción de cada método fue evaluada a través de la concentración de



■ Figura 4. Evolución de compuestos fenólicos totales (CFT) obtenidos por el método Folin-Ciocalteu, de extractos de *P. amboinicus* almacenados a 4 °C, en función del método de extracción: EC (—), EABU (—) y EASU (—).

Figure 4. Evolution of total phenolic compounds (TPC) obtained by the Folin-Ciocalteu method, from *P. amboinicus* extracts stored at 4 °C, depending on the extraction method: CE (—), UBAE (—) and UPAE (—).



■ Figura 5. Evolución de la actividad antioxidante (AA) obtenida por el método DPPH, de extractos de *P. amboinicus* almacenados a 4 °C, en función del método de extracción: EC (—), EABU (—) y EASU (—).

Figure 5. Evolution of the antioxidant activity (AA) obtained by the DPPH method, of *P. amboinicus* extracts stored at 4 °C, depending on the extraction method: CE (—), UBAE (—) and UPAE (—).

saturación (Cs) y la constante de velocidad (k). La Tabla 1 muestra los resultados de cada parámetro cinético, de acuerdo a los métodos extractivos evaluados y los parámetros estadísticos (RMSE y R²) obtenidos para evaluar la bondad del ajuste del modelo cinético de pseudo-segundo orden, de las curvas experimentales de CFT y AA. En su interpretación es importante considerar que, los procesos asistidos con ultrasonido consideraron un mayor número de intercambios y volumen de solvente, adicional al efecto del método sónico.

Los valores de Cs y k, del CFT, en el extracto de *P. amboinicus*, fueron mayores para la extracción asistida con sonda de ultrasonidos (Tabla 1).

La concentración de saturación indica el momento en el cual el solvente ha llegado a alcanzar su capacidad máxima de extracción. La Cs más alta se alcanzó con la EASU (12.37 mg EAG/g ms), seguida de la EABU (12.34 mg EAG/g ms) y de la EC (12.04 mg EAG/g ms). En este mismo sentido, los valores de Cs, de la curva de AA (Tabla 1), oscilaron entre

13.717 mg ET/g ms para la EASU y 19.531 mg ET/g ms para EC. Estos valores son más altos comparados con los valores de Cs alcanzados para extracción de fitoquímicos reportados por Bhagya y col. (2020) que varían entre 9.35 mg EAG/g ms a 9.62 mg EAG/g ms durante el proceso de extracción con cáscara de pitahaya.

El efecto provocado por el uso de ultrasonidos, en el incremento de la Cs, durante la extracción ha sido ampliamente observado por otros autores. Pingret y col. (2012), evaluaron la extracción de compuestos fenólicos de la pulpa de manzana mediante ultrasonidos de potencia en un tanque piloto de extracción de 30 L, acoplado a una salida de ultrasonido cuádruple de 25 kHz y 200 W, misma potencia de la sonda de ultrasonidos usada en la presente investigación. Los resultados mostraron un rendimiento de extracción 15 % más alto que el obtenido por EC, lo cual fue atribuido a una mayor velocidad en los fenómenos de transporte debido a la ruptura de la pared celular de las células vegetales, con el consiguiente aumento de la penetración del disolvente.

■ **Tabla 1. Parámetros del modelo de pseudo segundo orden para las cinéticas de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de extractos obtenidos por EC, EABU y EASU.**

Table 1. Parameters of the pseudo second order model for the kinetics of total phenolic compounds and antioxidant activity of extracts obtained by CE, UBAE and UPAE.

Tipo de extracción	Compuestos fenólicos totales (CFT)			
	Cs g ms/mg EAG·min	k g ms/mg EAG·min	RMSE	R ²
EC	12.048	0.002	0.119	0.998
EABU	12.346	0.005	0.110	0.997
EASU	12.376	0.016	0.145	0.996
Actividad antioxidante (AA)				
	Cs g ms/mg ET·min	k g ms/mg ET·min	RMSE	R ²
EC	19.531	0.003	0.516	0.967
EABU	16.892	-0.045	0.120	0.995
EASU	13.717	-0.146	0.117	0.999

EC = Extracción convencional, EABU = Extracción asistida con baño de ultrasonidos, EASU = Extracción asistida con sonda de ultrasonidos.

La diferencia entre las Cs en ambos métodos ultrasónicos empleados en esta investigación, radica en que, el baño de ultrasonido funciona generalmente a una sola frecuencia entre 20 kHz o 40 kHz y la difusión de las ondas ultrasónicas son menos eficientes, porque se hace de forma indirecta en el medio de difusión. Por otro lado, en los sistemas de extracción por ultrasonido acoplado a una sonda, existe un contacto directo entre la muestra y el medio de difusión (solvente), lo cual le permite desarrollar una potencia de hasta 100 veces más que la proporcionada por el baño de ultrasonido (Corona-Jiménez y col., 2016; Bhagya y Dash, 2020).

Bendicho y col. (2012), lograron disminuir el tiempo de extracción de polifenoles de 4 h con la EC a 60 min con la EASU. Esto se debe al cambiar la fuerza impulsora en los fenómenos de transferencia: del gradiente de concentración cuando se pone en contacto el sólido con el líquido durante la EC, a la cavitación acústica provocada por el uso del ultrasonido. Durante el proceso se llevan a cabo una serie de compresiones y rarefacciones en las moléculas del solvente, provocando la formación de burbujas, como consecuencia de los cambios de temperatura y de presión. Este tipo de “cavitación inestable” o transitoria, puede producir el cizallamiento de las burbujas que implosionan sobre la superficie de la matriz vegetal y fuertes turbulencias en la zona de cavitación, por lo cual, los parámetros cinéticos en la EASU son significativamente mayores con respecto a EC y EABU (Ruiz-de-Anda y col., 2019).

La constante de velocidad (k) obtenida en las cinéticas de CFT de extractos de hojas de orejón registró su valor más alto para la EASU (0.016 g ms/mg EAG·min). La constante k obtenida en las cinéticas de AA, fue positiva (k = 0.003) para la EC, mientras que para EABU y la EASU se obtuvieron valores de k negativos (- 0.045 ms/mg ET·min y - 0.146 g ms/mg ET·min, respectivamente). Los valores negativos de la constante de velocidad indicaron que la concentración del metabolito dis-

minuyó con el tiempo de exposición a los ultrasonidos. M'hiri y col. (2015) atribuyen este comportamiento a la relación de la cavitación con la formación de radicales libres y radicales oxhidrilos, es decir, la hidroxilación en las posiciones orto, meta y para de algunos metabolitos, lo que conlleva a un aumento en la concentración de CFT, pero una disminución en los valores de AA (Ruiz-de-Anda y col., 2019). La obtención de los parámetros cinéticos se considera una herramienta útil al momento de extrapolar las condiciones de proceso de extracción obtenidos en el laboratorio a condiciones de procesamiento en una escala industrial, permitiendo establecer el tiempo de procesamiento necesario para alcanzar el valor de la Cs. Los resultados obtenidos sugieren que la extracción de compuestos bioactivos mediante la aplicación de ultrasonidos permitiría, en procesos industriales, la reducción del tiempo de procesamiento sin afectar el rendimiento de CFT.

CONCLUSIONES

El uso de la sonda de ultrasonidos incrementó el rendimiento de compuestos extraíbles (materia seca), respecto a la extracción convencional, sin modificar la concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante. El empleo de recambios de solvente utilizado para evitar la sobresaturación de solutos y facilitar la extracción de una mayor cantidad de compuestos redujo el tiempo de proceso. El modelo de pseudo-segundo orden empleado describió adecuadamente los datos experimentales, permitiendo obtener los valores cinéticos de concentración de saturación y de constante de velocidad. Los extractos se mantuvieron estables durante 34 d de almacenamiento a 4 °C y protegidos de la luz.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACYT por el financiamiento de la beca de Maestría en Ciencias para la estudiante de posgrado (Sheila Briget Malpica Acosta). Además, a la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos (UNIDA) del TECNM/Instituto Tecnológico de Veracruz y al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz,

por todas las facilidades de infraestructura usadas en el desarrollo experimental del proyecto.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Abubakar, A. R. and Haque, M. (2020). Preparation of medicinal plants: basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *Journal of Pharmacy & BioAllied Sciences*. 12(1): 1-10.
- Acosta-Martínez, D. R., Morales-Zamora, M. y Villanueva-Ramos, G. (2021). Obtención de extracto fluido de *Plectranthus amboinicus* (orégano), utilizando el método de agitación mecánica. *Afinidad*. 78(592): 41-47.
- Agusti, B. A., Mansur, M. M., and Linde, A. M. (2014). Technical evaluation of antioxidant activity. *Medicinal Chemistry*. 4(7): 517-522.
- Avello, M. y Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*. (494): 161-172.
- Azwanida, N. A. (2015). Review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal and Aromatic Plants*. 4(3): 1-6.
- Bañuelos-Hernández, A. E., Azadniya, E., Ramírez, M. E., and Morlock, G. E. (2020). Bioprofiling of Mexican *Plectranthus amboinicus* (Lour.) essential oil via planar chromatography-effect-directed analysis combined with direct analysis in real time high-resolution mass spectrometry. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*. 43(9-10): 344-350.
- Bendicho, C., De-La-Calle, I., Pena, F., Costas, M., Cabaleiro, N., and Lavilla, I. (2012). Ultrasound-assisted pretreatment of solid samples in the context of green analytical chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*. 31: 50-60.
- Benítez, B., Sarria, R., Gallo, J., Pacheco, N., Sandoval, J. y Aristizabal, C. (2019). Obtención y rendimiento del extracto etanólico de dos plantas medicinales. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 15(1): 31-40.
- Bhagya, G. V. S. and Dash, K. K. (2020). Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from dragon fruit peel: Optimization, kinetics and thermodynamic studies. *Ultrasonic Sonochemistry*. 68: 105180.
- Bhave, A. and Dasgupta, S. (2018). Effect of cooking on total phenol, total flavonoids and DPPH free radical scavenging potential of *Plectranthus amboinicus*. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 6(3): 82-84.
- Corona-Jiménez, E., Martínez-Navarrete, N., Ruiz-Espinosa, H. y Carranza-Concha, J. (2016). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chía (*Salvia hispánica* L.) y su actividad antioxidante. *Agrociencia*. 50(3): 403-412.
- El-hawary, S. S., El-sofanya, R. H., Abdel-Monema, A. R., Ashoura, R. S., and Sleem, A. A. (2012). Polyphenolics content and biological activity of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng growing in Egypt (Lamiaceae). *Pharmacognosy Journal*. 4(32): 45-54.
- Ercoli, S., Cartes, J., Cornejo, P., Tereucán, G., Winterhalter, P., Contreras, B., and Ruiz, A. (2021). Stability of phenolic compounds, antioxidant activity and colour parameters of a coloured extract obtained from coloured-flesh potatoes. *LWT - Food Science and Technology*. 136: 110370.
- Galiano, D. (2019). *Determinación de la capacidad antioxidante de Thymus vulgaris*. España: Universidad de Jaén. 49 Pp.
- Gordo, D. (2018). Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 9(1): 81-104.
- Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*. 52(39).
- Koztowska, M., Scibisz, I., Przybyl, J. L., Ziarno, M., Zbikowska, A., and Majewska, E. (2021). Phenolic contents and antioxidant activity of extracts of selected fresh and dried herbal materials. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 71(3): 269-278.
- Kulbat-Warycha, K., Oracz, J., and Zyzelewicz, D. (2022). Bioactive properties of extracts from *Plectranthus barbatus* (*Coleus forskohlii*) roots received using various extraction methods. *Molecules*. 27(24): 8986.
- Kumar, S., Azam M., Venkatesan K., Anjly P., and Kulloli R. (2019). Morphological and Biochemical Variability in Aloe Germplasm in Hot Arid Region of India. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*.

25(2): 158-171.

Kumar, P., Sangam, and Kumar, N. (2020). *Plectranthus amboinicus*: A review on its pharmacological and pharmacognostical studies. *American Journal of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. 10(2): 55-62.

López, S. M., Triana, J., Pérez, F. J. y Torres, M. E. (2005). *Métodos físicos de separación y purificación de sustancias orgánicas*. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 52 Pp.

Matias, D., Nicolai, M., Fernandes, A. S., Saraiva, N., Almeida, J., Saraiva, L. and Rijo, P. (2019). Comparison study of different extracts of *Plectranthus madagascariensis*, *P. neochilus* and the rare *P. porcatius* (Lamiaceae): chemical characterization, antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities. *Biomolecules*. 9(5): 179.

Menéndez, R. A. y Pavón, V. (1999). *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 4(3): 110-115.

M'hiri, N., Ioannou, I., Boudhrioua, N. M., and Ghoul, M. (2015). Effect of different operating conditions on the extraction of phenolic compounds in orange peel. *Food and Bioproducts Processing*. 96: 161-170.

Moreno, J., López, G. y Siche, R. (2010). Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria*. 1(2): 147-154.

Morton, J. F. (1992). Country horage (*Coleus amboinicus* Lour) A potent flavoring and medicinal plant. *Journal Herbs Spices Medicinal Plants*. 1(1-2): 77-90.

Muhamad, S. and Mat, A. S. F. Z. (2018). Effect of heating at 95°C on antioxidant activity and total phenolic content in extracts of *Plectranthus amboinicus* leaves. *International Journal of Recent Scientific Research*. 9(7): 28096-28099.

Muhamad, S. and Mat, A. S. F. Z. (2019). Boiling increase antioxidant activity, total phenolic content and total flavonoid content in *Plectranthus amboinicus* leaves. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 6(3): 024-030.

Nguyen, N. Q., Minh, L. V., Trieu, L. H., Bui, L. M., Lam, T. D., Hieu, V. Q., ..., and Trung, L. N. Y. (2020). Evaluation of total polyphenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Plectranthus amboinicus* leaves. Energy Security and Chemical Engineering Congress. *Conf. Series: Materials*

Science and Engineering. 736(6): 062017.

Nurafifah, F., Luqman, C. A., and Puteri, F. W. M. A. (2018). Drying of *Plectranthus amboinicus* (Lour) spreng leaves by using oven dryer. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 11(4): 239-244.

Palomino, G. L. R., García, P. C. M., Gil, G. J. H., Rojano, B. A. y Durango, R. D. L. (2009). Determinación del contenido de fenoles y evaluación de la actividad antioxidante de propóleos recolectados en el departamento de Antioquía (Colombia). *Universidad de Antioquía Medellín, Colombia*. 16(3): 388-395.

Pashazadeh, H., Zannou, O., Galanakis, C. M., Aldawoud, T. M. S., Ibrahim, S. A., and Koca, I. (2021). Optimization of drying process for *Rosa pimpinellifolia* L. (black rose hips) based on bioactive compounds and modeling of drying process. *International Journal of Food Properties*. 24(1): 1367-1386.

Patel, R. D., Mahobia, N. K., Singh, M. P., Singh, A., Sheikh, N. W., Alam, G., and Singh, S. K. (2010). Antioxidant potential of leaves of *Plectranthus amboinicus* (Lour) Spreng. *Der Pharmacia Lettre*. 2(4): 240-245.

Pingret, D., Fabiano-Tixier, A. S., Le-Bourvellec, C., Renard, C. M., and Chemat, F. (2012). Lab and pilot-scale ultrasound-assisted water extraction of polyphenols from apple pomace. *Journal of Food Engineering*. 111(1): 73-81.

Prasad, N., Basalingappa, K. M., Gopenath, T. S., Razvi, S. M., Murugesan, K., Ashock, G., and Divyashree, K. C. (2020). Nutritional significance of indian borage (*Plectranthus amboinicus*): A review. *Plant Archives*. 20(2): 3727-3730.

Ramírez-Reyes, T., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carranza, J. C., Díaz-Fleischeer, F., Sánchez-Velásquez, L. R., and Flores-Estévez, N. (2015). Influence of season and organ on antibacterial activity of *Magnolia dealbata* Zucc. Against two phytopathogenic bacteria. *Chemistry and Ecology*. 31(1): 47-52.

Rivas-Pérez, B. N., Leal-Granadillo, I. A., Loaiza-Cuauro, L. F., Morillo, Y. E., and Colina-Chirinos, J. C. (2017). Phenolic compounds and antioxidant activity in extracts of four oregano spices. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*. 40(3): 134-142.

Ruiz-de-Anda, D., Ventura-Lara, M. G., Rodríguez-Hernández, G., and Ozuna, C. (2019). The impact of power ultrasound application on physicochemical, antioxidant, and microbiological properties of fresh

orange and celery juice blend. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 13: 3140-3148.

Sabra, A. S., Astatkie, T., Alataway, A., Mahmoud, A. A., Gendy, A. S. H., Said-Al-Ahl, H. A., and Tkachenko, K. G. (2018). Response of biomass development, essential oil, and composition of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. to irrigation frequency and harvest time. *Chemistry & Biodiversity*. 15(3): e1800005.

Samad, N. A., Abang-Zaidel, D. N., Salleh, E., Mohd-Yusof, A. H., Dailin, D. J., and Abang-Zaide, D. N. (2019). Optimization of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng extraction process using microwave-assisted technique. *Chemical Engineering Transactions*. 72: 397-402.

Silalahi, M. (2018). *Plectranthus amboinicus* (lour.) Spreng sebagai bahan pangan dan obat serta bioaktivitasnya. *Journal Dinamika Pendidikan*. 11(2): 123-138.

Singh-Sengar, A., Rawson, A., Muthiah, M., and Kumar-Kalakandan, S. (2020). Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonic Sonochemistry*. 61: 104812.

Shubha, J. R. and Bhatt, P. (2015). *Plectranthus amboinicus* leaves stimulate growth of probiotic *L. plantarum*: Evidence for ethnobotanical use in diarrhea. *Journal of Ethnopharmacology*. 166: 220-227.

Tungmunnithum, D., Garros, L., Drouet, S., Renouard, S., Lainé, E., and Hano, C. (2019). Green ultrasound assisted extraction of trans rosmarinic acid from *Plectranthus scutellarioides* (L.) R. Br. leaves. *Plants*. 8(3): 50.

Vasco, C., Ruales, J., and Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*. 111: 816-823.

Vilaplana, M. (2007). Antioxidantes presentes en los alimentos: vitaminas, minerales y suplementos. *Ámbito Farmacéutico Nutrición*. 26(10): 79-86.

Wibisono, K., Aisyah, S. I., Suhesti, S., and Nurcholli, W. (2019). Optimization of total flavonoids extraction and A-glucosidase inhibitory activity from *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. Leaves using the simplex-centroid design. *Molekul*. 14(2): 84-91.



Aloe vera* : capacidad antioxidante y uso potencial como agente terapéutico en el tratamiento del Alzheimer mediante evaluación *in silico

***Aloe vera*: antioxidant capacity and potential use as therapeutic agent in the treatment of Alzheimer's through *in silico* evaluation**

Arturo Alberto Velázquez-López*, Vanessa García-Rojas, Antonio Tornero-Martínez, Rosalva Mora-Escobedo

RESUMEN

El gel de *Aloe vera* es considerado una fuente natural de múltiples beneficios, originados por la acción combinada de vitaminas, aminoácidos, compuestos fenólicos, enzimas, minerales, ácidos orgánicos, lípidos y carbohidratos, que se relacionan con la mejora de enfermedades neuro-degenerativas como Alzheimer. Los ensayos *in vitro* e *in silico* permiten confirmar e identificar posibles beneficios de esta planta y sus compuestos en enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad antioxidante del gel de *A. vera* y mediante análisis *in silico*, establecer el potencial terapéutico de sus compuestos bioactivos en la enfermedad de Alzheimer. Se obtuvieron hojas de *A. vera*, de las que se extrajo el gel, retirando el exocarpo, se liofilizó y almacenó hasta su uso. Se caracterizó la capacidad antioxidante, se cuantificaron los compuestos fenólicos y flavonoides y se analizó la relación que existe entre los parámetros mediante correlación de Pearson. Mediante análisis *in silico* se evaluó el potencial de interacción de 8 compuestos del gel con la proteína gamma secretasa. El gel de *A. vera* obtuvo alta capacidad antioxidante por ABTS, DPPH, radical OH y poder reductor, usando bajas concentraciones para inhibir el 50 % de los radicales, y correlaciones positivas con fenoles totales y flavonoides. En el estudio *in silico* el compuesto que presentó mejor unión con gamma secretasa fue aloe-emodina, con menor energía libre de unión y menor concentración de constante de inhibición, sugiriendo su potencial uso como coadyuvante en el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer.

PALABRAS CLAVE: *Aloe vera*, antioxidante, Alzheimer, bioinformática, aloe-emodina.

ABSTRACT

Aloe vera gel is considered a natural source of multiple benefits, originated by the combined action of vitamins, amino acids, phenolic compounds, enzymes, minerals, organic acids, lipids and carbohydrates, which are related to the improvement of neuro-degenerative diseases such as Alzheimer's. *In vitro* and *in silico* tests allow us to confirm and identify possible benefits of this plant and its compounds in diseases. The objective of the present study was to evaluate the antioxidant activity of *A. vera* gel and, through *in silico* analysis, to establish the therapeutic potential of its bioactive compounds in Alzheimer's disease. *A. vera* leaves were obtained, from which the gel was extracted, removing the exocarp, lyophilized and stored until use. The antioxidant capacity was characterized, the phenolic compounds and flavonoids were quantified, and the relationship between the parameters was analyzed using Pearson correlation. The interaction potential of 8 compounds in the gel with the gamma secretase protein was evaluated through *in silico* analysis. The *A. vera* gel obtained high antioxidant capacity due to ABTS, DPPH, OH radical and reducing power, using low concentrations to inhibit 50 % of the radicals, and positive correlations with total phenols and flavonoids. In the *in silico* study, the compound that showed the best binding with gamma secretase was aloe-emodin, with lower binding free energy and lower inhibition constant concentration, suggesting its potential use as an adjuvant in the treatment of Alzheimer's disease.

KEYWORDS: *Aloe vera*, antioxidant, Alzheimer's disease, bioinformatics, aloe-emodin.

*Correspondencia: arturo.velazquez2302@gmail.com/Fecha de recepción: 30 de abril de 2023/Fecha de aceptación: 8 de enero de 2024/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Av. Wilfrido Massieu núm. 399, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México, C. P. 07738.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Alzheimer (EA), se caracteriza fisiopatológicamente por el desarrollo de estrés oxidativo en el cerebro, afectando las neuronas, dañando proteínas, ácidos nucleicos y peroxidación lipídica de los ácidos grasos poliinsaturados de membrana. El exceso de las especies reactivas de oxígeno (ERS) provocan mutaciones en proteínas que inducen el desarrollo de la enfermedad, promoviendo la agregación de placas β -amiloides e hiperfosforilación de la proteína Tau, causando apoptosis de las neuronas. La gamma secretasa escinde proteínas en el dominio transmembrana, sin embargo, mutaciones de esta enzima causan hidrólisis de proteínas precursoras de amiloide, produciendo el péptido β -amiloide (39 a 42 aminoácidos) que adquiere una conformación β -plegada; la acumulación de dicho péptido es el componente principal de las placas seniles, mientras que la acumulación de la proteína Tau forma los ovillos neurofibrilares (Wolfe, 2019; Han y col., 2021; Lonescu-Tucker y Cotman, 2021). Este trastorno es crónico y progresivo, y se identifica por el deterioro de habilidades conductuales y cognitivas (Clementi y col., 2015).

Los compuestos presentes en diferentes plantas presentan propiedades antiinflamatorias y antioxidantes que podrían funcionar en la prevención del daño celular en trastornos neurodegenerativos. Recientes estudios han demostrado que la familia Asphodelaceae, principalmente la especie Aloe, posee actividad inmunestimulante, anticancerígena y neuroprotectora (Li y col., 2021b; Mitra y col., 2022; Pasala y col., 2022).

El *Aloe vera* es una fuente natural de múltiples beneficios, por acción de los compuestos contenidos en la planta (vitaminas, aminoácidos, compuestos fenólicos, enzimas, entre otros), posee más de 70 compuestos bioactivos, que se relacionan con la mejora de la salud al consumirse. Es una planta perenne, suculenta y arbustiva con hojas características, las hojas son verdes triangulares, generalmente carnosas y con espinas en los bordes, que consis-

ten en una epidermis gruesa cubierta por una cutícula que rodea el gel (Maan y col., 2018). Generalmente, de esta especie se utilizan dos elementos, el látex o acíbar y el gel. El látex es una sustancia amarilla exudada por el pericarpio de la hoja, dicha sustancia presenta un olor característico, mientras que el gel o parénquima se localiza en el interior de la hoja, rodeada por el pericarpio de la misma, y generalmente es transparente, viscoso e inodoro (Domínguez-Fernández y col., 2012). Tradicionalmente, el látex se usa como laxante para tratar el estreñimiento, y el gel, por sus efectos antiinflamatorios, se utiliza para tratar problemas relacionados con la piel, además participa en procesos de cicatrización. Actualmente el *A. vera* se aplica en productos farmacéuticos, cosméticos y elaboración de alimentos funcionales (Majumder y col., 2019).

Los principales fitoquímicos presentes en el *A. vera* son antraquinonas, naftalenonas, polisacáridos, proteínas, enzimas y ácidos orgánicos, distribuidos en toda la planta, por ejemplo, en el látex, predominan las antraquinonas y antronas, que representan el 30 % de su peso seco y le proporcionan el color amarillo característico, mientras que el gel está constituido en su mayoría por polisacáridos de glucosa-manosa, conocidos como mananos, de los cuales algunos son parcialmente acetilados (acemanano), y corresponden a los predominantes (Maan y col., 2021).

Existen otros compuestos bioactivos presentes en la planta, como la lectina de aloe, aloesina, umbeliferona y esculetina, aloína, aloe-emodina, celulasa, catalasa y superóxido dismutasa (Majumder y col., 2019; Baldi y col., 2020). La aloína, es el glucósido de antrona con mayor presencia en el látex, el cual se transforma en derivados hidroxilados; las antraquinonas son similares a las antronas, pero presentan una cetona adicional en el anillo central (Baldi y col., 2020). De estos compuestos, uno de los que ha tomado gran interés en la investigación es la aloe-emodina, derivada de las antraquinonas, ya que posee numerosas actividades farmacológicas, por

ejemplo, se ha reportado efecto antitumoral, antiangiogénesis, antimetástasis, antiinflamatorio y antioxidante (Gao y col., 2021).

Los compuestos contenidos en el *A. vera* poseen propiedades benéficas cuando son consumidos, por ejemplo, inhiben tumores cancerosos, tienen efecto inmunomodulatorio y disminuyen citocinas proinflamatorias y daño histopatológico en el estómago (Fehrmann-Cartes y col., 2019). La aloe-emodina y aloína inhiben células cancerosas a través de la vía mitocondrial, poseen propiedades homeostáticas, antibacterianas, antiinflamatorias, antioxidantes, y son neuroprotectores (Baruah y col., 2016; Borges-Argáez y col., 2019). La aloe-emodina se ha utilizado en el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer, disminuyendo la concentración de malondialdehído, así como la actividad de algunas proteínas catalíticas y transmembranales, y aumentando la presencia de células neuronales y producción de acetilcolina (Presenilina-1, Presenilina-2 y gamma secretasa) (Mijatovic y col., 2005; Wang y col., 2019).

También los compuestos de *A. vera* presentan inhibición sobre el Factor de Necrosis Tumoral (TNF- α), caspasa-3 y óxido nítrico sintasa, lo que sugiere un efecto protector contra radicales libres que pueden inducir lesiones cerebrales (Farrugia y col., 2019; Pasala y col., 2022). Gran parte de las acciones benéficas que poseen los compuestos se deben al efecto sinérgico que presentan, ya que, difícilmente se pueden encontrar las moléculas libres o puras, por ejemplo, los compuestos fenólicos se unen a moléculas solubles como carbohidratos, proteínas y algunos lípidos, mediante esterificación en el resto carboxílico. Generalmente los fenoles insolubles se unen covalentemente a polímeros, como polisacáridos y ligninas, a través de un enlace éster y se liberan mediante hidrólisis ácida, alcalina o enzimática, sin embargo, en conjunto suelen representar la mayor actividad benéfica (Kumar y col., 2019).

La tecnología de acoplamiento molecular es un método de investigación *in silico* (modela-

dos o simulaciones obtenidos en biología computacional), utilizado en el descubrimiento y detección de compuestos con funciones farmacológicas. Estudios *in silico* indican que compuestos antraquinónicos del *A. vera* poseen propiedades de importancia en la salud como anticancerígena, antiinflamatoria, cardioprotectora, antimicrobiana, inmunosupresora, hepatoprotectora y neuroprotectora (Majumder y col., 2019; Pasala y col., 2022; Bendjedid y Benouchenne, 2023). Esta técnica se basa en el principio “lave y cerradura”, y permite identificar los sitios activos entre el ligando y receptor, obteniendo la conformación adecuada, analizando la estructura de ligando y receptor mediante el uso de software especializado (Li y col., 2021a).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad antioxidante del gel de *Aloe vera* y realizar un estudio *in silico* para evidenciar el potencial efecto terapéutico de algunos de sus compuestos en la enfermedad de Alzheimer.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se adquirieron plantas de *A. vera* (3 años de edad) de mercados en la Ciudad de México, México. Posteriormente, se cortaron las rosetas para obtener las hojas, estas se lavaron con agua y jabón, y se desinfectaron con solución clorada (10 ppm). El gel se extrajo quitando el exocarpio (corteza) de las hojas y se congeló a - 20 °C para su posterior liofilización y almacenamiento hasta su uso.

Preparación de las muestras

Se prepararon soluciones de 1 mg/mL a 10 mg/mL de gel liofilizado disuelto en metanol (Baker®) al 80 %, pasados por baño ultrasónico (Cole parmer, 8892, EUA) durante 10 min, para la determinación de la concentración mínima inhibitoria (IC₅₀, por sus siglas en inglés: Median Inhibitory Concentration), y se almacenaron en frascos ámbar hasta su empleo (16 h).

Ensayo ABTS

La actividad antioxidante por ABTS (ácido 3-etil benzotiazol-6-sulfónico) se determinó de

acuerdo a Leite y col. (2021) con modificaciones. El radical ABTS se obtuvo por reacción de 7 mmol/L de solución ABTS con 2.25 mm/L de persulfato de sodio en oscuridad, almacenado a temperatura ambiente durante 16 h antes de su uso. La solución obtenida se diluyó con agua destilada hasta una absorbancia de 0.700 nm a 0.754 nm. Se utilizaron 50 µL de muestra (1 mg/mL a 10 mg/mL solución de gel) y 250 µL de ABTS diluido; 6 min después se leyó a 754 nm en un lector de microplacas (Thermo Fisher, Multiskan Go, España). Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición (Ecuación 1).

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{\text{Absorbancia inicial} - \text{Absorbancia final}}{\text{Absorbancia final}} * 100$$

Ensayo DPPH

La actividad antioxidante por DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) se determinó directamente en microplaca. Se adicionaron 20 µL de muestra con 180 µL de solución metanólica de DPPH (150 µMol/L en metanol: agua en proporción 80:20). Se mezclaron y se dejaron reposar bajo oscuridad durante 40 min. Posteriormente se leyó a una absorbancia de 515 nm en un lector de microplacas (Thermo Fisher, Multiskan Go, España). Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición (Ecuación 1) (Bobo-García y col., 2015).

Radical OH

Para el ensayo del radical hidroxilo se utilizó el método descrito por Li y col. (2008) con modificaciones. Se midieron 50 µL de la muestra y se colocaron en una microplaca de 96 pozos, posteriormente se adicionaron 50 µL de 1, 10-fenantrolina y FeSO₄ 3 mM. Para iniciar la reacción se añadieron 50 µL de H₂O₂, la mezcla se agitó e incubó a 37 °C por 60 min. La absorbancia se leyó en un lector de microplacas a 536 nm. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición (Ecuación 1).

Poder reductor

Las muestras se mezclaron con 2.5 mL de regulador de fosfato de sodio de 200 mmol/L

(pH 6.6) y 2.5 mL de ferrocianuro de potasio al 1 %. La mezcla se incubó a 50 °C/20 min. Después de añadir 2.5 mL de ácido tricloroacético al 10 % (p/v), la mezcla se centrifugó a 650 rpm/10 min, el sobrenadante (5 mL) se mezcló con 5 mL de agua desionizada y 1 mL de cloruro férrico al 0.1 %. El poder reductor se midió a 700 nm (Oyaizu, 1986); la obtención de mayor absorbancia significa un mayor poder reductor. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición (Ecuación 1).

Concentración mínima inhibitoria

Se determinó la concentración mínima inhibitoria (IC₅₀) del gel de *A. vera* con la ecuación de la recta a partir de los porcentajes de inhibición (ABTS y DPPH) y las actividades relativas (Radical OH y poder reductor) y la concentración del gel de Aloe.

Estimación total de polifenoles

Para la determinación de los compuestos fenólicos de las muestras se añadieron 100 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu diluido (1:4) y 75 µL de solución saturada (10 %) de carbono de sodio y agua. Después de 60 min, se midió la absorbancia a 760 nm, previamente se realizó una curva de calibración con ácido gálico (0 mg/mL a 0.1 mg/mL). La concentración de compuestos fenólicos totales se expresó en mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra (Cruzado y col., 2013). Se utilizó la ecuación de la recta para calcular la concentración de las muestras analizadas, los resultados se expresaron en mg EAG/g de muestra liofilizada de gel.

Estimación total de flavonoides

Para la determinación de la concentración de flavonoides se añadieron 50 µL de las muestras a analizar y se agregaron 5 µL de nitrato de sodio al 5 %. Después de 5 min se adicionaron 150 µL de cloruro de aluminio al 10 % y se dejaron reaccionar por 6 min. Pasado el tiempo se adicionaron 500 µL de hidróxido de sodio 1 mM y se añadió agua destilada hasta 5 mL. Los flavonoides se cuantificaron a una longitud de onda de 510 nm contra un blanco. Se utilizó quercetina para la curva es-

tándar y se empleó la ecuación de la recta para calcular la concentración de las muestras analizadas. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina (EQ)/g muestra liofilizada de gel (Nalimu y col., 2021).

Estudio *in silico*

Para desarrollar el análisis bioinformático se utilizó el programa Rstudio 1.4.2.1, con múltiples paquetes (Geoquery, lima, dplyr, ggplot2, entre otros). Se trabajó con información de la base de datos NCBI Gene Expression Omnibus: GSE138260 (análisis de expresión diferencial de muestras de cerebro humano con enfermedad de Alzheimer frente a muestras de control sanas) con el fin de realizar meta análisis de la expresión de genes en la enfermedad de Alzheimer.

La expresión de los genes se obtuvo aplicando al inicio una normalización robusta con funciones “spline”, posteriormente se determinaron las correlaciones de Pearson para cada muestra y se anotaron los genes participantes en el Alzheimer por expresión diferencial.

Se realizó el análisis jerárquico de los datos mediante la aplicación de clúster y normalización de datos, finalizando con un análisis de enriquecimiento de la anotación de genes definiendo grupos, ajustando el modelo aplicado y contraste de interés, que es una técnica de validación de bases de datos biológicas (Prinness y col., 2007).

Acoplamiento molecular

Las estructuras cristalinas de la gamma secretasa (código PDB: 5A63) se obtuvieron del RSCB Protein Data Bank (PDB). Para preparar las estructuras de la simulación del acoplamiento molecular se emplearon los programas Avogadro 1.2.0, AutodockTools 1.5.7 y UCSF Chimera 1.15. Se analizó la solvatación, deprotonación de las proteínas analizadas, y estabilidad de la unión (cambios de pH y cambios de energía) mediante UCSF Chimera para la selección de los ligandos adecuados, obtenidos estos de la literatura científica co-

mo presentes en *A. vera* y registrados en la lista de compuestos del software.

Análisis estadístico

Los ensayos de la caracterización química se realizaron por triplicado y se expresaron como valores promedio y sus desviaciones estándar. En todas las muestras se utilizó un nivel de significancia $P \leq 0.05$. Los datos se analizaron con Rstudio versión 1.4.2.1.

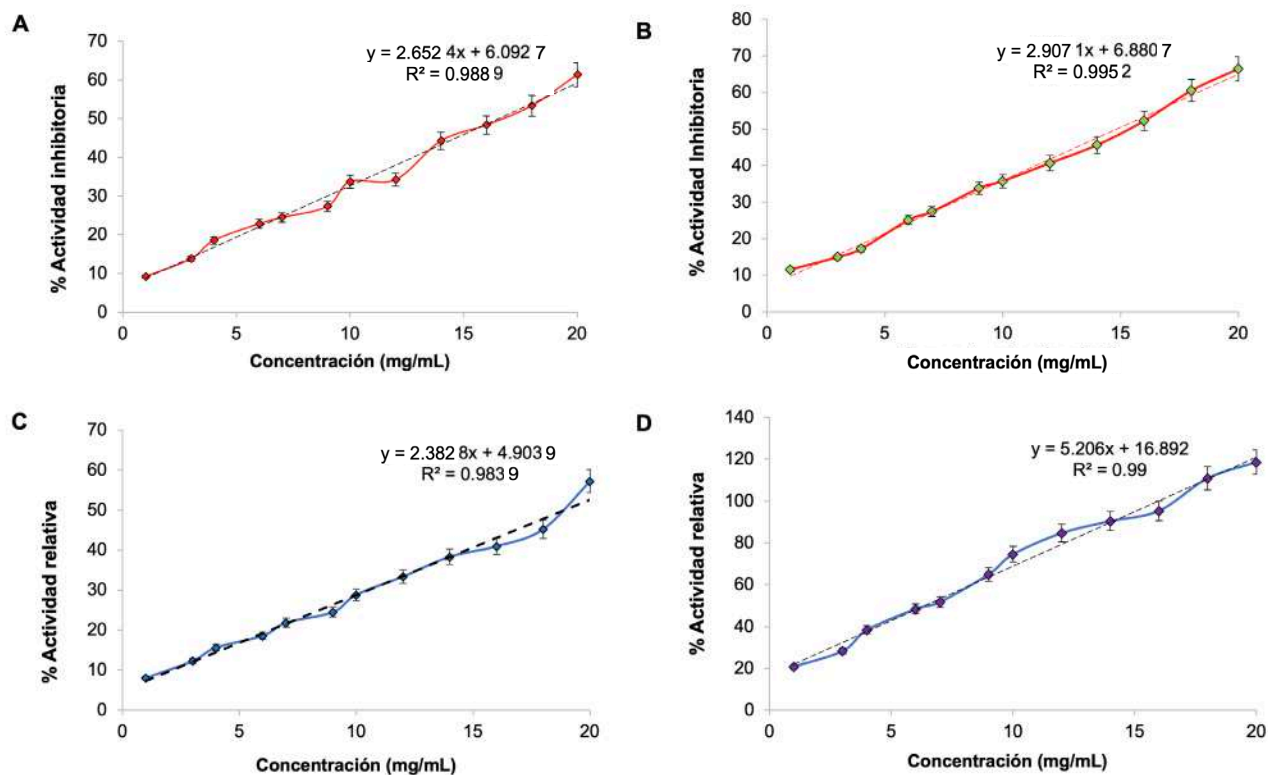
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad antioxidante

Al aumentar la concentración de las soluciones del gel de *A. vera* aumentó la actividad antioxidante determinada mediante los ensayos de ABTS, DPPH, Radical OH y poder reductor (Figura 1), lo que explica el mayor porcentaje de inhibición de los radicales estudiados. Dicha actividad se asocia directamente con los compuestos bioactivos presentes en esta especie vegetal, por ejemplo, flavonoides, terpenoides, lectinas, ácidos grasos, antraquinonas, antronas, cromonas, taninos, esteroides, polisacáridos de interés, entre otros. Sin embargo, los compuestos con mayor capacidad antioxidante y antiradical son las antraquinonas, antronas y cromonas, destacando la aloemodina, ácido aloético, antranol, aloína A y B, feralolida y ácido cinámico (Héş y col., 2019; Khan y col., 2022).

El gel presentó porcentajes máximos de inhibición similares para los radicales ABTS y DPPH con valores de 61.35 ± 1.05 y 66.48 ± 0.34 , respectivamente (Figura 1A y 1B). La máxima actividad relativa de radical OH fue baja (57.14 ± 0.85) (Figura 1C) comparado con su poder reductor, alcanzando un valor de 118.61 ± 0.32 (Figura 1D). El poder reductor evalúa el efecto combinado de los compuestos antioxidantes no enzimáticos que se encuentran en la planta, indicando la capacidad que tienen de resistir al daño oxidante de los radicales libres (Benítez-Estrada y col., 2020).

Los valores de IC_{50} del gel *A. vera*, determinados mediante la ecuación de la recta, representan la concentración del gel (mg/mL) ne-



■ Figura 1. Efecto de la concentración de *A. vera* en la actividad antioxidante inhibitoria y relativa. (A: ABTS, B: DPPH, C: radical OH, D: poder reductor).

Figure 1. Effect of *A. vera* concentration on inhibitory antioxidant and relative activity (A: ABTS, B: DPPH, C: OH radical, D: reducing power).

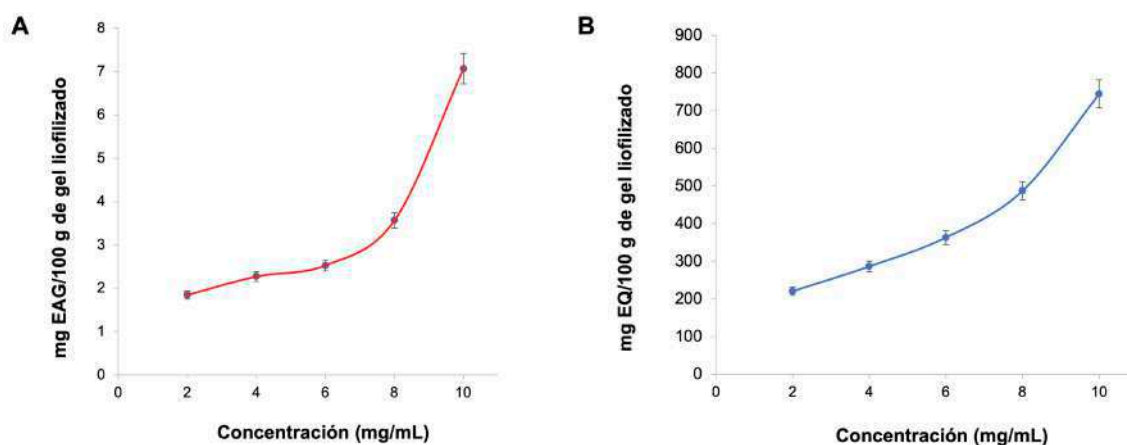
cesaria para obtener el 50 % de actividad inhibitoria y relativa (Figura 1). La concentración IC_{50} para ABTS fue de 16.553 mg/mL (Figura 1A) y DPPH de 14.832 mg/mL (Figura 1B), en tanto que para radical OH y poder reductor fueron de 18.926 mg/mL y 6.359 mg/mL, respectivamente (Figura 1C y 1D). Los valores de IC_{50} para ABTS y DPPH en este estudio fueron similares, y semejantes con los de Ben-zidia y col. (2018), quienes realizaron fraccionamiento por cromatografía en capa fina del gel de *A. vera*, obteniendo IC_{50} cercano a 12 mg/mL. Valores bajos de IC_{50} indican mayor actividad antioxidante de las soluciones analizadas (Heş y col., 2019).

El valor más alto de IC_{50} obtenido fue para el radical OH, mostrando que es necesario mayor concentración del gel para inhibir los sustratos oxidantes presentes (Tariq y col., 2019). El valor más bajo se obtuvo para inhibir el hierro activo, mediante la determinación del poder reductor del gel.

Análisis del contenido de polifenoles y flavonoides

El contenido de polifenoles disueltos incrementó al aumentar la concentración, obteniéndose un máximo de 7.07 ± 0.05 mg EAG/100 g de gel liofilizado (Figura 2A).

El gel contiene 3 tipos principales de polifenoles, antraquinonas, antronas y cromonas. El compuesto fenólico que destaca es aloemodina, cuyo consumo se relaciona con un efecto antiinflamatorio por la disminución de la producción de citocinas proinflamatorias como el factor de necrosis tumoral e interleucina-1 (Akhtar y col., 2020). Además, disminuye la producción de óxido nítrico, IL-6 e IL-1 β , la fosforilación de ERK (quinasa), de proteína 38 y JNK (quinasa) (Dong y col., 2019). También, los polifenoles contenidos en el gel al consumirse son liberados y metabolizados en el intestino grueso (colon) por la microbiota, produciendo metabolitos con funciones neuromodulares y neurotransmisoras como glu-



■ **Figura 2.** Contenido de polifenoles (A) y flavonoides (B) del gel de *A. vera*.

Figure 2. Polyphenol (A) and flavonoid (B) content of *A. vera* gel.

tamato, ácidos grasos de cadena corta, aminas biogénicas, serotonina, dopamina, histamina, homocisteína, ácido gamma aminobutírico y triptófano (Pluta y col., 2020).

Martin y col. (2017) mencionaron que, una dieta suplementada con gel de *A. vera* mejora el aprendizaje y memoria de personas con Alzheimer, regulando el factor de crecimiento derivado del cerebro (BNDF, por sus siglas en inglés: Brain-derived neurotrophic factor).

El contenido de flavonoides (Figura 2B) presentó un comportamiento similar al del contenido de polifenoles. Al aumentar la concentración incrementó su contenido hasta 744.81 ± 0.31 mg EQ/100 g de gel liofilizado.

El gel contiene principalmente flavonoles, un tipo de flavonoide con actividad antioxidante, que disminuyen los procesos inflamatorios por la inhibición de la producción de óxido de nitrógeno (NO) (Gebashe y col., 2019). Añibarro-Ortega y col. (2019) reportaron diversas antronas y antraquinonas, como aloína A, aloína B, ácido clorogénico, ácido p-cumárico, apigenina-6-glucósido, apigenina-7-glucósido, emodina, entre otros. Cabe destacar que el contenido de compuestos antioxidantes varía dependiendo de la edad de la planta, cuando se llevan a cabo los análisis correspondientes y factores ambientales donde se desarrolla la planta, nutrientes, clima, zona geográfica, entre otros factores (Ozsoy y col., 2009).

El análisis de correlación de Pearson determinó que los polifenoles y flavonoides obtuvieron asociaciones positivas con los valores de inhibición de actividad antioxidante, pero las correlaciones de los polifenoles fueron mayores a las de los flavonoides (Tabla 1), lo que sugiere mayor participación en la actividad antioxidante.

Análisis de expresión de genes en la enfermedad de Alzheimer

En la Figura 3 se observa la expresión de 39 genes que participan en la enfermedad de Alzheimer. Se indican por grupo control (personas sanas) y grupo problema (muestras de cerebros humanos con enfermedad de Alzheimer) (Nitsche y col., 2021). Los genes de las personas con Alzheimer presentan correlaciones positivas, mientras que en las personas control obtienen correlaciones negativas. Los dendogramas obtenidos con base en la expresión

■ **Tabla 1.** Valores de correlación (R^2) del contenido total de polifenoles y flavonoides con la actividad antioxidante.

Table 1. Correlation values (R^2) of total polyphenol and flavonoid content with antioxidant activity.

Método antioxidante	Polifenoles (R^2)	Flavonoides (R^2)
ABTS	0.904 3	0.791 4
DPPH	0.866 7	0.784 6
Radical OH	0.912 8	0.770 7
Poder reductor	0.861 4	0.763 1

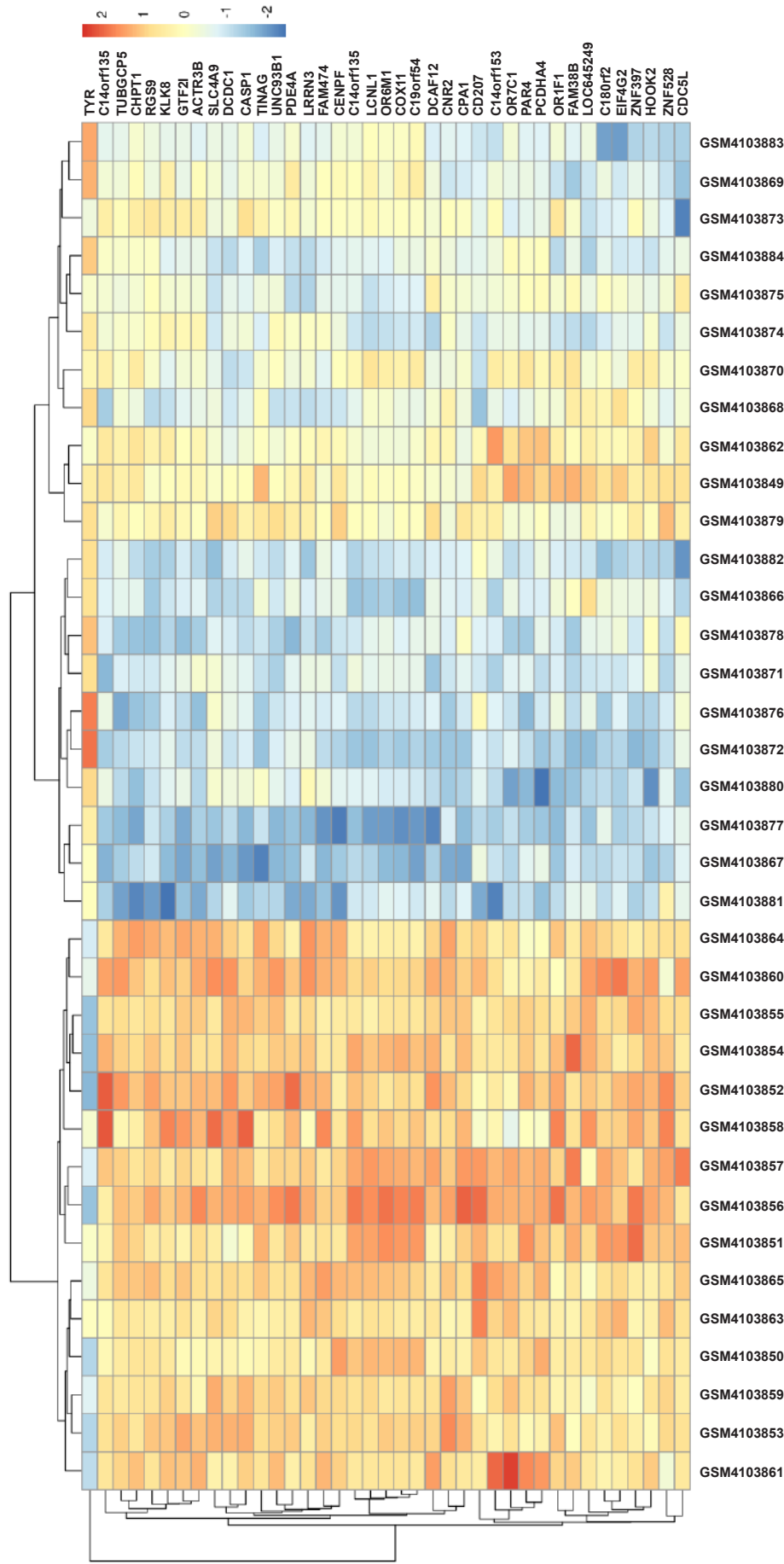


Figura 3. Expresión de 39 genes principales en grupos de personas con Alzheimer. Los números de acceso GSM4103849 - GSM4103865 corresponden a personas con la enfermedad (presentan correlaciones positivas y se aprecian con tendencia a colores amarillos y rojos). Los números de acceso GSM4103866 - GSM4103884 son de pacientes control (presentan correlaciones negativas y se aprecian con tendencia de coloraciones azules; columnas centrales y las dos primeras del lado derecho).

Figure 3. Expression of 39 main genes in groups of people with Alzheimer's. The access numbers GSM4103849 - GSM4103865 correspond to people with the disease (they present positive correlations and are seen with a tendency to yellow and red colors). The access numbers GSM4103866 - GSM4103884 are from control patients (they present negative correlations and are seen with a tendency towards blue coloring; central columns and the first two on the right side).

sión de los genes forman dos conjuntos. En la Figura 3 se aprecian los grupos de cerebros de personas con Alzheimer, uno con alta correlación positiva (lado izquierdo, con coloraciones amarillas a rojizas predominantes) y otro con correlaciones cercanas a 0 (lado derecho). El tercer grupo es el control (al centro y primeras dos columnas del lado derecho) que presentan correlación negativa y se observan con coloraciones azules predominantes. La diferencia en el tipo y grado de correlación se asocia con el hecho de que la enfermedad de Alzheimer se desarrolla de diferente manera en las personas, los síntomas varían mucho, y la expresión de genes puede ser distinta de persona a persona (Soria-Lopez y col., 2019).

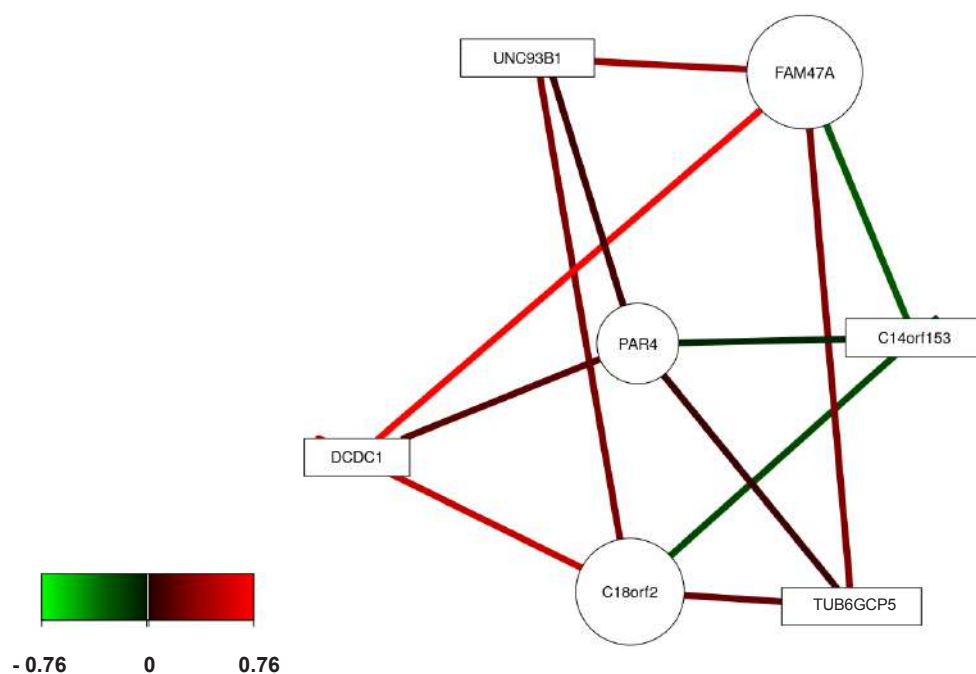
Los genes C14orf135, PAR4, SLC4A9, KLK8, CASP1, OR7C1, CD207 y PDE4A son los que presentaron mayor correlación en el presente estudio (datos no mostrados), en el grupo de personas con Alzheimer, relacionados con la pérdida de memoria. Dentro de este grupo destaca el gen C14orf135 asociado con la expresión de proteínas transmembranales, de las cuales, una de las principales es la gamma secretasa, cuya actividad modificada se relaciona con la enfermedad (Wang y col., 2019).

Análisis de enriquecimiento

El análisis de enriquecimiento de los genes que se expresan en la enfermedad de Alzheimer se muestra en la Figura 4, en la cual se observa que existen genes que se relacionan entre sí por compartir expresiones proteicas y rutas bioquímicas. FAM47A, una familia de genes que codifica proteínas durante la mitosis, se asocia negativamente con C14orf153 (citocromo c oxidasa), es decir, al expresarse FAM47A disminuye C14orf153. Además, se relaciona positivamente con UNC93B1 (asociado con la respuesta inmune) y DCDC1 (regulación de polimerización de microtúbulos) (Ji y col., 2016). C18orf2 (gen promotor) se relaciona positivamente con DCD1, TUB6GCP5 y UNC93B1, y negativamente con C14orf153. C18orf2 regula la expresión de proteínas asociadas con la polimerización de microtúbulos (Vuoristo y col., 2001). El conjunto de genes PAR4, DCDC1 y TUB6GCP5 se relacionan positivamente con la mitosis de las células y se encuentran sobreexpresados en el hipocampo en pacientes con Alzheimer (Guo y col., 1998).

Acoplamiento molecular

Para el acoplamiento molecular se seleccionó la proteína transmembranal gamma secretasa,



■ Figura 4. Análisis de enriquecimiento de genes de cerebros de personas con Alzheimer.

Figure 4. Enrichment analysis of brains' genes from people with Alzheimer's disease.

expresada por los genes de la familia C14orf153, que en el presente estudio se identificó como un gen de interés. Esta familia de genes participa en la síntesis del péptido beta-amiloide, cuyo incremento se ha asociado con la presencia de placas amiloides relacionadas con el desarrollo de Alzheimer (Schmidt y col., 2022).

El acoplamiento molecular se utiliza para predecir la actividad de ligandos hacia una proteína o un objetivo de interés (Pinzi y Rastelli, 2019). De los 8 ligandos, seleccionados con mayor estabilidad, presentes en el *A. vera* (Tabla 2), la aloe-emodina resultó adecuada para el acoplamiento. Los demás ligandos no fueron resistentes a la solvatación, cambios de pH, o cambios de energía que presentan estos compuestos cuando pasan a través del sistema digestivo.

La aloína es una antraquinona abundante en el *A. vera*, que presenta una unidad de glucosa en su estructura, por ello las bacterias del in-

testino delgado hidrolizan el enlace glucosídico, convirtiendo la aloína en aloe-emodina (Yang y col., 2022).

Durante el análisis *in silico* se obtuvieron 7 acoplamientos estables entre aloe-emodina y gamma secretasa, en los que, los aminoácidos histidina, valina, alanina y prolina participaron activamente en la unión, ya que se encuentran en mayor frecuencia en las uniones analizadas. En la Tabla 3 se observa que los acoplamientos 3 y 6 presentaron las menores energías de acoplamiento (- 4.12 y - 4.13, respectivamente), y constantes de inhibición bajas (< 1 mM). La energía libre de unión representa la afinidad que poseen un compuesto con capacidad inhibitoria con el sitio activo de unión presente en la proteína de interés, a menor energía de unión mayor afinidad y mejor será el acoplamiento (Meneses y Cuesta, 2015).

La Figura 5 muestra los 7 acoplamientos estables para gamma secretasa. Se puede apre-

■ **Tabla 2. Compuestos analizados en el acoplamiento molecular.**

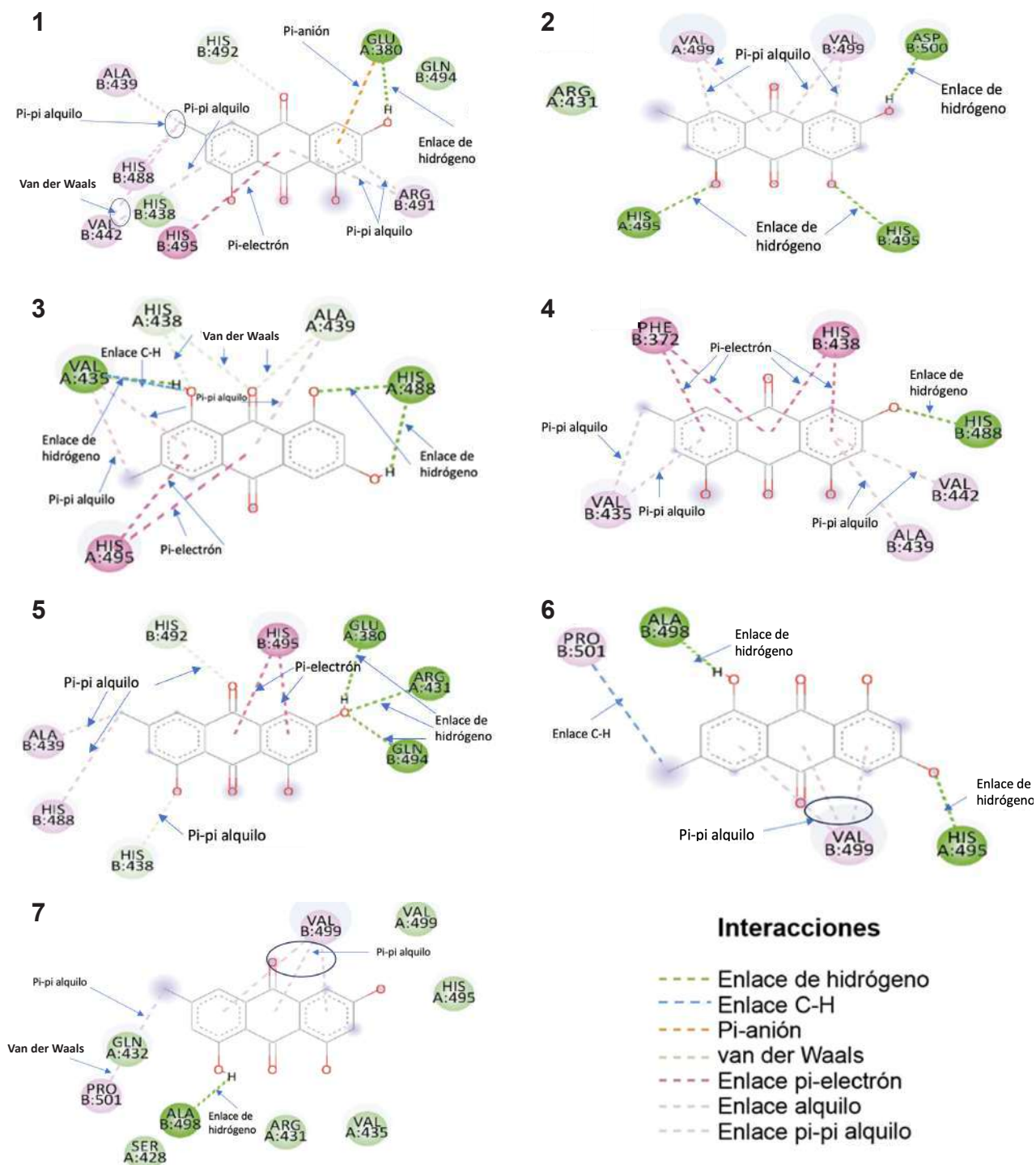
Table 2. Compounds analyzed in the molecular linkage.

Compuesto	Tipo	Condición resistente
Aloína	Antraquinona	Cambios de pH, cambios de energía
Aloe-emodina	Antraquinona	Cambios de pH, cambios de energía
Acemanano	Polisacárido	No resistente
Isoaloesina	Antraquinona	No resistente
Aloe barbadendol	Antraquinona	No resistente
Ácido cinámico	Antraquinona	No resistente
Galactano	Polisacárido	No resistente
Ácido aloético	Antraquinona	No resistente

■ **Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del acoplamiento de aloe-emodina y gamma secretasa.**

Table 3. Physicochemical parameters of the linkage of aloe-emodin and gamma secretasa.

Acoplamiento	Energía libre de unión	Constante de inhibición estimada
1	- 3.75 kcal/mol	1.78 mM
2	- 3.71 kcal/mol	1.92 mM
3	- 4.12 kcal/mol	959.6 µM
4	- 3.54 kcal/mol	2.55 mM
5	- 3.81 kcal/mol	1.62 mM
6	- 4.13 kcal/mol	944.06 µM
7	- 3.78 kcal/mol	1.69 mM



■ Figura 5. Acoplamiento molecular de aloe-emodina y gamma secretasa. Aminoácidos: histidina (HIS), alanina (ALA), arginina (ARG), valina (VAL), serina (SER), prolina (PRO), glutamina (GLN), glutamato (GLU), aspartato (ASP), fenilalanina (PHE). Las letras A y B significan la cadena polipeptídica de gamma secretasa a la que pertenecen los aminoácidos; el número adyacente indica la posición en la cadena.

Figure 5. Molecular linkage of aloe-emodin and gamma secretase. Amino acids: histidine (HIS), alanine (ALA), arginine (ARG), valine (VAL), serine (SER), proline (PRO), glutamine (GLN), glutamate (GLU), aspartate (ASP), phenylalanine (PHE). The letters A and B mean the gamma secretase polypeptide chain to which the amino acids belong; the adjacent number indicates the position in the chain.

ciar la existencia enlaces de hidrógeno, C-H, π -anión, π -electrón, alquilo, y π - π alquilo. Cada enlace mencionado permite la estabilidad del enlace y determina la energía de unión existente entre la aloe-emodina y la gamma secretasa. La ausencia de enlaces con mayor energía sugiere que la aloe-emodina no se une al sitio activo de la gamma-secretasa, por lo que su unión a la enzima, en caso de modificar su actividad enzimática (acción no probada en este estudio) le permitiría actuar como inhibidor competitivo, es decir, modificando su estructura tridimensional y afectando con ello su actividad enzimática, lo cual disminuiría la síntesis de péptidos β -amiloide y a su vez la acumulación del mismo para la formación de la proteína Tau. De acuerdo con Mitra y col. (2022), la aloe-emodina posee un efecto inhibitorio sobre la agregación del péptido β -amiloide, por regulación de la enzima serina/treonina cinasa. Tratamientos con aloe-emodina de 25 μ M y 50 μ M, disminuyen la apoptosis inducida por el péptido β -amiloide, además se reducen los marcadores de apoptosis, caspasa-3, caspasa-8 y caspasa-9 (Li y col., 2021b).

Los resultados obtenidos sugieren que *A. vera* podría funcionar como candidato a fármaco para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer, por su actividad antioxidante, co-

rrelación positiva de los polifenoles y flavonoides con la actividad antioxidante, y la unión de aloe-emodina con gamma secretasa.

CONCLUSIONES

El gel de *A. vera* posee actividad antioxidante, inhibiendo los radicales ABTS y DPPH, además, de actividad contra radicales OH y capacidad de reducción de hierro, por lo que se podría utilizar como tratamiento contra cierto tipo de enfermedades que involucren generación de radicales libres. La capacidad antioxidante, se relaciona directamente, con las altas concentraciones de polifenoles y flavonoides presentes en el gel, los cuales se asocian directamente con la inhibición de radicales libres (Radical OH). El estudio *in silico* demostró que la enfermedad de Alzheimer presenta mayor expresión de genes que codifican proteínas transmembranales, como gamma secretasa relacionada con la formación de las placas seniles presentes. El acoplamiento estable aloe-emodina-gamma secretasa, sugiere que podría funcionar como coadyuvante farmacéutico en el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer, en caso de actuar como inhibidor de su actividad.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Akhtar, M. F., Saleem, A., Rasul, A., Baig, M. M. F. A., Bin-Jumah, M., and Daim, M. M. A. (2020). Anticancer natural medicines: An overview of cell signaling and other targets of anticancer phytochemicals. *European Journal of Pharmacology*. 888: 173488.
- Añibarro-Ortega, M., Pinela, J., Barros, L., Ćirić, A., Silva, S. P., Coelho, E., ..., and Ferreira, I. C. F. R. (2019). Compositional features and bioactive properties of Aloe vera leaf (Fillet, Mucilage, and Rind) and Flower. *Antioxidants*. 8(10): 444.
- Baldi, A., Sommella, E., Campiglia, P., and Daglia, M. (2020). Aloe gel-base food products: Chemical, toxicological, and regulatory aspects. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 119: 104818.
- Baruah, A., Bordoloi, M., and Baruah, H. P. D. (2016). Aloe vera: A multipurpose industrial crop. *Industrial Crops and Products*. 94: 951-963.
- Benzidia, B., Barbouchi, M., Hammouch, H., Belahbib, N., Zouarhi, M., Erramli, H., ..., and Hajjaji, N. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of tannins extract from green rind of Aloe vera (L.) Burm. F. *Journal of King Saud University - Science*. 31(4): 1175-1181.
- Bendjedid, S. and Benouchenne, D. (2023). In silico studies for assessing physicochemical, pharmacokinetic and cytotoxic properties of bioactive molecules identified by LC-MS in Aloe vera leaf extracts. *South African Journal of Botany*. 157: 75-81.
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V., Puga-Díaz,

- R. y Quintero-Gutiérrez, A. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 23: 1-9.
- Bobo-García, G., Davidov-Pardo, G., Arroqui, C., Vírveda, P., Marín-Arroyo, M. R., and Navarro, M. (2015). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(1): 204-209.
- Borges-Argáez, R., Chan-Balan, R., Cetina-Montejo, L., Ayora-Talavera, G., Sansores-Peraza, P., Gómez-Carballo, J., and Cáceres-Farfán, M. (2019). In vitro evaluation of anthraquinones from *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) roots and several derivatives against strains of influenza virus. *Industrial Crops and Products*. 132: 468-475.
- Clementi, M., Tringali, G., Triggiani, D., and Giardina, B. (2015). Aloe arborescens extract protects IMR-32 cells against Alzheimer amyloid beta peptide via inhibition of radical peroxide production. *Natural Product Communications*. 10(11): 1993-1995.
- Cruzado, M., Pastor, A., Castro, N. y Cedron, J. (2013). Determinación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de alcachofa (*Cynara scolymus* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 79(1): 57-63.
- Domínguez-Fernández, R. N., Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J., Welti-Chanes, J., Alvarado-González, J., Calderón-Domínguez, G., ... y Gutiérrez-López, F. (2012). El gel de *Aloe vera*: Estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 11(1): 23-43.
- Dong, X., Zeng, Y., Liu, Y., You, L., Yin, X., Fu, J., and Ni, J. (2019). Aloe-emodin: A review of its pharmacology, toxicity, and pharmacokinetics. *Phytotherapy Research*. 34(2): 270-281.
- Farrugia, C. J. E., Burke, E. S., Haley, M. E., Bedi, K. T., and Gandhi, M. A. (2019). The use of aloe vera in cancer radiation: An updated comprehensive review. *Complementary Therapies in Clinical Practice*. 35: 126-130.
- Fehrmann-Cartes, K., Coronado, M., Hernández, A. J., Allende, M. L., and Feijoo, C. G. (2019). Anti-inflammatory effects of Aloe vera on soy meal-induced intestinal inflammation in zebrafish. *Fish & Shellfish Immunology*. 95: 564-573.
- Gao, Y., Zhang, X., Li, X., Qi, R., Han, Y., Kang, Y., ..., and Qi, Y. (2021). Aloe-emodin, a naturally occurring anthraquinone, is a highly potent mast cell stabilizer through activating mitochondrial calcium uniporter. *Biochemical Pharmacology*. 186: 1144-76.
- Gebashe, F., Baskaran, P., and Van-Staden, J. (2019). Pharmacology and polyphenolic contents of *in vitro* propagated *Aloe pruinosus* Reynolds grown ex vitro. *South African Journal of Botany*. 122: 504-509.
- Guo, Q., Fu, W., Xie, J., Luo, H., Sells, S. F., Geddes, J. W., ..., and Mattson, M. P. (1998). Par-4 is a mediator of neuronal degeneration associated with the pathogenesis of Alzheimer disease. *Nature Medicine*. 4(8): 957-962.
- Han, J., Hyun, J., Park, J., Jung, S., Oh, Y., Kim, Y., ..., and Jung, Y. (2021). Aberrant role of pyruvate kinase M2 in the regulation of gamma-secretase and memory deficits in Alzheimer's disease. *Cell Reports*. 37: 110102.
- Hęś, M., Dziedzic, K., Górecka, D., Jędrusek-Golińska, A., and Gujska, E. (2019). Aloe vera (L.) Webb.: Natural Sources of Antioxidants – A Review. *Plant Foods for Human Nutrition*. 74(3): 255-265.
- Ji, J., Qin, Y., Wang, R., Huang, Z., Zhang, Y., Zhou, R., ..., and Lu, C. (2016). Copy number gain of VCX, X-linked multi-copy gene, leads to cell proliferation and apoptosis during spermatogenesis. *Oncotarget*. 7(48): 78532-78540.
- Khan, I., Mohanta, T. K., Ihsan, N., Halim, S. A., Khan, A., Rehman, N. U., ..., and Al-Harrasi, A. (2022). Antiamnesic Effects of Feralolide Isolated from *Aloe vera* Resin Miller against Learning Impairments Induced in Mice. *Antioxidants*. 12(162): 1-18.
- Kumar, R., Singh, A. K., Gupta, A., Bishayee, A., and Pandey, A. K. (2019). Therapeutic potential of *Aloe vera* -A miracle gift of nature. *Phytomedicine*. 60: 15-2996.
- Leite, D. O. D., Camilo, C. J., Nonato, C. F. A., Carvalho, N. K. G., Salazar, G. J. T., de-Morais, S. M., and Costa, J. G. M. D. (2021). Chemical profile and evaluation of the antioxidant and anti-acetylcholinesterase activities of *Annona squamosa* L. (Annonaceae) Extracts. *Foods*. 10(10): 2343.
- Li, T., Guo, R., Zong, Q., and Ling, G. (2021a). Application of molecular docking in elaborating

- molecular mechanisms and interactions of supra-molecular cyclodextrin. *Carbohydrate Polymers*. 276: 118644.
- Li, Y., Jiang, B., Zhang, T., Mu, W., and Liu, J. (2008). Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chemistry*. 106(2): 444-450.
- Li, Z., Bi, H., Jiang, H., Song, J., Meng, Q., Zhang, Y., and Fei, X. (2021b). Neuroprotective effect of emodin against Alzheimer's disease via Nrf2 signaling in U251 cells and APP/PS1 mice. *Molecular Medicine Reports*. 23(2): 108-117.
- Lonescu-Tucker, A. and Cotman, C. W. (2021). Emerging roles of oxidative stress in brain aging and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*. 107: 86-95.
- Maan, A. A., Nazir, A., Khan, M. K. I., Ahmad, T., Zia, R., Murid, M., and Abrar, M. (2018). The therapeutic properties and applications of *Aloe vera*: A review. *Journal of Herbal Medicine*. 12: 1-10.
- Maan, A. A., Reiad-Ahmed, Z. F., Iqbal-Khan, M. K., Riaz, A., and Nazir, A. (2021). Aloe vera gel, an excellent base material for edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*. 116: 329-341.
- Majumder, R., Das, C. K., and Mandal, M. (2019). Lead bioactive compounds of *Aloe vera* as potential anticancer agent. *Pharmacological Research*. 148: 104416.
- Martin, A., Stillman, J., Miguez, M., McDaniel, R., Konefal, J., Woolger, J., and Lewis, J. (2017). The effect of dietary supplementation on brain-derived neurotrophic factor and cognitive functioning in Alzheimer's dementia. *Journal of Clinical and Translational Research*. 3(3): 337-343.
- Meneses, L. y Cuesta, S. (2015). Determinación computacional de la afinidad y eficiencia de enlace de antiinflamatorios no esteroideos inhibidores de la ciclooxigenasa-2. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*. 36(2): 17-25.
- Mijatovic, S., Maksimovic, D., Radovic, J., Miljkovic, Dj., Harhaji, Lj., Vuckovic, O., ..., and Trajkovic, V. (2005). Anti-glioma action of aloe emodin: the role of ERK inhibition. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 62: 589-598.
- Mitra, S., Anjum, J., Muni, M., Das, R., Rauf, A., Islam, F., ..., and Wilairatana, P. (2022). Exploring the journey of emodin as a potential neuroprotective agent: Novel therapeutic insights with molecular mechanism of action. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 149: 112877.
- Nalimu, F., Oloro, J., Kahwa, I., and Ogwang, P. E. (2021). Review on the phytochemistry and toxicological profiles of *Aloe vera* and *Aloe ferox*. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*. 7: 1-21.
- Nitsche, A., Arnold, C., Ueberham, U., Reiche, K., Fallmann, J., Hackermüller, J., ..., and Arendt, T. (2021). Alzheimer-related genes show accelerated evolution. *Molecular Psychiatry*. 26(10): 5790-5796.
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reactions: Antioxidative activities of product of browning reaction prepared from glucosamine. *Japan Journal of Nutrition*. 44: 307-315.
- Ozsoy, N., Candoken, E., and Akev, N. (2009). Implications for degenerative disorders: Antioxidative activity, total phenols, flavonoids, ascorbic acid, β -carotene and α -tocopherol in *Aloe vera*. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2(2): 99-106.
- Pasala, P. K., Abbas-Shaik, R., Rudrapal, M., Khan, J., Alaidarous, M. A., Jagdish-Khairnar, S., ..., and Walode, S. G. (2022). Cerebroprotective effect of aloe emodin: In silico and in vivo studies. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29(2): 998-1005.
- Pinzi, L. and Rastelli, G. (2019). Molecular docking: Shifting paradigms in drug discovery. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(18): 4331.
- Pluta, R., Koziol, M., Januszewski, S., and Czuczwar, S. (2020). Gut microbiota and pro/prebiotics in Alzheimer's disease. *Aging*. 12(6): 5539-5550.
- Priness, I., Maimon, O., and Ben-Gal, I. (2007). Evaluation of gene-expression clustering via mutual information distance measure. *BMC Bioinformatics*. 8(111): 1-12.
- Schmidt, F., Fitz, K., Feilen, L., Okochi, M., Steiner, H., and Langosh, D. (2022). Different transmembrane domain determine the specificity and efficiency of the cleavage activity of the γ -secretase subunit presenilin. *Journal of Biochemical Chemical*. 299(5): 104626.
- Soria-Lopez, J. A., González, H. M., and Léger, G. C. (2019). Alzheimer's disease. *Handbook of Clinical Neurology*. 167: 231-255.
- Tariq, H., Zia, M., Ihsan-ul-Haq, Muhammad, S. A., Khan, S. A., Fatima, N., ..., and Zhang, M. (2019). Antioxidant, antimicrobial, cytotoxic, and protein kinase inhibition potential in *Aloe vera* L. *BioMed Research International*. 2019: 1-14.
- Vuoristo, J. T., Berrettini, W. H., and Ala-Kokko, L. (2001). C18orf2, a novel, highly conserved in-

tronless gene within intron 5 of the GNAL gene on chromosome 18p11. *Cytogenetics and Cell Genetics*. 93(1-2): 19–22.

Wang, Z. T., Tan, C. C., Tan, L., and Yu, J. T. (2019). Systems biology and gene networks in Alzheimer's disease. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 96: 31-44.

Wolfe, M. (2019). Structure and Function of the γ -Secretase Complex. *Biochemistry*. 58(27): 2953-2966.

Yang, Y., Wu, J. J., Xia, J., Wan, Y., Xu, J. F., Zhang, L., ..., and Peng, C. (2022). Can aloin develop to medicines or healthcare products? *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 153: 113421.



Efecto de la adición de harinas no convencionales y reducción del contenido de sodio en productos reestructurados de macabil (*Albula vulpes*)

Effect of the addition of unconventional flours and low salt content on restructured bonefish (*Albula vulpes*) products

Gabriela Nallely Trejo-Díaz¹, Eduardo Morales-Sánchez², Miguel Ángel Martínez-Maldonado^{3*}

RESUMEN

Los productos acuáticos reestructurados se procesan principalmente a partir de especies de pescado infravaloradas, recortes de filetes o subproductos de especies de pescado no comerciales. Una de las pesquerías subvaloradas en el sur de México, es la del macabil (*Albula vulpes*). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de harinas no convencionales y la reducción del nivel de cloruro de sodio en las propiedades mecánicas y funcionales de productos reestructurados de macabil. Se elaboraron reestructurados de macabil para analizar las muestras con harina de amaranto (HA) o harina de grillo (HG) doméstico (0 %, 5 % y 10 %) y tres niveles de sal (0 %, 1 % y 2 %). Se evaluó la pérdida de agua por cocción, la cantidad de agua extraíble y la textura de los geles. El uso de ambas harinas no convencionales disminuyó la pérdida de agua por cocción entre un 49.09 % y 61.97 %, con 1 % de sal. La adición de sal redujo el agua extraíble del reestructurado. Los valores de dureza variaron ($P < 0.05$) entre tratamientos. La mayor dureza se obtuvo en los tratamientos con HA al 10 % y sal al 1 % (64.55 N) y con HG al 10 % y sal al 2 % (63.50 N). La cohesividad varió de 0.53 a 0.71 (adimensional) en los tratamientos con 1 % y 2 % de sal, indicando pocos cambios en la estructura interna por efecto de los aditivos. Las harinas no convencionales permitieron la gelificación proteica, formando reestructurados con propiedades texturales adecuadas para un producto cárnico. La adición del 10 % de HG común o de HA y 1 % de uso de sal, en la formulación de reestructurados de pescado, ofrece una alternativa saludable en el desarrollo de alimentos de pescado.

PALABRAS CLAVE: productos pesqueros reestructurados, macabil, gelificación, harina de amaranto, harina de grillo.

ABSTRACT

Restructured seafood products are primarily processed from undervalued fish species, fillet trimmings, or byproducts of non-commercial fish species. One of the underrated fisheries in southern Mexico is that of the bonefish (*Albula vulpes*). The objective of this study was to evaluate the effect of adding non-conventional flours and reducing the sodium chloride level on the mechanical and functional properties of restructured bonefish products. Bonefish restructured products were prepared to analyze samples with (0 %, 5 %, and 10 %) amaranth flour (AF) or cricket flour (CF) and three levels of salt (0 %, 1 % and 2 %). The cooking water loss, the amount of extractable water and the texture from gels were evaluated. The use of both non-conventional flours reduced cooking water loss by 49.09 % to 61.97 % with 1 % salt. The addition of salt reduced the extractable water in the restructured product. Hardness values varied ($P < 0.05$) among treatments. The highest hardness was obtained in treatments with 10 % AF and 1 % salt (64.55 N) and with 10 % CF and 2 % salt (63.50 N). Cohesiveness ranged from 0.53 to 0.71 (dimensionless) in treatments with 1 % and 2 % salt, indicating minimal changes in internal structure due to additives. Non-conventional flours allowed for protein gelation, forming restructured products with suitable textural properties for a meat product. The addition of 10 % CF or AF and 1 % salt in fish restructured product formulation offers a healthy alternative in the development of fish-based foods.

KEYWORDS: restructured fish products, bonefish, gelling, amaranth flour, cricket flour.

*Correspondencia: mamartinez@iteshu.edu.mx/Fecha de recepción: 26 de abril de 2023/Fecha de aceptación: 24 de octubre de 2023 / Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

¹Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, Laboratorio de Alimentación Sustentable, Cd. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. ²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro, Querétaro, México. ³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, División de Gastronomía, domicilio conocido s/n, colonia El Saucillo, Huichapan, Hidalgo, México, C. P. 42411.

INTRODUCCIÓN

Las sociedades periódicamente se enfrentan a nuevos desafíos ante la problemática del hambre, la inseguridad alimentaria y las distintas formas de malnutrición a nivel mundial (Reader, 2023). La crisis sanitaria del COVID-19 puso en evidencia, nuevamente, la fragilidad de los sistemas agroalimentarios y las desigualdades existentes en las distintas sociedades. Si a lo anterior se le suman los problemas por el cambio climático, el panorama es aún menos alentador (FAO/FIDA/OMS/PMA/UNICEF, 2022). Mientras tanto, los sistemas de producción de alimentos en el mundo buscan cubrir la demanda creciente de una población en constante aumento. Según el último informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) expuso los retos a afrontar en torno a la seguridad alimentaria de los más de 9 100 millones de habitantes que tendrá el planeta Tierra en 2050, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022). La preocupación más grande es asegurar la producción de alimentos para mantener a la población, que necesitará aproximadamente 470 millones de carne anualmente (Tripathi y col., 2019). Los múltiples factores extrínsecos, tales como el incremento de la población mundial, la disminución de las tierras cultivables, la creciente urbanización e industrialización, la incertidumbre en los sistemas alimentarios y la creciente demanda de alimentos funcionales y de alta calidad, ejercen una presión significativa sobre la necesidad de desarrollar nuevas alternativas para la producción de alimentos que sean accesibles para la población en general (Reader, 2023). Se ha planteado la exploración del uso de ingredientes no convencionales en la elaboración de alimentos y bebidas, así como la aplicación de tecnologías de reestructuración de proteínas de pescado (Valdespino-Sahagún, 2020) con el fin de abordar esta problemática.

La especie de macabil *Albula vulpes*, se encuentra en hábitats marinos costeros de carácter

tropical y subtropical, siendo objeto frecuente de capturas en actividades de pesca deportiva (Pickett y col., 2020). En el sur de México tiene una importancia económica en el ámbito regional (Pérez y col., 2019). La carne de esta especie se comercializa principalmente como “pulpa”, la presentación de filete tiene una demanda limitada debido a la cantidad de pequeñas espinas y huesos (Pineda y col., 2018). Sin embargo, desde un punto de vista nutricional, el macabil se destaca por su contenido proteico y bajo contenido de lípidos, 20.98 g y 0.8 g, respectivamente, por cada 100 g de filete fresco (Pires y col., 2017). Por lo cual, el filete de macabil tiene el potencial de ser transformado en un producto con alto valor agregado a partir de la reestructuración cárnica.

La tecnología empleada en la elaboración de productos cárnicos reestructurados se fundamenta en la creación de productos de alta calidad y uniformidad a partir de carnes de menor valor comercial. A través de este proceso, se logra preservar los atributos organolépticos que se encuentran presentes en los productos derivados del músculo intacto (Ramos y col., 2021). La reestructuración es el proceso de unión de pequeños trozos de carne mediante el uso de proteínas para crear un producto con una calidad mejorada, como: apariencia, color, textura, forma, tamaño, contenido nutricional.

Los productos marinos reestructurados se procesan principalmente a partir de carne picada infravalorada, recortes de filetes, especies de pescado no comerciales y subproductos de especies comerciales (Tokay y col., 2021). La generación de subproductos de la industria pesquera puede ascender a más del 50 % del volumen total consumido, los cuales pueden incluir recortes de músculo, piel y aletas, espinas, cabezas, vísceras y escamas (García-Sifuentes y col., 2020). Actualmente, estos residuos y descartes suelen ser mayoritariamente eliminados, lo que representa un grave problema medioambiental, debido a su impacto negativo en el ecosistema (Chiesa y col., 2019).

La metodología de elaboración de productos reestructurados tiene como finalidad dar valor agregado, a través de la obtención de una masa proteica homogénea, que se utiliza como ingrediente en la elaboración de productos como jamones, albóndigas, hamburguesas, salchichas y nuggets (Sasidharan y Venugopañ, 2020).

En la actualidad, se llevan a cabo investigaciones sobre la pertinencia de incorporar ingredientes tecno-funcionales, con el propósito de disminuir la cantidad de sodio requerida para la gelificación de proteínas, incrementar el contenido proteico de los productos reestructurados y reducir los tiempos de procesamiento (Tokay y col., 2021). La reducción del contenido de sodio en la dieta es vital debido a su relación con la salud cardiovascular. Su exceso está vinculado a hipertensión y riesgos cardiacos (Dunteman y col., 2022). No obstante, la reducción del contenido de sal en la producción de productos reestructurados puede tener un impacto adverso en las propiedades gelificantes de las proteínas, lo cual se atribuye a una insuficiente solubilización de dichas proteínas (Ramírez y col., 2007).

Una alternativa para la incorporación de ingredientes tecno-funcionales sería el uso de harinas no convencionales, las cuales son aquellos productos pulverizados, obtenidos de fuentes distintas a los cereales tradicionalmente utilizados, como el trigo, el maíz o el arroz. Estas harinas no convencionales se obtienen a partir de semillas, granos, legumbres, tubérculos u otras fuentes vegetales o incluso insectos, y se utilizan como alternativas en la producción de alimentos para ampliar la diversidad de ingredientes, mejorar el valor nutricional y cumplir con las demandas de dietas específicas (Dini y col., 2012; Avendaño y col., 2020). Pueden tener perfiles de sabor, texturas y propiedades nutricionales únicas, en comparación con las harinas convencionales (Avendaño y col., 2020).

El consumo de insectos es una práctica alimenticia antigua y ampliamente extendida en

algunas regiones del mundo. En América Latina, África y Asia (FAO, 2021) se comen como platos separados o se agregan en formulaciones, por ejemplo, en forma de polvo. El alto valor nutricional, su reproducción rápida, las tasas elevadas de crecimiento y conversión de piensos, el uso de residuos agroalimentarios para su alimentación y un reducido impacto ambiental durante su ciclo de vida, han vuelto a los insectos comestibles, potenciales ingredientes funcionales para la formulación de alimentos con características nutricionales mejoradas y sostenibles (Apolo-Aréval y Iannaccone, 2015).

Los reportes sobre la cantidad total de proteínas de insectos comestibles en México supera al de las proteínas obtenidas de fuentes cárnicas convencionales como el pollo, huevo y res (Luperdi y col., 2022). El contenido de proteínas en los insectos varía de 25 % a 61 %, un contenido de grasa de 10 % a 50 %, ácidos grasos poliinsaturados, minerales (por ejemplo, hierro, selenio y zinc) y vitaminas (principalmente las del grupo B) (Pulido-Blanco y col., 2020). De acuerdo con el reporte del mercado de insectos comestibles, la proyección en México será de 607.5 millones de dólares (Urrejola, 2019). Sin embargo, la entomofagia, que es la práctica de la ingesta de insectos por los seres humanos (Luperdi y col., 2022), entre los consumidores occidentales todavía es limitada, porque el consumo de insectos como fuente de proteínas nunca ha jugado un papel importante de la cultura alimentaria (Bresciani y col., 2022). En ese sentido, Mlček y col. (2014) han sugerido que el uso de insectos enteros o partes de los mismos, que no sean directamente reconocibles en productos alimentarios, podría contribuir a aumentar la aceptabilidad de los insectos y la propensión a consumirlos. Lo anterior, usando los insectos como ingredientes en forma de polvo o harina para enriquecer los alimentos como: pan (Cappelli y col., 2020), botanas extruidas (Severini y col., 2018) o pastas (Çabuk y Yılmaz, 2020). El grillo (*Acheta domestica*) es un organismo relevante debido a su potencial en la dieta. Su capacidad de ser producido comer-

cialmente y valor nutricional lo hacen una opción atractiva (Arévalo-Arévalo y col., 2022). Aunque su consumo varía regionalmente, su creciente popularidad destaca su importancia alimentaria (Morales-Ramos y col., 2020).

El interés por el uso de pseudocereales en tecnologías alimentarias ha aumentado en los últimos años, debido a su valiosa composición nutricional, teniendo un alto contenido proteico (Dini y col., 2012). El amaranto se considera uno de los cultivos más prometedores para su cultivo, debido a su capacidad para resistir la escasez de agua, adaptarse a diferentes tipos de suelo, crecer rápidamente y tener un alto valor nutricional (Gebreil y col., 2020). El amaranto es reconocido por sus componentes nutricionales destacados, como su contenido de fibra dietética (11.10 %), proteínas (10.18 % a 29.35 %), ácidos grasos poliinsaturados (3.23 %), vitaminas (riboflavina: 0.19 % a 0.23 %, ácido ascórbico: 4.50 %, ácido fólico y vitamina E), minerales (calcio: 178 mg/100 g, magnesio: 248 mg/100 g, fósforo: 557 mg/100 g, potasio: 508 mg/100 g) y diversos compuestos bioactivos (fitonutrientes, saponinas, beta-linas) (Coțovanu y col., 2023). La producción de amaranto en México ha alcanzado un promedio de 6 000 T, con un valor aproximado de 72 millones de pesos. Aunque la forma más común de consumo es en forma de las golosinas denominadas “alegrías”, el uso del amaranto se ha diversificado y se ha incorporado en productos panificados y en preparaciones culinarias (Rojas-Rivas y col., 2020).

La inclusión de reestructurados de pescado y harinas no convencionales en la dieta humana puede mejorar la seguridad alimentaria, reducir la huella de carbono y fomentar la sostenibilidad. Además, estos ingredientes pueden ser utilizados en una amplia gama de productos alimenticios y adaptarse a los gustos y necesidades de los consumidores (Dini y col., 2012).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la incorporación de harinas no convencionales de amaranto (*Amaranthus* spp) y

grillo doméstico (*Acheta domesticus*) sobre las propiedades mecánicas y funcionales de reestructurado macabil (*Albula vulpes*) con diferentes niveles de cloruro de sodio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se adquirieron 5 kg de filete de macabil (*Albula vulpes*) fresco, no congelado, en un local del puerto de Paredón en Tonalá, Chiapas, México. Los filetes fueron transportados en una hielera y almacenados a < 4 °C en un refrigerador (marca Torrey, modelo R36L, Monterrey, Nuevo León, México), durante 12 h, hasta su uso para la elaboración de los reestructurados.

La harina de amaranto (HA) se obtuvo a partir de las semillas de amaranto comercial (marca Quali); 250 g de semillas fueron procesadas en equipo marca Nutribullet (modelo NB-101B, Capital Brands LLC, Los Angeles, CA, E.U.A) y se homogenizaron a máxima velocidad (potencia de 600 W) durante 1 min. Posteriormente se hizo pasar el producto por un tamiz de malla No. 50 para obtener un producto de consistencia fina y homogénea.

Se adquirió 1 kg de harina de grillo (HG) comercial (marca In Insect Nutrition, Querétaro, Querétaro, México). En la Tabla 1 se muestra el contenido nutrimental comercial.

Elaboración de reestructurados

Se utilizó la metodología reportada por Velazquez y col. (2021). Los filetes de macabil fueron colocados en un procesador de alimentos (Hamilton Beach Modelo 72860-Mx, Glen Allen, VA, E.U.A) para ser picados y mezclados con 0 %, 5 % o 10 % de las harinas no convencionales (amaranto o grillo) y con 0 %, 1 % y 2 % de cloruro de sodio. Posteriormente, la masa cárnica se embutió en tubos de acero inoxidable con rosca (2 cm de diámetro, 18 cm de longitud) utilizando una embutidora manual (Modelo Prototipo 1, CICATA-QRO, Querétaro, México). Se procedió a realizar una gelificación térmica sumergiendo los tubos con la masa cárnica en agua a 40 °C/30 min; después se depositaron los tubos en otro recipiente con

■ Tabla 1. Contenido nutrimental de las harinas no convencionales adicionadas a los reestructurados de macabil (*Albula vulpes*).

Table 1. Nutritional content of unconventional flours added to the restructured bonefish (*Albula vulpes*).

	Harina de grillo (%)*	Harina de amaranto (%)*
Proteína	69	16.4
Carbohidratos	12.4	66.6
Fibra	9.6	30.2
Grasa total	9.7	6.2

*De acuerdo a lo declarado por el fabricante.

agua a una temperatura de 90 °C/20 min; una vez finalizada esta etapa se sumergieron los tubos en un envase con agua fría (5 °C/20 min). Concluido el proceso térmico, los reestructurados de macabil se desmoldaron de los tubos en bolsas de plástico y se almacenaron a una temperatura de 4 °C/12 h. El grupo control corresponde a los reestructurados de macabil sin adición de las harinas no convencionales y con 0 % de cloruro de sodio.

Evaluación de la pérdida de agua por cocción

La determinación de la cantidad de agua liberada por calentamiento, sin aplicar fuerzas mecánicas externas a los reestructurados de macabil, se realizó de acuerdo con Nisov y col. (2020), haciendo algunas adecuaciones a la metodología propuesta. Las muestras fueron cortadas con dimensión de 2 cm de espesor y 2 cm de diámetro y también fueron pesadas (PI: peso inicial). Posteriormente, se introdujeron en una bolsa de polietileno y se cocieron a baño María a 90 °C/30 min; al finalizar el tratamiento térmico, las muestras de las bolsas, se retiraron para colocarse en una rejilla a 25 °C/10 min; y posteriormente se pesaron nuevamente (PF: peso final). La pérdida de agua por cocción se calculó aplicando la ecuación 1, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida por cocción} = [(PI-PF/PI)] * 100 \text{ (Eq. 1)}$$

Determinación del agua extraíble (AE)

Esta técnica permite una forma indirecta de medir la capacidad de retención de agua. Se siguió la metodología reportada por Martínez-Maldonado y col. (2018). Se tomaron muestras (de 3 g ± 0.1 g) de los reestructurados, los cuales se consideraron como PI; se envolvieron las muestras entre 5 pliegos de papel (15 cm x 15 cm). El envoltorio se colocó en tubo para centrifuga de 50 mL, se procedió a centrifugar en un equipo (modelo Hettich Rotofix 32-A, Tuttlingen, Alemania) a 3 660 rpm durante 5 min a 20 °C. Terminado este paso, las muestras fueron pesadas (PF). El cálculo del AE se realizó aplicando la ecuación 2. Se analizaron 4 muestras por tratamiento.

$$AE = [(PI-PF/PI)] * 100 \text{ (Eq. 2)}$$

Análisis de textura

Se realizó de acuerdo a la metodología reportada por Ramírez y col. (2007), con la finalidad de obtener los parámetros de dureza (N), cohesividad y masticabilidad. Los 4 diferentes reestructurados de macabil fueron cortados para obtener muestras de 2.5 cm de alto por 2 cm de diámetro. Posteriormente, las muestras fueron colocadas en un analizador de textura TA plus (Lloyd Instruments, Largo, FL, E.U.A), utilizando una sonda plana (diámetro de 2.5 cm). Se aplicó una compresión del 75 % de su altura inicial, usando una velocidad transver-

sal de 1 mm/s. Las evaluaciones se realizaron en 6 ocasiones para cada tratamiento.

Análisis estadístico

Se calculó el promedio y la desviación estándar. Para los datos obtenidos se utilizó el análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguida por una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$) usando el software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, E.U.A).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de agua por cocción

Se refiere al fenómeno mediante el cual una muestra cárnica experimenta una disminución de su contenido de humedad. La adición de NaCl permitió reducir significativamente ($P < 0.05$) la pérdida de agua en las muestras que no contienen HG o HA (Tabla 2), lo que indica la importancia de este aditivo para la textura final del producto. Reducir la pérdida de agua es una característica deseable, ya que incrementa el rendimiento y puede desempeñar un papel crucial en el

desarrollo del sabor y la textura adecuados del producto final (Tafadzwa y col., 2021). Las muestras elaboradas con harinas no convencionales presentaron una reducción significativa ($P < 0.05$) en la pérdida de agua, asociada con el nivel de harina añadida. En las que se utilizó HG se observó, en general, una mayor reducción en la pérdida de agua (61.97 %, con 1 % de sal), respecto a los productos elaborados con amaranto (49.09 % con 1 % de sal). El efecto fue dependiente, del nivel de sal adicionado.

Los resultados de este estudio están en concordancia a lo reportado por Tafadzwa y col. (2021), que indica que la HA puede ser utilizada como un agente ligante para la disminución de la pérdida de agua por cocción. Asimismo, Park y col. (2017) evaluaron el uso de harina de insecto (gusano de seda) en la elaboración de un producto cárnico a base de cerdo y consiguieron reducir la pérdida de agua por cocción hasta en un 15 %, comparado con el grupo control. El incremento o disminución

■ **Tabla 2. Efecto del tipo de harina y nivel de sal en la pérdida de agua cocción de los reestructurados de macabil.**

Table 2. Effect of the type of flour and level of salt in the water loss during cooking in bonefish restructured products.

Harina	(%)	NaCl (%)		
		0	1	2
Grillo	0	10.49 ± 0.20 ^{Aa}	7.89 ± 0.03 ^{Ab*}	7.04 ± 0.13 ^{Ac*}
	5	6.38 ± 0.03 ^{Ba*}	6.03 ± 0.02 ^{Ba*}	4.69 ± 0.02 ^{Bb*}
	10	4.96 ± 0.02 ^{Ca*}	4.89 ± 0.00 ^{Ca*}	3.04 ± 0.02 ^{Cb*}
Amaranto	0	11.47 ± 0.26 ^{Aa}	10.49 ± 0.20 ^{Ab}	7.89 ± 0.03 ^{Ac}
	5	7.04 ± 0.13 ^{Ba}	7.34 ± 0.03 ^{Ba}	5.89 ± 0.09 ^{Cb}
	10	6.37 ± 0.03 ^{Ca}	5.15 ± 0.08 ^{Cb}	4.22 ± 0.01 ^{Bc}

^{ab,c}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de harina (grillo o amaranto) para la misma concentración de NaCl.

^{A,B,C}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de adición de NaCl para el mismo nivel de concentración de harina (grillo o amaranto).

*Indica diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el tipo de harina (grillo o amaranto) para los mismos niveles de concentración de harina y NaCl.

en la pérdida de agua por cocción puede estar asociada al tipo de almidón y proteínas presentes en las HG o HA (Ramírez y col., 2011).

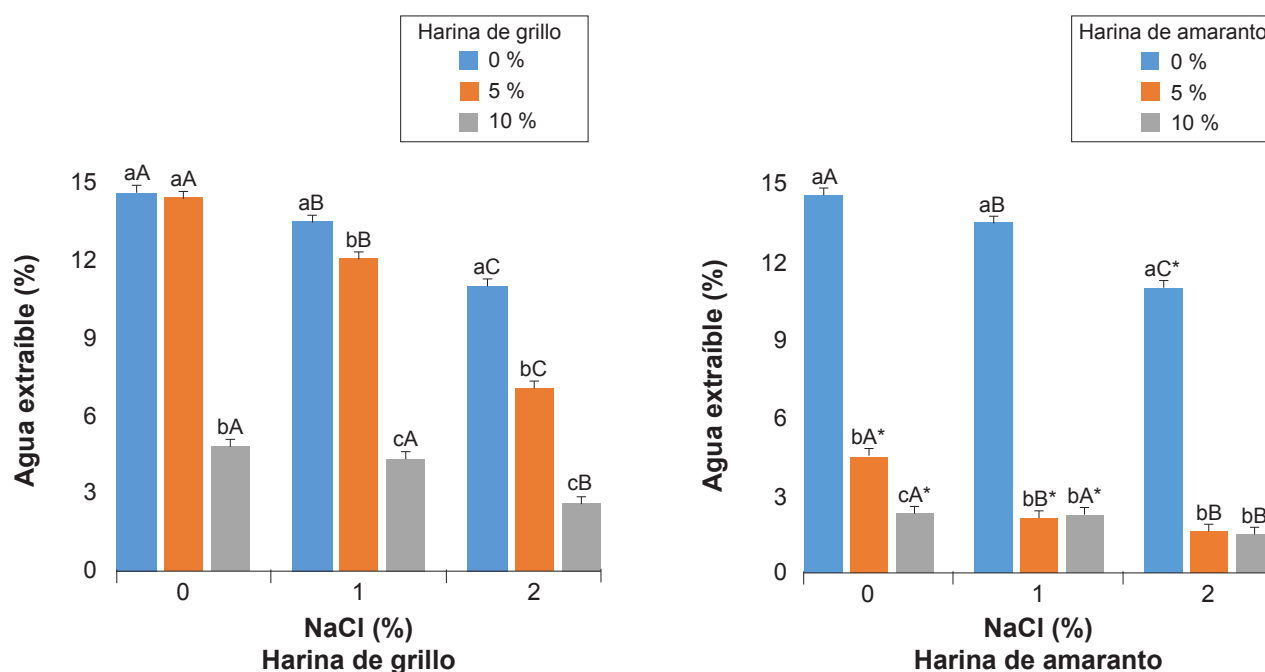
Los resultados obtenidos indican que las harinas no convencionales, utilizadas en la formulación de los productos reestructurados de pescado, pueden ayudar a retener la humedad del producto durante la cocción y reducir el contenido de NaCl necesario para su procesamiento.

Agua extraíble

La capacidad de retención de agua (CRA) está asociada con la función de las proteínas de retener el agua contra fuerzas externas. Una mayor CRA significa que el reestructurado tiene niveles bajos de agua extraíble (AE), lo cual indica que hay una fuerte asociación en-

tre las moléculas de agua y las de proteínas y otros constituyentes del alimento (Zheng y col., 2019).

El contenido de sal tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) en la cantidad de agua extraíble, lo que indica que mejoró su CRA (Figura 1). En los reestructurados adicionados con HG o HA, disminuyó significativamente ($P < 0.05$) conforme se incrementó el porcentaje de adición, comparadas con el control. El rango de AE para los reestructurados de macabil en los que se estudió el efecto de la HG disminuyó de 14.63 %, la muestra sin sal ni harina, a 2.6 %, en la muestra con 2 % de sal y 10 % de harina. Los reestructurados tratados con HA presentaron un rango de AE que varió de 14.63 % a 1.51 % en las muestras



^{a,b,c}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de harina (grillo o amaranto) para la misma concentración de NaCl.

^{A,B,C}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de adición de NaCl para el mismo nivel de concentración de harina (grillo o amaranto).

*Indica diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el tipo de harina (grillo o amaranto) para los mismos niveles de concentración de harina y NaCl.

■ **Figura 1. Efecto del tipo de harina y nivel de sal en el agua extraíble de los reestructurados de macabil.**

Figure 1. Effect of the type of flour and level of salt in the extractable water of the macabil restructured products.

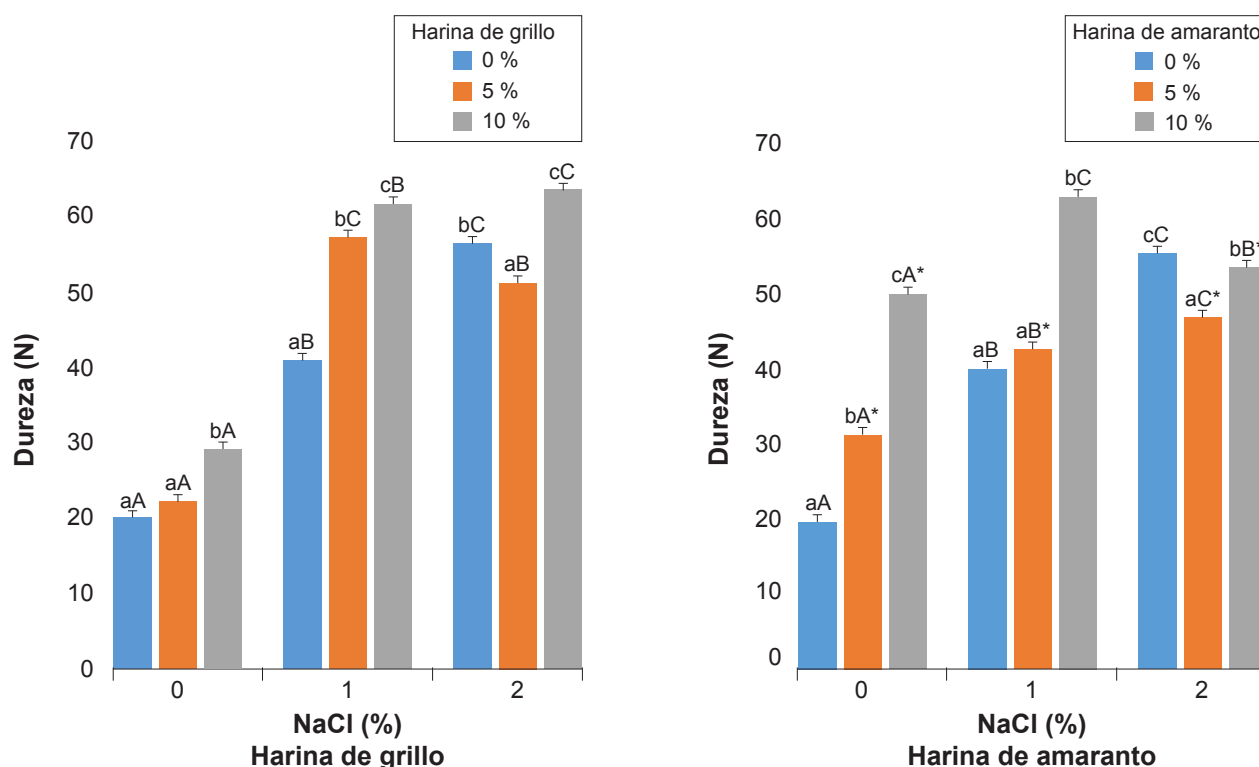
con las características mencionadas. En general, se obtuvo un menor porcentaje de agua extraíble con HA. En los tratamientos con 0 % y 1 % de sal, la HG al 5 % tuvo muy poco efecto en la reducción del AE, mejorando al 2 % de sal (quedando en un rango de 4.51 % a 1.50 %). La HA presentó una mayor eficiencia a esa concentración, que aumentó al incrementar el nivel de sal.

La variación del AE está asociada a las diferentes características de las harinas utilizadas, como sus constituyentes, tamaño del poro, área de la superficie, arreglo estructural y la naturaleza hidrofílica o hidrofóbica (Gentile, 2020). Asimismo, las concentraciones de NaCl

pueden afectar la retención de agua en la estructura de la matriz de proteínas, aumentando de esta forma la CRA. En este estudio existió un efecto combinado de la adición de las harinas no convencionales y el NaCl en la CRA, siendo más visible en la HA.

Dureza

La adición de sal incrementó la dureza de los reestructurados elaborados sin incorporación de harinas no convencionales (Figura 2), requiriendo 2 % de sal para alcanzar el valor máximo. Este comportamiento se asocia con la solubilización de las proteínas musculares, lo que facilita su posterior desplegamiento e in-



^{a,b,c}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de harina (grillo o amaranto) para la misma concentración de NaCl.

^{A,B,C}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de adición de NaCl para el mismo nivel de concentración de harina (grillo o amaranto).

*Indica diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el tipo de harina (grillo o amaranto) para los mismos niveles de concentración de harina y NaCl.

■ **Figura 2. Efecto del tipo de harina y nivel de sal en los valores de dureza de los reestructurados de macabil.**

Figure 2. Effect of the type of flour and level of salt in the hardness values of bonefish restructured products.

teracción durante la cocción, formando una red más estructurada (Ramírez y col., 2011). En los tratamientos sin sal (Figura 2), la incorporación de HG al 5 % o 10 % tuvo poco efecto en la dureza, en tanto que la HA incrementó notablemente ($P < 0.05$) este atributo textural en ambos niveles de adición. Las muestras con 1 % de sal, conteniendo 5 % o 10 % de HG presentaron valores de textura similares al alcanzado por las muestras con 2 % de sal sin adición de harinas no convencionales, indicando que esta harina puede usarse para disminuir la cantidad de sal requerida. La HA también incrementó la dureza en los tratamientos con 1 % de sal cuando se adicionó al 10 %. En las muestras de 2 % de sal, la incorporación de 5 % de cualquiera de las dos harinas tuvo un efecto negativo en la dureza, en tanto que, 10 % de HG mejoró este parámetro, no así la adición de HA. La adición de harinas no convencionales mejoró la dureza de los reestructurados de macabil elaborados con bajo contenido de sal (1 %). En el caso de la HA, la adición de 10 % de este ingrediente permitió obtener productos con adecuada, dureza incluso sin la adición de sal. Esto podría estar asociado con el tipo de configuración de las proteínas de amaranto, las cuales tienen alto porcentaje de estructuras β -plegadas y una alta temperatura de desnaturalización y formación de gel, que favorece la estructuración de un gel más rígido (Avanza y col., 2005; Shevkani y col., 2014); asimismo, durante el proceso de gelificación se puede llevar a cabo la interacción de proteína-polisacárido, en este caso el almidón, repercutiendo en la estabilidad de la estructura tridimensional del gel (Verma y col., 2019).

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Kim y col. (2017) y Somjid y col. (2022), quienes usaron HG en la elaboración de productos cárnicos emulsionados de cerdo y surimi de caballa, destacando un aumento en los valores de dureza a partir de la incorporación de 5 % de HG. La adición de HG o HA, permiten una estabilidad del gel proteico y su efecto debe estar relacionado con la

mejoría de algunas de las etapas de la gelificación de las proteínas musculares, que en productos de pescado se presenta en tres grandes etapas: la primera es la solubilización de proteínas por adición de NaCl; la segunda es el “setting”, que es una agregación proteica a temperaturas en el rango de 0 °C a 40 °C por tiempos variables de incubación (CIVEQ, HH-2, Ciudad de México), la cual es resultado de la activación de la transglutamisasa endógena (TGasa); y la etapa final denominada agregación térmica, inducida por la cocción del producto mediante sujeción a temperaturas cercanas a 90 °C, para evitar un rápido tránsito por la región de temperatura de 60 °C a 70 °C, que suele inducir un daño estructural denominado “modori”, causado por la acción de enzimas proteasas endógenas (Ramírez y col., 2011).

El efecto benéfico del uso de HG puede estar asociado a su alto contenido de proteína (69 %), superior al reportado para HA (16.4 %) (Tabla 1), lo que podría facilitar la formación de un gel más estructurado. Además de aumentar el contenido proteico, el efecto también podría estar asociado a la presencia de calcio, que puede mejorar la capacidad de gelificación de las proteínas de macabil (Kosečková y col., 2022). El Ca^{2+} iónico presente en la harina puede activar la TGasa del músculo del pescado. Esta enzima es la responsable del mejoramiento de la textura y actúa durante la etapa del “setting” (incubación a 40 °C/20 min), ya que cataliza la reacción de transferencia de acilo entre los grupos γ -carboxiamida de la glutamina y los grupos ϵ -amino de la lisina (Ding y col., 2011; Ramírez y col., 2011), lo que resulta en la formación de enlaces cruzados de ϵ -(γ -glutamil) lisina. Esta reacción se da entre cadenas proteicas adyacentes, que quedan ligadas covalentemente, con lo que se refuerza la red tridimensional que forma al gel en los reestructurados de macabil, induciendo altos valores de dureza.

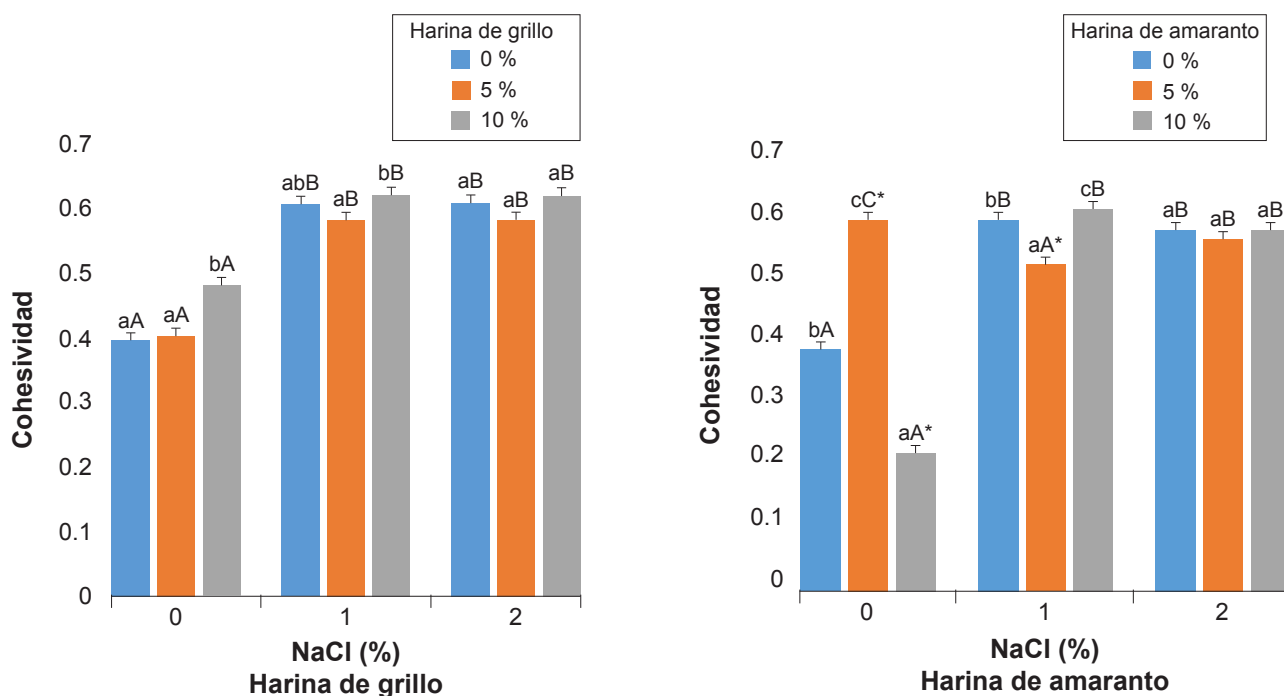
El incremento del valor de la dureza, por la adición de HA podría estar asociado con el tipo de configuración de las proteínas de

amaranto, más que con la concentración proteica, ya que estas tienen alto porcentaje de estructuras β -plegadas y una alta temperatura de desnaturalización y formación de gel, repercutiendo en la estructuración de un gel más rígido (Avanza y col., 2005; Shevkani y col., 2014). Asimismo, durante el proceso de gelificación se puede llevar a cabo la interacción de proteína-polisacárido, promoviendo la estabilidad de la estructura tridimensional del gel, lo anterior proveniente del almidón presente en el amaranto (Verma y col., 2019).

Cohesividad

Esta propiedad se asocia con el grado de deformación que pueden soportar los reestructurados antes de romperse, y está asociada con la fuerza de los enlaces intermoleculares

(Sun y col., 2018). El valor de cohesividad, en este estudio, en general, fue menor en los tratamientos con 0 % de NaCl, respecto a los tratamientos adicionados con 1 % y 2 % de NaCl ($P < 0.05$), donde los valores fueron similares (Figura 3). Estos datos indican que se requiere al menos 1 % de sal para obtener una estructura adecuada para formar el gel. En los reestructurados de macabil sin sal y adicionados con HG se necesitó 10 % de este ingrediente para mejorar la cohesividad ($P < 0.05$). En tanto que, en los productos con HA, el uso de 5 % incrementó este parámetro de textura ($P < 0.05$), mientras que adicionar 10 % tuvo un efecto disruptivo, alcanzando los valores más bajos del estudio. En las muestras con 1 % y 2 % de sal, el uso de 5 % o 10 % de harinas no



^{a,b,c}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de harina (grillo o amaranto) para la misma concentración de NaCl.

^{A,B,C}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de adición de NaCl para el mismo nivel de concentración de harina (grillo o amaranto).

*Indica diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el tipo de harina (grillo o amaranto) para los mismos niveles de concentración de harina y NaCl.

■ **Figura 3. Efecto del tipo de harina y nivel de sal en los valores de cohesividad de los reestructurados de macabil.**

Figure 3. Effect of the type of flour and level of salt in the cohesiveness values of the restructured bonefish products.

convencionales tuvo muy poco efecto en la cohesividad de los productos.

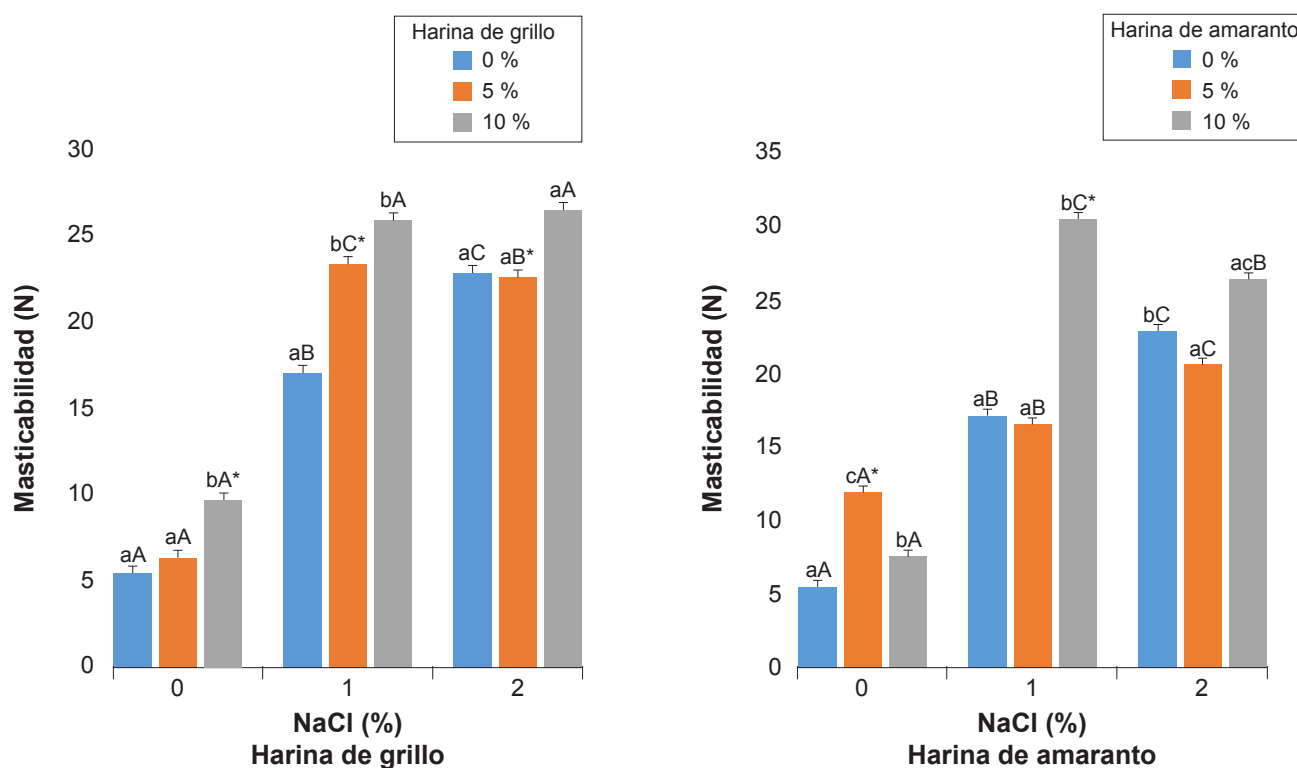
Los resultados obtenidos no concuerdan con los reportados por Verma y col. (2019), quienes usaron amaranto para la elaboración de un producto de carne de cabra y obtuvieron valores bajos de cohesividad comparados con el grupo control. Esto puede ser atribuido a ser dos sistemas musculares diferentes y al porcentaje utilizado (Debusca y col., 2014).

Masticabilidad

El parámetro de masticabilidad de los reestructurados de macabil, adicionados con HG (Figura 4), presentó valores significativamente

($P < 0.05$) mayores para el mismo nivel de NaCl (0 % y 1 %) al incrementar el nivel de harina, mientras para el nivel de 2 % de NaCl no se muestra diferencia entre la cantidad de harina adicionada. Sin embargo, los tratamientos de 1 % de NaCl, adicionados con 5 % o 10 % de HG muestran valores similares comparados con el grupo de 2 % de NaCl, lo cual indica que se puede usar un menor porcentaje de NaCl para la elaboración de reestructurados cuando son adicionados con harinas no convencionales.

Estos resultados sugieren que la HG y HA pueden contribuir a la conformación de una estructura proteica cohesiva y firme, asociada



^{a,b,c}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de harina (grillo o amaranto) para la misma concentración de NaCl.

^{A,B,C}Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos niveles de adición de NaCl para el mismo nivel de concentración de harina (grillo o amaranto).

*Indica diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el tipo de harina (grillo o amaranto) para los mismos niveles de concentración de harina y NaCl.

■ **Figura 4. Efecto del tipo de harina y nivel de sal en los valores de masticabilidad de los reestructurados de macabil.**

Figure 4. Effect of the type of flour and level of salt in the chewiness values of the restructured bonefish products.

al valor de dureza. La inclusión de harinas no convencionales en la producción de productos reestructurados de macabil puede desempeñar un papel fundamental como sistema de relleno de gel, en el cual los componentes de dichas harinas interactúan con las proteínas presentes en el macabil, generando una estructura robusta. Esto conduce a la formación de una red proteica tensa, lo que resulta en un aumento de la masticabilidad del producto.

CONCLUSIONES

La adición de harina de amaranto (*Amaranthus* spp) y harina de grillo (*Acheta domesticus*) permitió reducir significativamente la pérdida de agua durante la cocción, mejorando así la

retención de agua del producto final. La adición de NaCl influyó en la dureza y cohesividad de los productos, con variaciones en función de los porcentajes utilizados. La formulación con 10 % de harinas no convencionales y 1 % de sal se mostró prometedora, ya que ofreció una alternativa saludable y con propiedades texturales adecuadas para el consumo y la comercialización. Estos hallazgos resaltan la posibilidad de desarrollar productos reestructurados de pescado con un contenido nutrimental adecuado y una respuesta positiva a la creciente demanda de alimentos más saludables. Los resultados aportan una perspectiva valiosa al desarrollo de alimentos con bajo contenido de NaCl.

REFERENCIAS

- Apolo-Aréval, L. y Iannacone, J. (2015). Crianza del grillo (*Acheta domesticus*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia*. 17(17): 161-173.
- Arévalo-Arévalo, H., Vernot, D. y Barragán-Fonseca, K. (2022). Perspectivas de uso sostenible del grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus*) para la alimentación humana en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 69(3): 310-324.
- Avanza, M. V., Puppo, M. C., and Añón, M. C. (2005). Structural characterization of amaranth protein gels. *Journal of Food Science*. 70(3): E223-E229.
- Avendaño, C., Sánchez, M., Valenzuela, C., Avendaño, C., Sánchez, M. y Valenzuela, C. (2020). Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Revista Chilena de Nutrición*. 47(6): 1029-1037.
- Bresciani, A., Cardone, G., Jucker, C., Savoldelli, S., and Marti, A. (2022). Technological Performance of Cricket Powder (*Acheta domesticus* L.) in Wheat-Based Formulations. *Insects*. 13(6): 546.
- Çabuk, B. and Yılmaz, B. (2020). Fortification of traditional egg pasta (erişte) with edible insects: Nutritional quality, cooking properties and sensory characteristics evaluation. *Journal of Food Science and Technology*. 57: 2750-2757.
- Cappelli, A., Oliva, N., Bonaccorsi, G., Lorini, C., and Cini, E. (2020). Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour? *LWT*. 118: 108867.
- Chiesa, I. L., Sciocia, G., Leal, M. y Seco-Pon, J. P. (2019). Residuos en ambientes marinos: Un problema global y también fueguino. *La Lupa. Colección Fueguina de Divulgación Científica*. (15): 2-7.
- Coțovanu, I., Stroe, S. G., Ursachi, F., and Mironnea, S. (2023). Addition of amaranth flour of different particle sizes at established doses in wheat flour to achieve a nutritional improved wheat bread. *Foods*. 12(1): 133.
- Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S. K., Matlak, K. E., and Jaczynski, J. (2014). Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber. *Food Chemistry*. 148: 70-76.
- Dini, C., García, M. A., and Viña, S. Z. (2012). Non-traditional flours: frontiers between ancestral heritage and innovation. *Food & Function*. 3(6): 606-620.
- Ding, Y., Liu, Y., Yang, H., Liu, R., Rong, J., Zhao, S., and Xiong, S. (2011). Effects of CaCl₂ on chemical interactions and gel properties of surimi gels from two species of carps. *European Food Research and Technology*. 233: 569-576.
- Dunteman, A. N., McKenzie, E. N., Yang, Y., Lee, Y., and Lee, S. Y. (2022). Compendium of sodium reduction strategies in foods: A scoping review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food*

Safety. 21(2): 1300-1335.

FAO, Food and Agriculture Organization (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective. FAO. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cb4094en>. Fecha de consulta: 8 de abril de 2023.

FAO, Food and Agriculture Organization/FIDA, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola/OMS, Organización Mundial de la Salud/PMA, Programa Mundial de Alimentos/UNICEF, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (2022). Versión resumida de “El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022”. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma, FAO. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cc0640es>. Fecha de consulta: 6 de abril de 2023.

García-Sifuentes, C. O., Scheuren-Acevedo, S. M. y Zamorano-Apodaca, J. C. (2020). Explorando diferentes subproductos considerados como residuos por la industria pesquera en México. *Biotecnia*. 22(2): 61-69.

Gebreil, S. Y., Ali, M. I. K., and Mousa, E. A. M. (2020). Utilization of amaranth flour in preparation of high nutritional value bakery products. *Food and Nutrition Sciences*. 11(5): 336-354.

Gentile, L. (2020). Protein-polysaccharide interactions and aggregates in food formulations. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 48: 18-27.

Kim, H. W., Setyabrata, D., Lee, Y., Jones, O. G., Kim, and Y. H. B. (2017). Effect of house cricket (*Acheta domesticus*) flour addition on physicochemical and textural properties of meat emulsion under various formulations. *Journal of Food Science*. 82(12): 2787-2793.

Kosečková, P., Zvěřina, O., Pěchová, M., Krulíková, M., Duborská, E., and Borkovcová, M. (2022). Mineral profile of cricket powders, some edible insect species and their implication for gastronomy. *Journal of Food Composition and Analysis*. 107: 104340.

Luperdi, A. Z. N., Soto, M. E. N., Torres, B. P., Celis, H. C. A., and Alomia, L. A. T. (2022). Beneficios ambientales, nutricionales y económicos de la entomofagia en países hispanohablantes en los últimos 15 años: una revisión sistemática de literatura. *Revista de Ciencias Sociales y Sostenibilidad*. 2(1): 50-65.

Martínez-Maldonado, M. A., Ramírez-De-León, J. A., Méndez-Montealvo, M. G., Morales-Sánchez, E., and Velazquez, G. (2018). Effect of the cooking

process on the gelling properties of whole and minced jumbo lump of blue crab (*Callinectes sapidus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 27(4): 418-429.

MIček, J., Rop, O., Borkovcova, M., and Bednářová, M. (2014). A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe—a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 64(3): 147-157.

Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Dossey, A. T., and Berhow, M. (2020). Self-selection of food ingredients and agricultural by-products by the house cricket, *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae): A holistic approach to develop optimized diets. *PLoS One*. 15(1): e0227400.

Nisov, A., Aisala, H., Holopainen-Mantila, U., Alakomi, H. L., Nordlund, E., and Honkapää, K. (2020). Comparison of whole and gutted baltic herring as a raw material for restructured fish product produced by high-moisture extrusion cooking. *Foods*. 9(11): 1541.

ONU, Organización de las Naciones Unidas (2022). Informe de los objetivos de desarrollo sostenible 2022. [En línea]. Disponible en: https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022_Spanish.pdf. Fecha de consulta: 30 de marzo de 2023.

Park, Y. S., Choi, Y. S., Hwang, K. E., Kim, T. K., Lee, C. W., Shin, D. M., and Han, S. G. (2017). Physicochemical properties of meat batter added with edible silkworm pupae (*Bombyx mori*) and transglutaminase. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 37(3): 351.

Perez, A. U., Schmitter-Soto, J. J., Adams, A. J., Herrera-Pavon, R. L. (2019). Influence of environmental variables on abundance and movement of bonefish (*Albula vulpes*) in the Caribbean Sea and a tropical estuary of Belize and Mexico. *Environmental Biology of Fishes*. 102: 1421-1434.

Pickett, B. D., Wallace, E. M., Ridge, P. G., and Kawwe, J. S. (2020). Lingering taxonomic challenges hinder conservation and management of global bonefishes. *Fisheries*. 45(7): 347-358.

Pineda, W., Torres, J., Flores, M., Pomares, G., Pérez, A., Ospina, D., Ruiz E., and Montero, L. (2018). Production of Sausage from Macabí Fish Pulp. *IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research*. 3(1): 64-68.

Pires, D. R., Jamas, A. L. A., Amorim, E., Azevedo-Meleiro, C. H. D., Silva, P. P. D. O., and Oliveira, G. M.

- D. (2017). Chemical characterization of marine fish of low-commercial value and development of fish burgers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52: 1091-1098.
- Pulido-Blanco, V. C., González-Chavarró, C. F., Tapia-Polanco, Y. M. y Celis-Ruíz, X. M. (2020). Insectos: Recursos del pasado que podrían ser una solución nutricional para el futuro. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 24(2): 81-100.
- Ramírez, J. A., Del-Angel, A., Uresti, R. M., Velazquez, G., and Vázquez, M. (2007). Low-salt restructured products from striped mullet (*Mugil cephalus*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additives. *Food Chemistry*. 102(1): 243-249.
- Ramírez, J. A., Uresti, R. M., Velazquez, G., and Vázquez, M. (2011). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Food Hydrocolloids*. 25(8): 1842-1852.
- Reader, G. T. (2023). Access to Drinking Water, Food Security and Adequate Housing: Challenges for Engineering, Past, Present and Future. In D. SK., Ting, and A. Vassel-Behagh (Eds.), *Responsible Engineering and Living*. REAL 2022. Springer Proceedings in Energy. Springer,
- Ramos, M., Santos, R., Beldarrain, T., Nuñez-De-Villavicencio, M., De-Hombre, R. y Rodríguez, F. (2021). Productos reestructurados y envasados al vacío. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 31(2): 11-19.
- Rojas-Rivas, E., Espinoza-Ortega, A. y Thomé-Ortiz, H. (2020). Consumo e intención de compra de amaranto (*Amaranthus* sp.) en México; un grano ancestral con propiedades funcionales. *Agro Productividad*. 13(3).
- Sasidharan, A. and Venugopal, V. (2020). Proteins and co-products from seafood processing discards: Their recovery, functional properties and applications. *Waste and Biomass Valorization*. 11: 5647-5663.
- Severini, C., Azzollini, D., Albenzio, M., and De-rossi, A. (2018). On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*. 106: 666-676.
- Shevkani, K., Singh, N., Rana, J. C., and Kaur, A. (2014). Relationship between physicochemical and functional properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) protein isolates. *International Journal of Food Science & Technology*. 49(2): 541-550.
- Somjid, P., Panpipat, W., Cheong, L. Z., and Chaijan, M. (2022). Comparative effect of cricket protein powder and soy protein isolate on gel properties of indian mackerel surimi. *Foods*. 11(21): 3445.
- Sun, Y., Ma, L., Ma, M., Zheng, H., Zhang, X., Cai, L., ..., and Zhang, Y. (2018). Texture characteristics of chilled prepared Mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during storage. *International Journal of Food Properties*. 21(1): 242-254.
- Tafadzwa, M. J., Zvamaziva, J. T., Charles, M., Amiel, M., Pepukai, M., and Shepherd, M. (2021). Proximate, physico-chemical, functional and sensory properties OF quinoa and amaranth flour AS potential binders in beef sausages. *Food Chem*. 365: 130619.
- Tripathi, A. D., Mishra, R., Maurya, K. K., Singh, R. B., and Wilson, D. W. (2019). Estimates for world population and global food availability for global health. In R. B. Singh, R. R. Watson, and T. Takahashi (Eds.), *The role of functional food security in global health* (pp. 3-24). Academic Press.
- Tokay, F. G., Alp, A. C., and Yerlikaya, P. (2021). Production and shelf life of restructured fish meat binded by microbial transglutaminase. *LWT*. 152: 112369.
- Urrejola, J. (2019). México: El país líder de la revolución insectívora. DW (Deutsche Welle). Actualidad: Ciencia y Ecología. [En línea]. Disponible en: <https://www.dw.com/es/m%C3%A9xico-elpa%C3%ADs-l%C3%ADder-de-la-revoluci%C3%B3n-insect%C3%ADvora/a-50855360>. Fecha de consulta: 16 de junio de 2023.
- Valdespino-Sahagún, F. (2020). Aprovechamiento sostenible de hongos comestibles; hacia una seguridad alimentaria. *Meio Ambiente*. 2(5): 45-55.
- Velazquez, G., Méndez-Montevalvo, M. G., Welti-Chanes, J., Ramírez, J. A., and Martínez-Maldonado, M. A. (2021). Effect of high pressure processing and heat treatment on the gelation properties of blue crab meat proteins. *LWT*. 146: 111389.
- Verma, A. K., Rajkumar, V., and Kumar, S. (2019). Effect of amaranth and quinoa seed flour on rheological and physicochemical properties of goat meat nuggets. *Journal of food Science and Technology*. 56: 5027-5035.
- Zheng, H., Beamer, S. K., Matak, K. E., and Jaczynski, J. (2019). Effect of κ -carrageenan on gelation and gel characteristics of Antarctic krill (*Euphausia superba*) protein isolated with isoelectric solubilization/precipitation. *Food chemistry*. 278: 644-652.



"Maíz sin fermentar"



"Maíz fermentado"

Imágenes de: Ulises Ramírez-Esparza

Efecto de la fermentación en medio sólido sobre el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante del maíz

Effect of solid medium fermentation on total phenol content and antioxidant capacity of maize

Ulises Ramírez-Esparza, Emilio Ochoa-Reyes, Ramiro Baeza-Jiménez, José Juan Buenrostro-Figueroa*

RESUMEN

El maíz contiene un gran número de compuestos antioxidantes, muchos de ellos unidos a componentes de la pared celular, por lo que requieren tratamientos para liberarlos, como el uso de enzimas o procesos de fermentación. La fermentación en medio sólido (FMS) con *Rhizopus oryzae* se ha aplicado para aumentar la capacidad antioxidante (CA) y el contenido fenólico en cereales y leguminosas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la FMS con *R. oryzae* sobre la CA y el contenido de fenoles totales (CFT) del maíz. La FMS se realizó en bolsas zip-lock (25 cm²) a 30 °C/72 h, con un inóculo de 1 x 10⁶ esporas/g. Se tomaron muestras cada 12 h, el extracto se recuperó con etanol al 80 % y se utilizó para determinar el CFT y la CA (ensayo ABTS⁺, DPPH y FRAP). Los valores más altos se obtuvieron a las 60 h de cultivo, con un CFT de 1.92 mg/gramos de materia seca (gms) y una CA de 1.47 mg de equivalentes Trolox por gramo de materia seca (mg ET/gms), 1.27 mg ET/gms y 5.8 mg Fe⁺²/gms para los ensayos de ABTS⁺, DPPH y FRAP, respectivamente. El uso de FMS permitió aumentar hasta 0.83 y 1.25 veces el CFT y la CA del maíz, con respecto al tiempo 0 h. El maíz fermentado con *R. oryzae* mostró potencial para ser empleado como materia prima para el desarrollo de alimentos funcionales, al incrementar su CA a través de un bioproceso.

PALABRAS CLAVE: bioproceso, *Rhizopus oryzae*, antioxidantes, fermentación en medio sólido.

ABSTRACT

Maize contains a large number of antioxidant compounds. However, many of them are not in free form, as they are bound to components of the cell wall of maize kernels. For this reason, the use of treatments is required to release them, such as the use of enzymes or fermentation processes. Fermentation in solid medium (FMS) with *Rhizopus oryzae* has been applied to increase the antioxidant capacity (AC) and phenolic content in cereals and legumes. The objective of the present work was to evaluate the effect of FMS with *R. oryzae* on AC and total phenolic content (TPC) of maize. Fermentation on solid medium was carried out in zip-lock bags (25 cm²) at 30 °C for 72 h, with an inoculum of 1 x 10⁶ spores/g. Samples were taken every 12 h, the extract was recovered with 80% ethanol, and used to determine TPC and AC (ABTS⁺, DPPH and FRAP assay). The highest values were obtained at 60 h of culture, with a TPC of 1.92 mg/gram dry matter (gdm) and an AC of 1.47 mg TE/gdm, 1.27 mg TE/gdm and 5.8 mg Fe⁺²/gdm for the ABTS⁺, DPPH and FRAP assays, respectively. The use of FMS allowed to increase up to 0.83 and 1.25 times the CFT and CA of corn, with respect to time zero. Corn fermented with *R. oryzae* showed potential to be used as a raw material for the development of functional foods, by increase its AC through a bioprocess.

KEYWORDS: bioprocess, *Rhizopus oryzae*, antioxidants, solid-state fermentation.

*Correspondencia: jose.buenrostro@ciad.mx/Fecha de recepción: 30 de abril de 2023/Fecha de aceptación: 6 de noviembre de 2023/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Grupo de Biotecnología y Bioingeniería, Avenida 4a sur número 3828, fraccionamiento Vencedores del Desierto, Delicias, Chihuahua, México, C. P. 33089.

INTRODUCCIÓN

El maíz ha sido la base de la alimentación desde los pueblos prehispánicos (Cuevas-Mejía, 2014). Dentro de las 220 variedades de maíz que se han descrito en América Latina (Sierra-Macías y col., 2014), se encuentran los maíces pigmentados, los cuales contienen una alta cantidad de compuestos antioxidantes (Bello-Pérez y col., 2016; Bei y col., 2017), que contribuyen en la prevención y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, cáncer y diabetes, entre otras (Gul y col., 2016).

Se han reportado diversos compuestos fenólicos en maíces, como cianidina-3-glucósido, peltargonidina-3-glucósido, ácido 2,4,6-trihidroxibenzoico, ácido *p*-cumárico o ácido *p*-hidroxicinámico, ácido cafeico, apigenina-*O*-hexosido, luteolina-*O*-rutinosido (Lao y Giusti, 2017; Hernández y col., 2018). Sin embargo, muchos de estos compuestos no están de forma libre, sino ligados a componentes de la pared celular de las plantas (Streimikyte y col., 2022), por lo que se requieren tratamientos que permitan liberarlos, como el uso de enzimas o procesos de fermentación.

Durante la fermentación se presentan cambios en los niveles de compuestos fenólicos, debido a la acción de enzimas (celulasas, hemicelulasas, xylanasas, pectinasas, proteasas, entre otras) producidas durante la fase de crecimiento de los microorganismos (Huynh y col., 2014). Estas enzimas rompen los componentes químicos de la pared celular, resultando en una hidrólisis de los enlaces que unen a los compuestos fenólicos a la pared celular (Alves-Magro y de-Castro, 2020), logrando así liberar los compuestos antioxidantes.

Dentro de los microorganismos más utilizados en la fermentación en medio sólido (FMS), se encuentran los hongos filamentosos, de los cuales, el género *Rhizopus* es uno de los más usados, pertenece a la clase *Fitomicetos*, orden *Mucolales*, familia *Mucoraceae* (Ibarruri y Hernández, 2018; Aoki y col., 2020). *R. oligosporus*, *R. stolonifer* y *R. oryzae* son generalmente reconocidos como seguros (GRAS, por sus

siglas en inglés: Generally Recognized As Safe), de acuerdo a la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés: Food and Drug Administration), y pueden ser usados para consumo en humanos (Cantabrana y col., 2015). Entre las características por las que este género de hongo es interesante para la aplicación en alimentos, destacan el que crece a un rango amplio de temperatura (7 °C a 45 °C), y que durante su crecimiento produce hidrolasas como amilasas, proteasas y lipasas, que pueden ayudar a incrementar la biodisponibilidad de nutrientes al realizar una hidrólisis en los componentes de la pared celular del material vegetal (Ghosh y Ray, 2011; Cantabrana y col., 2015).

Se ha reportado que la FMS de maíz ha sido utilizada para la obtención de enzimas como la celulasa (Yoon y col., 2014), compuestos bioactivos como la monacolina K (Zhang y col., 2018), la cual reduce los niveles de colesterol-LDL y ácido cítrico (Tong y col., 2023). Sin embargo, existen muy pocos estudios sobre su empleo junto a *R. oryzae* para la obtención de compuestos fenólicos a partir del maíz o de su potencial como materia prima para el desarrollo de alimentos funcionales.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la FMS sobre la liberación de compuestos fenólicos con capacidad antioxidante a partir de granos de maíz utilizando *R. oryzae*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos

El agar papa dextrosa fue adquirido en BD-BIOXON®. El ácido clorhídrico, ácido acético glacial, *n*-butanol, etanol y metanol absolutos, fueron obtenidos en J. T. Baker®. El DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), ABTS⁺ (2, 2'-Azino-bis-3-etil-benzo-tiazolina-6-acido sulfónico), persulfato de potasio (K₂S₂O₈), Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico, 97 %), TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina), cloruro férrico, catequina, sulfato férrico de amonio, reactivo de Folin-Ciocalteu, ácido gálico (AG), sulfato de hierro y carbonato de sodio fueron adquiridos en Sigma Chemical Co.

Microorganismo

Se utilizó la cepa *R. oryzae* (Colección Departamento de Investigación en Alimentos-Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, México). El microorganismo se conservó en una solución crioprotectora a -20 °C (leche descremada; glicerol; 9:1). Las esporas se activaron en agar papa dextrosa a 30 °C/7 d, posteriormente se colectaron con Tween-80 (0.01 %) y se realizó un conteo en un hematocitómetro (Brand, Alemania).

Material vegetal

Los granos de maíz (*Zea mays*) fueron adquiridos en un local comercial en Delicias, Chihuahua, México, en marzo de 2022. Se llevaron al Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Delicias, donde se descartaron los granos quebrados, y los seleccionados se desinfectaron mediante radiación ultravioleta (UV) durante 30 min, y se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) en contenedores herméticos hasta su uso.

Fermentación en medio sólido

Después de remojar los granos durante 24 h, se cocieron en agua hasta reventar, se retiraron, se esterilizaron a 121 °C/15 min y se dejaron enfriar a temperatura ambiente (25 °C). Para la FMS, se colocaron 12 g de maíz en bolsas de polipropileno (25 cm²) resellables, se inocularon con 1×10^6 esporas/g de soporte en condiciones de asepsia y se incubaron a 30 °C/72 h. Los extractos fueron recuperados y extraídos cada 12 h. Para la extracción, se tomaron 4 g de muestra húmeda, y se mezclaron con 20 mL de etanol al 80 % (relación m/v 1:5) durante 5 min, y se filtraron a vacío. Los extractos obtenidos se congelaron a -20 °C hasta su análisis.

Contenido de fenoles totales hidrolizables

El contenido fenólico total hidrolizable (CFTH) se determinó usando el método de Folin-Ciocalteu, de acuerdo con lo reportado por Wong-Paz y col. (2014). Se mezclaron 20 µL del extracto con 20 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu. Después de 5 min, se añadieron 20 µL de carbonato de sodio (0.01 M) y se dejó reposar

la mezcla durante 5 min. Finalmente, la solución se diluyó con 125 µL de agua destilada y se registró la absorbancia (790 nm) en un lector de microplaca (Thermo Scientific, Multiskan Go, Vantaa, Finlandia). Se realizó una curva estándar de ácido gálico (0 mg/L a 200 mg/L; $3.6125x$; $R^2 = 0.995$), y se expresaron los resultados como equivalentes de ácido gálico por gramo de materia seca (mg EAG/gms).

Contenido de fenoles totales condensados

Se determinó el contenido de fenoles totales condensados (CFTC) de acuerdo con la técnica reportada por Hernández y col. (2017) adaptada a microplaca. Se mezclaron en tubos de tapa roscada 250 µL de la muestra, 1.5 mL de HCl-n-Butanol (1:9 v/v) y 50 µL de reactivo férrico (1 mL HCl concentrado, 2 g de sulfato férrico de amonio y aforado a 5 mL con agua destilada) y se calentaron los tubos en baño de ebullición a 100 °C/40 min. Los tubos se enfriaron hasta llegar a temperatura ambiente (25 °C), se tomaron 200 µL de cada tubo y se registró la absorbancia a 460 nm, utilizando un lector de microplaca. Los resultados se expresaron en equivalentes de catequina por gramo de materia seca (mg EC/gms), empleando una curva patrón de catequina (0 mg/L a 1 000 mg/L; $y = 0.2794x$; $R^2 = 0.993$).

Contenido de fenoles totales

El CFT se obtuvo como la suma del CFTH y el CFTC, y se expresó como mg/gms.

Capacidad antioxidante por el ensayo DPPH

Se basa en la aceptación de un electrón o átomo de hidrógeno por el radical 2,2-difenil-1-picril-hidracilo (DPPH), ocasionando su reducción por acción de los antioxidantes presentes en la muestra. Se utilizó el ensayo reportado por Molyneux (2004), adaptado a microplaca. Se mezclaron 7 µL del extracto con 193 µL de solución de DPPH (60 µM), se dejó reposar 30 min y se registró la absorbancia a 517 nm en un lector de microplacas. El resultado se expresó como equivalentes de Trolox por gramo de materia seca (mg ET/gms) empleando una curva estándar de Trolox (0 mg/L a 200 mg/L; $y = 3.5516x$; $R^2 = 0.9864$).

Capacidad antioxidante por ensayo ABTS⁺

Se basa en la cuantificación del decoloramiento del radical ABTS⁺ [ácido 2,2'-acínobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)] por efecto de su reducción debido a la acción de los antioxidantes presentes en la muestra. Se realizó con base en lo reportado por Torres-León y col. (2019), adaptado a microplaca. Se preparó el radical ABTS⁺ mezclando 2.45 mL de ABTS⁺ 7 mM y 12.5 mL de persulfato de potasio (K₂S₂O₈) 2.45 mM y se incubó la solución en oscuridad por 16 h. Posteriormente, se ajustó la absorbancia a 0.7 ± 0.2 a una longitud de onda de 734 nm. Para el ensayo, se mezclaron 10 µL de muestra y 190 µL del radical ABTS⁺. Pasado 1 min de reacción, se registró la absorbancia en un lector de microplaca. El resultado se expresó como equivalentes de Trolox por gramo de materia seca (mg ET/gms) empleando una curva estándar de Trolox (0 mg/L a 200 mg/L; $y = 3.5515x$; $R^2 = 0.9857$).

Capacidad antioxidante por ensayo FRAP

A diferencia del análisis por DPPH y ABTS⁺, que evalúan la capacidad de la muestra para neutralizar radicales libres, el análisis de la capacidad de reducción férrica del plasma (FRAP, por sus siglas en inglés: ferric reducing ability of plasma) se basa en el principio de que los antioxidantes son sustancias capaces de reducir el ion férrico al ion ferroso, es decir, evalúa la capacidad reductora mediante un mecanismo de transferencia de electrones (Mercado-Mercado y col., 2013) y a su vez simula las condiciones de un sistema biológico (Benzie y Strain, 1996).

Se determinó de acuerdo con Alvarez-Parrilla y col. (2005), adaptado a microplaca. El reactivo FRAP se preparó mezclando 50 mL de una solución buffer de acetatos 0.3 M y pH 3.6, 5 mL de una solución 2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) 10 mM y 5 mL de una solución de cloruro férrico. La solución se mezcló y se dejó reposar a 37 °C/30 min. Para el ensayo se mezclaron 18 µL de agua, 6 µL del extracto y 180 µL de solución FRAP, se dejó reposar a 37 °C/1 h y se registró la absorbancia

a 595 nm en un lector de microplaca. Los resultados se expresaron como mg Fe⁺²/gms utilizando una curva estándar de sulfato de hierro (0 mg/L a 800 mg/L; $y = 1.2721x$; $R^2 = 0.004$).

Análisis estadístico

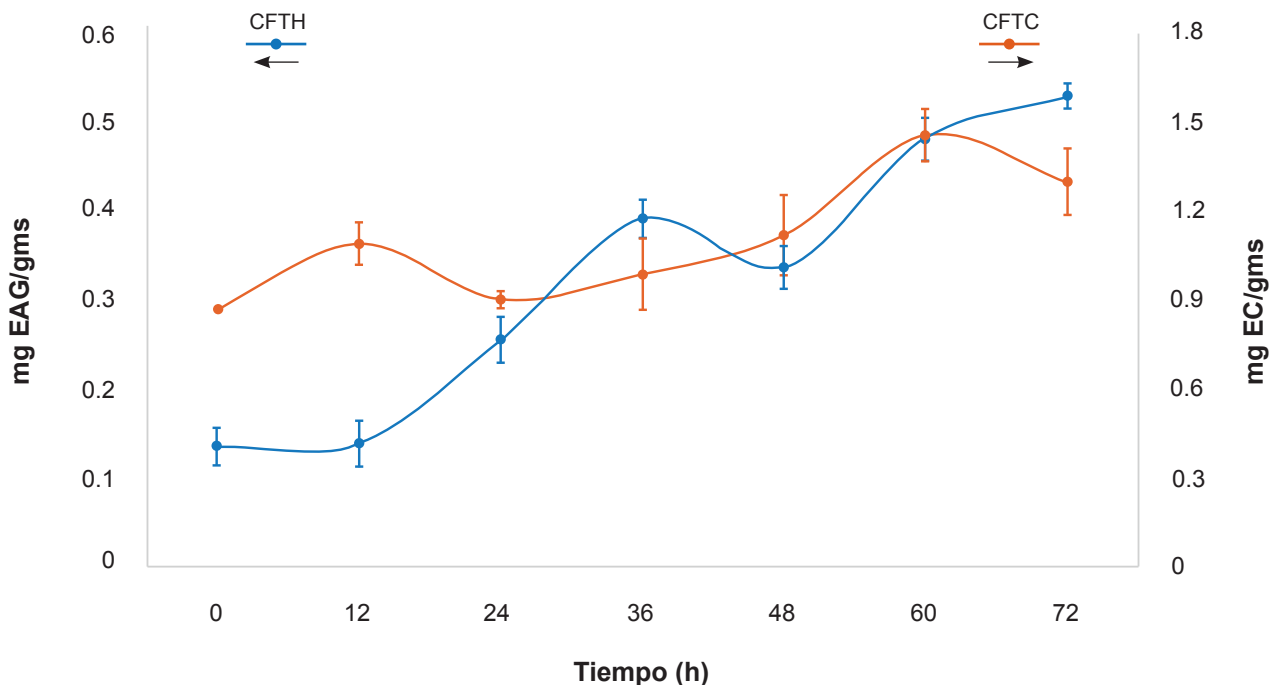
Se trabajó con un diseño completamente al azar para determinar el efecto del tiempo de fermentación sobre el CFT y capacidad antioxidante (CA) del maíz; cada tratamiento se evaluó por triplicado, y se reportó el promedio y su desviación estándar. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de diferencia mínima significativa (LSD, por sus siglas en inglés: Least significant difference) ($P \leq 0.05$) para establecer las diferencias significativas entre tratamientos, empleando el programa Statistica 7.0 (Stat Soft, Tulsa, Ok, EUA).

Para el análisis de la asociación entre el CFT y la CA se empleó los coeficientes de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fermentación en medio sólido

El CFTC, después de un incremento inicial durante las primeras 12 h, mostró un decremento de 0.18 mg EC/gms en comparación con el tiempo anterior (Figura 1). Posteriormente volvió a aumentar (aunque presentó otra breve fase de disminución después de las 60 h) para alcanzar un incremento total a las 60 h de 0.58 mg EC/gms con respecto al tiempo inicial (0 h). El CFTH, que empezó a aumentar después de las 12 h, mostró un decremento en su contenido, posterior a las 36 h con un incremento global de 0.39 mg EAG/gms respecto al tiempo inicial. Chen y col. (2021), reportaron un comportamiento similar en un proceso de FMS con varios microorganismos y maíz blanco, al aumentar el contenido de fenoles en el material fermentado de hasta 1.25 veces. Así mismo, Buenrostro-Figueroa y col. (2017), utilizando *R. oryzae* e higo, lograron incrementar el contenido de fenoles hasta 4.93 veces. Estos aumentos se deben a la acción de las enzimas celulasas, xylanases, lipasas, proteasas y amilasas, producidas por el microorganismo durante el proceso de fermentación.



■ Figura 1. Contenido de fenoles totales hidrolizables y condensados en fracciones fenólicas de maíz fermentado.

Figure 1. Content of hydrolysable and condensed total phenols in phenolic fractions of fermented maize.

tación (López y col., 2010; Darman y col., 2011; Kaur y col., 2015; Behnam y col., 2016).

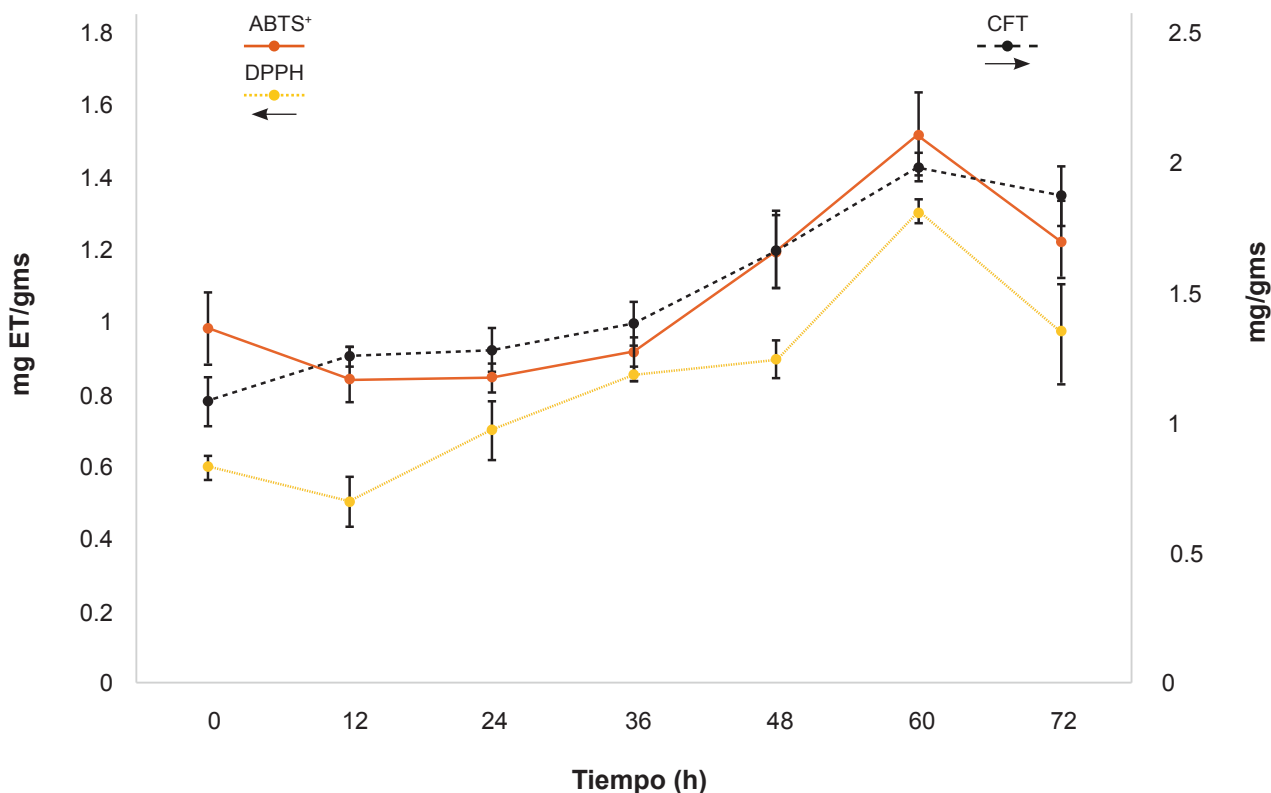
El valor más alto de CFT se obtuvo a las 60 h, con un incremento de 0.83 veces con respecto al tiempo 0 h (Figura 2) (Tabla 1). Estos resultados son 1.31 veces superiores a los reportados por Sánchez-Magaña y col. (2019), al mismo tiempo de fermentación en granos de maíz variedad Pioneer utilizando *R. oligosporus*. El tiempo de máxima CFT coincide con lo documentado por Buenrostro-Figueroa y col. (2017) para la FMS de cáscara de higo con *R. oryzae*, donde pasadas las 60 h disminuyó el CFT, lo cual se puede atribuir a la degradación de los compuestos por enzimas del mismo hongo (Starzyńska-Janiszewska y col., 2021).

Capacidad antioxidante

El proceso de FMS de maíz empleando *R. oryzae* presentó un efecto significativo sobre la CA a las 60 h (Tabla 1) (Figura 2). El proceso

de fermentación aumentó considerablemente la CA del maíz en el ensayo ABTS⁺, 0.55 veces, comparado con el tiempo 0 h de proceso, mientras que en las mismas condiciones, la FMS frente al radical DPPH incrementó 1.19 veces y para el análisis FRAP aumentó 1.25 veces, con respecto al tiempo 0. Dichos incrementos están relacionados con la liberación de compuestos fenólicos durante el proceso de fermentación (Bei y col., 2017).

Diversos estudios han demostrado el efecto positivo de la FMS sobre el incremento en la CA. Queiroz-Santos y col. (2018), reportaron un aumento de 1.7 veces de la CA (DPPH) en granos de soya fermentados con *Saccharomyces cerevisiae*. En orujo de uva sometido a FMS con *R. oryzae*, Leite y col. (2019), registraron un incremento de 2.7 veces la CA en relación al material no fermentado. Wu y col. (2022) desarrollaron un proceso de FMS utilizado avena como sustrato, empleando como inóculo una mezcla de *Lactobacillus planta-*



■ Figura 2. Contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante durante la fermentación de granos de maíz.

Figure 2. Total phenol content and antioxidant capacity during fermentation of maize grains.

■ Tabla 1. Efecto de la FMS en maíz con *R. oryzae* sobre CFT y CA.

Table 1. Effect of FMS in maize with *R. oryzae* on CFT and CA.

Tiempo	ABTS ⁺ (mgET/gms)	DPPH (mgET/gms)	FRAP (mgFe ⁺² /gms)	CFT (mg/gms)
0	0.95 ± 0.09 ^b	0.58 ± 0.03 ^b	2.39 ± 0.17 ^b	1.05 ± 0.09 ^b
60	1.47 ± 0.111 ^a	1.27 ± 0.13 ^a	5.38 ± 0.20 ^a	1.92 ± 0.05 ^a

^{a,b} Letras distintas indican diferencia significativa entre el tiempo de fermentación para un mismo tipo de ensayo.

tum y *R. Oryzae*, y reportaron incrementos en la CA del material fermentado después de 72 h, con valores de 2.04, 2.10 y 2.72 veces superiores comparado al material sin fermentar. Esos resultados, si bien fueron más altos al del presente estudio, mostraron una tendencia similar a aumentar la CA del producto fermentado.

Finalmente, se observó una fuerte correlación entre el CFT y la actividad antioxidante en los tres ensayos evaluados (DPPH, ABTS⁺ y FRAP) (Tabla 2), lo cual confirma que el aumento de la CA se debe al aumento de los FT liberados durante el proceso de FMS con *R. oryzae*.

■ Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson para la asociación entre las variables de contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante.

Table 2. Pearson correlation coefficients for the association between the variables of total phenolic content and antioxidant capacity.

	ABTS ⁺	DPPH	FRAP	CFT
ABTS ⁺	1	0.87*	0.79*	0.77*
DPPH		1	0.91*	0.78*
FRAP			1	0.88*
CFT				1

*P < 0.000 1.

CONCLUSIONES

El proceso de fermentación en medio sólido con *R. oryzae* mostró ser un método simple y eficaz para incrementar el contenido de fenoles totales (CFT) y la capacidad antioxidante (CA) del maíz, ya que mejoró el valor biológico del cereal, al incrementar hasta 0.83 y 1.25 veces el CFT y CA del maíz, respectivamente, a las 60 h de proceso. El grano bioprocesado muestra potencial para ser empleado como materia prima en el desarrollo de alimentos funcionales, debido a su propiedad antioxidante. Se requieren estudios adicionales que permitan evidenciar el incremento en el valor funcional del maíz bioprocesado con *R. oryzae*.

AGRADECIMIENTOS

Ulises Ramírez agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada (CVU No. 1151315) y al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) por las facilidades otorgadas para el desarrollo del estudio.

DECLARACIÓN DE INTERESES

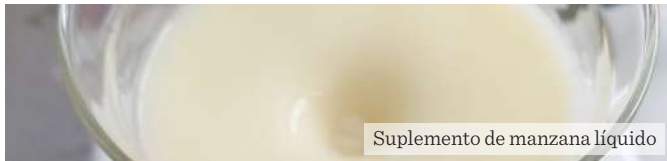
Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Alvarez-Parrilla, E., Rosa, L. A. D. L., Torres-Rivas, F., Rodrigo-García, J., and González-Aguilar, G. A. (2005). Complexation of apple antioxidants: chlorogenic acid, quercetin and rutin by β -Cyclodextrin (β -CD). *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 53(1): 121-129.
- Alves-Magro, A. E. and de-Castro, R. J. S. (2020). Effects of solid-state fermentation and extraction solvents on the antioxidant properties of lentils. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 28: 101753.
- Aoki, H., Chuma, S., Iba, Y., Tashiro, H., Watanabe, N., and Oyama, H. (2020). Comparison of bioactive components in tempeh produced by three different *Rhizopus* starters and immunomodulatory effect of tempeh on atopic dermatitis mice. *Food Science and Technology Research*. 26(5): 665-672.
- Behnam, S., Karimi, K., Khanahmadi, M., and Salimian, Z. (2016). Optimization of xylanase production by *Mucor indicus*, *Mucor hiemalis*, and *Rhizopus oryzae* through solid state fermentation. *Biological Journal of Microorganisms*. 16: 1-10.
- Bei, Q., Liu, Y., Wang, L., Chen, G., and Wu, Z. (2017). Improving free, conjugated, and bound phenolic fractions in fermented oats (*Avena sativa* L.) with *Monascus anka* and their antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*. 32: 185-194.
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E. y Utrilla-Coello, R. G. (2016). Aspecto

- nutracéuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*. 50(8):1041-1063.
- Benzie, I. F. and Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem*. 239(1): 70-76.
- Buenrostro-Figueroa, J. J., Velázquez, M., Flores-Ortega, O., Ascacio-Valdés, J. A., Huerta-Ochoa, S., Aguilar, C. N., and Prado-Barragán, L. A. (2017). Solid state fermentation of fig (*Ficus carica* L.) by-products using fungi to obtain phenolic compounds with antioxidant activity and qualitative evaluation of phenolics obtained. *Process Biochemistry*. 62: 16-23.
- Cantabrana, I., Perise, R., and Hernández, I. (2015). Uses of *Rhizopus oryzae* in the kitchen. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2(2): 103-111.
- Chen, G., Chen, B., and Song, D. (2021). Comicrobiological regulation of phenolic release through solid-state fermentation of corn kernels (*Zea mays* L.) to improve their antioxidant activity. *LWT*. 142: 111003.
- Cuevas-Mejía, J. d. J. (2014). Maíz: Alimento fundamental en las tradiciones y costumbres mexicanas. *Pasos Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*. 12(2): 425-432.
- Darman, R. D., Ngang, J., and Etoa, F. (2011). Cassava solid-state fermentation with a starter culture of *Lactobacillus plantarum* and *Rhizopus oryzae* for cellulase production. *African Journal of Microbiology Research*. 5(27): 4866-4872.
- Ghosh, B. and Ray, R. R. (2011). Current commercial perspective of *Rhizopus oryzae*: a review. *Journal of Applied Science*. 11(14): 2470-2486.
- Gul, K., Singh, A. K., and Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and functional foods: The foods for the future world. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56(16): 2617-2627.
- Hernández, C., Ascacio-Valdés, J., De-la-Garza, H., Wong-Paz, J., Aguilar, C. N., Martínez-Ávila, G. C., ..., and Aguilera-Carbó, A. (2017). Polyphenolic content, *in vitro* antioxidant activity and chemical composition of extract from *Nephelium lappaceum* L. (Mexican rambutan) husk. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 10(12): 1201-1205.
- Hernández, M., Ventura, J., Castro, C., Boone, V., Rojas, R., Ascacio-Valdés, J., and Martínez-Ávila, G. (2018). UPLC-ESI-QTOF-MS2-Based identification and antioxidant activity assessment of phenolic compounds from red corn cob (*Zea mays* L.). *Molecules*. 23(6): 1425.
- Huynh, N. T., Van-Camp, J., Smagghe, G., and Raes, K. (2014). Improved release and metabolism of flavonoids by steered fermentation processes: A review. *International Journal of Molecular Sciences*. 15(11): 19369-19388.
- Ibarruri, J. and Hernández, I. (2018). *Rhizopus oryzae* as fermentation agent in food derived sub-products. *Waste and Biomass Valorization*. 9(11): 2107-2115.
- Kaur, H., Arora, M., Bhatia, S., and Alam, M. (2015). Optimization of α -amylase and glucoamylase production in solid state fermentation of deoiled rice bran (DRB) by *Rhizopus oryzae*. *Int J Pure App Biosc*. 3: 249-256.
- Lao, F. and Giusti, M. M. (2017). The effect of pigment matrix, temperature and amount of carrier on the yield and final color properties of spray dried purple corn (*Zea mays* L.) cob anthocyanin powders. *Food Chemistry*. 227: 376-382.
- Leite, P., Silva, C., Salgado, J. M., and Belo, I. (2019). Simultaneous production of lignocellulolytic enzymes and extraction of antioxidant compounds by solid-state fermentation of agro-industrial wastes. *Industrial Crops and Products*. 137: 315-322.
- López, E., Deive, F. J., Longo, M. A., and Sanromán, M. A. (2010). Strategies for utilisation of food-processing wastes to produce lipases in solid-state cultures of *Rhizopus oryzae*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 33(8): 929-935.
- Mercado-Mercado, G., Rosa-Carrillo, L. d. l., Wall-Medrano, A., López-Díaz, J. A. y Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*. 28: 36-46.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*. 26(2): 211-219.
- Queiroz-Santos, V., Nascimento, C., Schmidt, C., Mantovani, D., and Dekker, R. (2018). H., and da-Cunha, M. A. A. (2018). Solid-state fermentation of soybean okara: Isoflavones biotransformation, antioxidant activity and enhancement of nutritional quality. *LWT*. 92: 509-515.

- Sánchez-Magana, L. M., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Mora-Rochin, S., Leon-Lopez, L., Gutierrez-Dorado, R., and Cuevas-Rodríguez, E. O. (2019). Influence of solid-state bioconversion by *Rhizopus oligosporus* on antioxidant activity and phenolic compounds of maize (*Zea Mays* L.). *Agrociencia*. 53: 45-57.
- Sierra-Macías, M., Andrés-Meza, P., Palafox-Caballero, A., Meneses-Márquez, I., Francisco-Nicolás, N., Zambada-Martínez, A., ..., and Tadeo-Robledo, M. (2014). Variación morfológica de maíces nativos (*Zea mays* L.) en el estado de Veracruz, México. *AGROProductividad*. 7(1): 58-66.
- Starzyńska-Janiszewska, A., Stodolak, B., Mickowska, B., and Socha, R. (2021). Fermentation with edible *Rhizopus* strains as a beneficial alternative method in wheat germ cake processing. *Journal of Cereal Science*. 102: 103309.
- Streimikyte, P., Viskelis, P., and Viskelis, J. (2022). Enzymes-assisted extraction of plants for sustainable and functional applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(4): 2359.
- Tong, Z., Tong, Y., Wang, D., and Shi, Y. C. (2023). Whole maize flour and isolated maize starch for production of citric acid by *Aspergillus niger*: A review. *Starch-Stärke*. 75(3-4): 2000014.
- Torres-León, C., Ramírez-Guzmán, N., Ascacio-Valdés, J., Serna-Cock, L., dos-Santos-Correia, M. T., ..., and Aguilar, C. N. (2019). Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* to enhance the phenolic contents and antioxidative activity of Mexican mango seed: A promising source of natural antioxidants. *LWT*. 112: 108236.
- Wong-Paz, J. E., Muñoz-Márquez, D. B., Aguilar-Zárate, P., Rodríguez-Herrera, R., and Aguilar, C. N. (2014). Microplate quantification of total phenolic content from plant extracts obtained by conventional and ultrasound methods. *Phytochemical Analysis*. 25(5): 439-444.
- Wu, H., Liu, H. N., Ma, A. M., Zhou, J. Z., and Xia, X. D. (2022). Synergetic effects of *Lactobacillus plantarum* and *Rhizopus oryzae* on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of whole-grain oats (*Avena sativa* L.) during solid-state fermentation. *LWT*. 154: 112687.
- Yoon, L. W., Ang, T. N., Ngoh, G. C., and Chua, A. S. M. (2014). Fungal solid-state fermentation and various methods of enhancement in cellulase production. *Biomass and Bioenergy*. 67: 319-338.
- Zhang, B. B., Xing, H. B., Jiang, B. J., Chen, L., Xu, G. R., Jiang, Y., and Zhang, D. Y. (2018). Using millet as substrate for efficient production of monacolin K by solid-state fermentation of *Monascus ruber*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 125(3): 333-338.



Suplemento de manzana líquido



Pulpa de mango

Imágenes de: Ana Cecilia Díaz-López

Viabilidad de bacterias ácido lácticas microencapsuladas mediante secado por aspersión con almidón de malanga en dos suplementos alimenticios

Viability of lactic acid bacteria microencapsulated by spray drying with malanga starch in two dietary supplements

Ana Cecilia Díaz-López^{1,2*}, Virginia Villa-Cruz³, Gilber Vela-Gutiérrez^{1,2}

RESUMEN

Los cormos de malanga son tallos subterráneos con alto valor nutrimental por su contenido de carbohidratos y proteínas, además de ser altamente digestivos. El almidón que se extrae de ellos puede ser utilizado en la encapsulación de microorganismos probióticos, de gran importancia para la salud. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un suplemento alimenticio con características funcionales, usando bacterias ácido lácticas (BAL) (*Lactobacilos casei*), encapsuladas en almidón de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*). El suplemento se realizó mezclando 150 mL de pulpa de fruta cocida (mango o manzana) con 400 mL de suero de leche (pH de 6.0), a 45 ± 1 °C, hasta conseguir la consistencia deseada (449.9 mPas/s a una temperatura de 25 °C). Posteriormente, se adicionaron 1 % o 2 % de almidón de malanga (p/v) y 10 mL de cultivo probiótico por cada 100 mL de mezcla. Se deshidrató a 80 °C y 150 °C con flujo de aire de 20 mL/min para manzana y 8 mL/min para mango mediante secado por aspersión. El rendimiento fue de 12 %, con una viabilidad de las BAL en el suplemento deshidratado a los 3 meses de almacenamiento superior a 1×10^8 UFC/g. La ausencia de bacterias coliformes, así como de salmonella y shigella, indican que los suplementos son inocuos y aptos para consumo. La composición nutrimental del suplemento de manzana obtenido fue 2.23 % de fibra, 5.93 % de grasa, 4.95 % de proteína y un 79 % de hidratos de carbono; el suplemento de mango, el contenido fue 0.59 % de fibra, 7.6 % de grasa, 4.2 % de proteína y 80.20 % de hidratos de carbono. El almidón de malanga permitió la microencapsulación de las BAL y mantener su viabilidad durante el almacenamiento de los suplementos alimenticios desarrollados con base en suero de leche y fruta.

PALABRAS CLAVE: suplemento alimenticio, almidón de malanga, alimento funcional, secado por aspersión, encapsulación.

ABSTRACT

Malanga corms are an underground stem with a high nutritional value as it contains carbohydrates and proteins, in addition to being highly digestive; The starch extracted from them can be used in the encapsulation of probiotic microorganisms, which are of great importance for human health. The objective of this work was to develop a food supplement with functional characteristics, added with lactic acid bacteria (*Lactobacillus casei*) (LAB), using malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. The supplement was obtained by mixing 150 mL of cooked fruit pulp (mango or apple) with 400 mL of sweet whey (pH of 6.0), at a temperature of 45 ± 1 °C until the desired consistency (449.9 mPas/s at a temperature of 25 °C) was achieved. Subsequently, 1 % or 2 % of malanga starch (p/v) and 10 mL of probiotic cultures were added per each 100 mL of mixture. It was then dehydrated at 80 °C and 150 °C with an air flow of 20 mL/min for apple and 8 mL/min for mango by spray drying. The yield was 12 %, with viability of LAB in the dehydrated supplement at 3 months of storage higher than 1×10^8 CFU/g. The absence of coliform bacteria, as well as Salmonella and Shigella, indicate that the supplements are safe and suitable for consumption. The nutritional composition of the apple supplement was 2.23 % fiber, 5.93 % fat, 4.95 % protein and 79 % carbohydrates; the mango supplement content was 0.59 % fiber, 7.6 % fat, 4.2 % protein and 80.20 % carbohydrates. The malanga starch allowed the LAB microencapsulation and the maintenance of their viability during the storage of sweet whey and fruit-based food supplements.

KEYWORDS: dietary supplement, malanga starch, functional food, spray drying, encapsulation.

*Correspondencia: ana.diaz@unicach.mx/Fecha de recepción: 30 de abril de 2023/Fecha de aceptación: 25 de octubre de 2023/Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

¹Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales, libramiento Nte. poniente núm. 1150, colonia Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C. P. 29000. ²Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. ³Universidad de Guadalajara, Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Vida, Lagos de Moreno, Jalisco, México.

INTRODUCCIÓN

Un alimento funcional (AF) es similar en apariencia a un alimento convencional y se consume como parte de una dieta habitual, pero contiene componentes con actividad biológica que ejercen efectos fisiológicos benéficos adicionales a su valor nutricional que pueden reducir el riesgo de enfermedades crónicas (Pushpangadan y col., 2014). El concepto de AF se introdujo en 1984 en Japón, para mejorar la salud del consumidor a través de la dieta enriquecida con ingredientes bioactivos. La legislación de ese país fue la primera en contemplarlos como alimentos para uso específico en la salud (FOSHU, por sus siglas en inglés: Food for Specified Health Use) (Prakash y col., 2017) y con base en ello, el gobierno japonés construye regularmente alegaciones sanitarias encaminadas a mejorar la salud de la población a través de su consumo (Martínez-Leo, 2018).

En Chiapas, México, se produce 1 millón de L/d de leche, de los cuales se calcula que el 60 % son utilizados en la elaboración de quesos, actividad de la que se generan aproximadamente 510 000 L/d de lactosuero, que podrían ser aprovechados en procesos alimenticios (Vázquez-Esnoval y col., 2017). De acuerdo a la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) (FAO, 2017), la producción de suero de queso (lactosuero) a nivel mundial fue de casi 200 millones de T/a; Europa contribuye con cerca del 50 %, Estados Unidos de Norteamérica y México con 3 % y 0.6 %, respectivamente. El desperdicio del suero lácteo se debe, entre otros aspectos, al desconocimiento de las bondades nutricionales de este coproducto y a la dificultad para acceder a las tecnologías apropiadas para su manejo y procesamiento (Osorio-González y col., 2018).

El secado por aspersión, es una técnica que ha generado óptimos resultados en el aprovechamiento y la conservación de productos alimenticios (Kavitake y col., 2018). La microencapsulación por medio de este proceso es

una alternativa viable, ya que el uso de materiales encapsulantes y cortos tiempos de secado permiten proteger al producto final de los efectos adversos al que está expuesto el producto, por efecto de la temperatura y las interacciones que pueden tener con el medio que los contiene (Gil-Garzón y col., 2011).

La malanga (*Xanthosoma sagittifolium*), es uno de los 6 cultivos de tallos, raíces y tubérculos más importantes del mundo. Es de origen pantropical y se ha domesticado en la mayoría de las comunidades de Oceanía, Asia y África, siendo este último el principal productor. África occidental y central, en particular Nigeria, Ghana y el Camerún, contribuyen con más del 60 % de la producción total del continente (Boakye-Abena y col., 2018). De acuerdo a Falade y Okafor (2014), los cormos de malanga contienen 80.99 % de humedad, 5.47 % de proteína cruda, 0.20 % de grasa cruda, 1.28 % de fibra cruda y 11.03 % de carbohidratos. Ndabikunze y col. (2011), reportaron la presencia de varios nutrientes en los cormos, tales como carbohidratos (almidón, que es el componente principal), proteínas, vitamina C, tiamina, riboflavina, niacina y fibra dietética.

El almidón de malanga se utiliza en la industria alimentaria como aglutinante, espesante, gelificante, humectante y texturizante (Torres-Rapelo y col., 2014); representa una alternativa al almidón de maíz, en la encapsulación de microorganismos probióticos.

Las bacterias ácido lácticas (BAL), generalmente con características probióticas, proporcionan efectos fisiológicos benéficos como la reducción del pH intestinal, la producción de algunas enzimas digestivas, vitaminas y sustancias antibacterianas, la reconstrucción y construcción del microbiota intestinal, la reducción del colesterol en la sangre, la eliminación de la carcinogénesis (Vela-Gutiérrez y col., 2020).

Las BAL han estado presentes en la dieta humana desde la antigüedad. Hoy en día, se pue-

den encontrar en diferentes productos lácteos como bebidas, yogur, quesos frescos y maduros, diferentes carnes y sus productos, y en algunas verduras (Vela-Gutiérrez y col., 2020). Además, estas bacterias se han utilizado en la industria alimentaria como bioconservadores debido a que tienen un papel importante en los procesos de fermentación, no sólo por su capacidad de acidificación, sino también por su implicación en el desarrollo de la textura, sabor, olor y aroma de los alimentos (Parra-Huertas, 2009).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la viabilidad de BAL microencapsuladas mediante secado por aspersión, utilizando almidón extraído de cormos de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) en la formulación de dos suplementos alimenticios con lactosuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizaron cormos de malanga frescos y deshidratados, cosechados en los municipios de San Fernando y Ocozocuautila de Espinosa, en Chiapas, México.

Se trabajó con cepas de *Lactobacillus casei*, conservadas en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales (LIDPF) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, aisladas previamente de muestras de pozol fermentado chiapaneco por Velázquez-López y col. (2018).

El suero dulce (generado por la coagulación enzimática de la leche, sin acidificación), se obtuvo en el LIDPF a través de un proceso de elaboración de queso fresco. Posteriormente, se sometió a una deodorización con resinas catiónicas (Na⁺) (Amberlite IR 120 Na⁺, Sigma Aldrich®) y pasteurización (30 min, 65 °C) previo a ser utilizado en la formulación del suplemento alimenticio.

Proceso de obtención de almidón de malanga

Se utilizaron cormos frescos de buena calidad y se siguió la metodología descrita por Niebla-Bárceñas (2009). La materia prima se lavó,

desinfectó, peló, pesó y cortó en trozos regulares de 2.5 cm x 2.5 cm, los cuales se molieron con agua destilada desionizada; la mezcla se filtró 3 veces, después se dejó reposar durante 48 h. Se decantó y centrifugó a 5 000 rpm/30 min con centrifugadora de mesa (VWR®, Modelo SM0412, Pensilvania, EUA). Se deshidrató a 60 °C/8 h, se molió y tamizó (malla número 60). El almidón obtenido se envasó al vacío y se almacenó a temperatura ambiente (fluctuando entre 15 °C y 30 °C).

Elaboración del suplemento

Se mezclaron 150 mL de pulpa de fruta cocida (mango o manzana) con 400 mL de suero de leche (pH de 6.0), a 45 ± 1 °C, hasta conseguir la consistencia deseada (449.9 mPas/s a una temperatura de 25 °C). Se adicionaron 1 % o 2 % de almidón de malanga (p/v) y 10 mL de cultivo probiótico (1 x 10⁸ UFC/g) por cada 100 mL de mezcla.

Secado por aspersión

Para el deshidratado de ambos suplementos se empleó un secador de aspersión (Modelo SD 18A, LABFREEZ®, Beijing, China). El volumen y temperatura del aire de entrada se operaron a 80 % y 150 °C, respectivamente. La velocidad de alimentación fue de 8 mL/min para el suplemento de mango y 20 mL/min para el suplemento de manzana. La frecuencia de aguja del atomizador se mantuvo en cero en ambos procesos. Las condiciones de secado utilizadas se eligieron de acuerdo a resultados de los ensayos preliminares, considerando la calidad del encapsulado y la porosidad del suplemento, así como la viabilidad de la cepa encapsulada; además se comparó con otros estudios, como los de Guevara-Bretón y col. (2009), quienes optimizaron el proceso de encapsulación de *L. casei* y *L. reuteri* con maltodextrina en secado por atomización. Los productos de este estudio se caracterizaron, se empacaron al vacío y se almacenaron a temperatura ambiente (fluctuando entre 15 °C y 30 °C).

Análisis químico proximal

Se determinó el contenido de humedad, grasa, proteínas, cenizas y fibra cruda, de acuer-

do a los procedimientos estándares del Colegio de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC, por sus siglas en inglés: Association of Official Agricultural Chemists) (AOAC, 1999). Todos los análisis se realizaron por triplicado. El contenido de los hidratos de carbono fue calculado por diferencia del resto de los componentes.

Evaluación microbiológica del producto

A los productos se le determinó la presencia de coliformes totales de acuerdo a la NOM-112-SSA1-1994; coliformes fecales considerando la NOM-210-SSA1-2014 y la presencia de salmonella y shigella con la NOM-114-SSA1-1994.

Viabilidad de las BAL en el suplemento alimenticio

Se evaluó a través de la técnica de vaciado en placa utilizando cajas de petri con agar MRS (Man, Rogosa y Sharpe), considerando la NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018. El conteo de UFC/mL se realizó a las 24 h y 48 h.

Análisis estadístico

Los resultados del análisis químico proximal se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente a la prueba de Tuckey ($P < 0.05$),

utilizando el software estadístico Minitab® versión 17.0 para Macintosh.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Almidón de malanga

El almidón extraído de los cormos de malanga presentó una coloración blanca y textura similar a la de una harina estándar de trigo (Figura 1). Se obtuvo un rendimiento de 26.82 % de almidón (Tabla 1), respecto al peso de cormo fresco utilizado, superior a lo encontrado por Aristizábal y Sánchez (2007), quienes alcanzaron un rendimiento de 20 % de almidón agrio de malanga, mediante el método húmedo modificado; Serna-Loaiza y col. (2018), quienes obtuvieron un rendimiento de 23.64 % en cormos de malanga; y Zuñiga (2019), que reportó un rendimiento de 16.5 % a través del método de decantación. También fue mayor a lo documentado en otros alimentos similares, como es el caso de la cáscara de plátano con 22 % (Cárdenas, 2018); la papa que contiene entre 12.4 % a 20.1 % (Ignacio y col., 2020); y el camote, con un 18 % (Guizar-Miranda y col., 2008).

La utilización de las harinas no convencionales, en la industria alimentaria y la gastronó-



■ Figura 1. Almidón obtenido de cormos de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*).

Figure 1. Starch obtained from taro corms (*Xanthosoma sagittifolium*).

■ **Tabla 1. Rendimientos de almidón y suplementos.**

Table 1. Yields of starch and supplements.

Producto	Resultado	Rendimiento (%)
1 kg de pulpa de malanga	268.24 g de almidón	26.82
18.64 g de malanga	5 g de almidón	26.82
500 mL de suplemento líquido	60 g de suplemento seco	12

mía, está en función de sus propiedades funcionales y fisicoquímicas. Muchos autores han publicado sobre dichas características y las de adhesión de los almidones de malanga (Falade y Okafor, 2015).

Elaboración y secado del suplemento alimenticio

Por cada 100 mL de suplemento líquido se obtuvieron 12 g de producto final deshidratado, en ambos casos, los cuales fueron estables y fáciles de manipular, con consistencia de polvo fino, suave, granuloso, sin apelmazamiento (Figura 2). Dentro de sus atributos sensoriales más importantes destacaron el olor y color propios de las pulpas de los frutos utilizados (Tabla 2).

El secado por aspersión presentó una opción de proceso altamente viable, probablemente debido a la temperatura de entrada del aire

utilizada en el secador, ya que esta condición está directamente relacionada con el rendimiento, por el proceso de transferencia de calor y de masa que se realiza, como lo expresa Aragüez y col. (2022).

Análisis químico proximal

El suplemento de manzana presentó mayor contenido ($P < 0.05$) de humedad, fibra y proteína; en tanto que el suplemento de mango, tuvo mayor contenido de grasa (Tabla 3). La diferencia se debe a la composición de los frutos empleados como materia prima.

Evaluación microbiológica del producto

Los suplementos no registraron crecimiento de coliformes totales y fecales, ni presencia de salmonella y shigella. Los resultados se encuentran dentro de los límites permitidos para ser considerados como productos inocuos y aptos para consumo (NOM-112-SSA1-1994).



■ **Figura 2. Suplementos secados por aspersión sin grumos, A: sabor a mango, y B: sabor a manzana.**

Figure 2. Spray-dried supplements, A: mango flavor, and B: apple flavor.

■ **Tabla 2. Características de los suplementos.**
Table 2. Characteristics of the supplements.

Suplemento	Características
Sabor a manzana	Polvo color blanco, con textura fina, granulosa, sin presentar apelmazamiento, olor agradable (característico a manzana), presentación agradable a la vista, sabor característico de la fruta.
Sabor a mango	Polvo color amarillo con textura fina, granulosa, sin presentar apelmazamiento, olor agradable (característico a mango), presentación agradable a la vista, sabor característico de la fruta.

■ **Tabla 3. Resultados del análisis químico proximal de los suplementos.**
Table 3. Results of the proximate chemical analysis of supplements.

Componente	Suplemento	
	Manzana	Mango
Humedad	1.589 ± 0.076 ^a	0.591 ± 0.320 ^b
Cenizas	6.467 ± 0.087 ^a	6.257 ± 0.410 ^a
Fibra	2.235 ± 0.071 ^a	0.595 ± 0.147 ^b
Grasa	5.936 ± 0.317 ^a	7.671 ± 0.429 ^b
Proteína	4.952 ± 0.005 ^a	4.260 ± 0.015 ^b
Hidratos de carbono	79.003 ± 0.477 ^a	80.200 ± 1.524 ^a

^{a,b}Letras distintas indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre tipo de suplemento.

Viabilidad de las BAL presentes en los suplementos alimenticios

El uso de una matriz encapsulante con almidón de malanga, proveyó una adecuada viabilidad a las BAL de *L. casei* sp (Tabla 4), confiriéndoles resistencia al tratamiento con alta temperatura (150 °C). La cantidad de microorganismos viables observada fue superior a lo establecido en la NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, para ser considerado como un alimento probiótico (1×10^8 UFC/g).

Los resultados concuerdan con los reportados por Alfaro-Galarza y col. (2019), quienes

indicaron una viabilidad de 5.23×10^8 UFC/g de *L. casei* sp encapsulado mediante secado por aspersión utilizando almidón de arroz. Los mismos autores reportaron una cantidad de 9.62×10^8 UFC/g de microorganismos cuando utilizaron el almidón de malanga.

El secado por aspersión resultó ser un método viable para la microencapsulación de las bacterias probióticas utilizadas en los dos productos alimenticios, ya que se puede observar que la cantidad de BAL presentes antes del proceso de secado (suplementos A y B, recién elaborados), posterior a él y des-

■ **Tabla 4. Resultados de viabilidad de BAL en los dos suplementos alimenticios (A y B).**
Table 4. Results of LAB viability in the two food supplements (A and B).

Periodo de viabilidad	Resultados
Antes de la microencapsulación	Incontables*
Después del proceso de microencapsulación	Incontables*
3 meses de microencapsulación	Incontables*

*Incontables= cantidad superior a 1×10^8 UFC/g.

pués de 3 meses de almacenamiento se mantiene superior a 1×10^8 UFC/g, lo que indica que el proceso de secado no tuvo un efecto negativo sobre la viabilidad de las bacterias debido al efecto protector del almidón de malanga. Vera-Peña y col. (2019), señalaron que, el lactosuero también protege las bacterias mediante el acoplamiento a la proteína de suero de leche, lo cual provoca que las células se incrusten dentro de las paredes de las cápsulas que se forman cuando se realiza el secado. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Moumita y col. (2017), quienes refrendan la eficiencia del uso de este proceso de secado, para la comercialización de varios simbióticos funcionales estables y bacterias que promuevan la salud. De acuerdo a González-Cuello y col. (2015), la microencapsulación permite recubrir los microgránulos, aumentando la eficiencia de la encapsulación e impide la interacción de los jugos gástricos con los microorganismos al interior, permitiendo su liberación hasta llegar al tracto intestinal.

Los resultados muestran que el uso de almidón de malanga como agente encapsulante es una opción viable desde el punto tecnológico, fácil de obtener, se aprovecha de forma óptima en el secado por aspersión, donde se mantienen sus propiedades, y le proporciona mejor estabilidad y mejor conservación a las BAL.

CONCLUSIONES

Los suplementos elaborados fueron polvos finos, suaves, granulosos, sin apelmazamiento y estables durante tres meses de almacenamiento. El suplemento sabor manzana presentó mayor contenido de humedad, fibra y proteínas. Ambos reportaron las características de un alimento probiótico, al mantener durante el proceso de secado y almacenamiento una cantidad superior a 1×10^8 UFC/g de BAL, cumpliendo con la NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018 para este tipo de alimentos. La ausencia de bacterias coliformes, salmonella y shigella, indicaron que los suplementos fueron inocuos y aptos para consumo. Es necesario establecer estrategias para la aceptación de estos productos elaborados a partir de suero dulce de leche y fruta, como complementos alimentarios para poblaciones que requieran atención alimentaria y nutricional.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por el financiamiento del proyecto con clave 2016-01-277457 denominado Desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de cormos de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) del estado de Chiapas y Veracruz en la convocatoria 2016. Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento del proyecto: 316447 - Consolidación de la infraestructura del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funciona-

les (LIDPF) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas a través de la convocatoria 2021 para el Fortalecimiento a la infraestructura.

Un agradecimiento especial a las doctoras Leónides Elena Flores Guillen y Erika Judith López Zúñiga, por su constante apoyo y aportación

en la elaboración de este proyecto, así como a la Mtra. Ivonne Anahí López Miceli por sus contribuciones para realizar el proyecto.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Alfaro-Galarza, O., Chavarría-Hernández, N., Vargas-Torres, A., Zaragoza-Bastida, A. y Palma-Rodríguez, H. M. (2019). Microencapsulación de probióticos mediante secado por aspersión. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 19(1): S186-S188.
- Aragüez, Y., Pino, J. A., Bringas-Lantigua, M., Ortega, A. y Expósito, I. (2022). Temperaturas de secado para la microencapsulación de saborizantes frutales mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 32: 1-6.
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2022.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1999). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington: AOAC. [En línea]. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>. Fecha de consulta: 9 de marzo de 2020.
- Boakye-Abena, A., Wireko-Manu, F. D., Ibok-Oduro, E. W. O., and Gudjónsdóttir, M. (2018). Utilizing cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) for food and nutrition security: A review. *Food Science Nutrition*. 6(4): 703-713.
- Cárdenas, M. A. (2018). Extracción de almidón a partir de residuos de banana (*Musa paradisiaca*) para la elaboración de un polímero. Universidad politécnica salesiana. Cuenca Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>. Fecha de consulta: 21 de marzo de 2020.
- Falade, O. and Okafor, A. (2014). Physical, functional, and pasting properties of flours from corms of two Cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) cultivars. *Journal of Food Science and Technology*. 52(6): 3440-3448.
- Falade, O. and Okafor, A. (2015). Physical, functional, and pasting properties of flours from corms of two Cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) cultivars. *Journal of Food Science and Technology*. 52(6): 3440-3448.
- FAO, Food and Agriculture Organization (2017). Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación. Producción de leche. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#home>. Fecha de consulta: 3 de junio de 2019.
- Gil-Garzón, M. A., Alzate-Tamayo, L. M., Sánchez-Camargo, A. del P. y Millán-Cardona, L. de J. (2011). Secado por aspersión: una alternativa para la conservación de los compuestos bioactivos y aromáticos del extracto de ajo (*Allium sativum* L.). *Revista Lasallista de Investigación*. 8(2): 40-52.
- González-Cuello, R. E., Pérez-Mendoza, J. y Morón-Alcázar, L. (2015). Efecto de la Microencapsulación sobre la viabilidad de *Lactobacillus delbrueckii* sometido a jugos gástricos simulados. *Información Tecnológica*. 26(5): 11-16.
- Guevara-Bretón, N., López-Malo, A. y Jiménez-Munguía, A. (2009). Optimización de la encapsulación de L. casei y L. reuteri con maltodextrina en un secador por atomización. [En línea]. Disponible en: https://smbb.mx/congresos%20smbb/acapulco09/TRABAJOS/AREA_III/CIII-09.pdf. Fecha de consulta: 4 de marzo de 2019.
- Guizar-Miranda, A., Montañez-Soto, J. L. y García-Ruiz, I. (2008). Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (*Dioscorea* spp.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 9(1): 81-88.
- Ignacio, S., Pérez-Trujillo, E. F. y Gonzáles-Parrion F. J. (2020). Contenido de almidón nativo de variedades nativas de papa (*Solanum* spp.). *Revista de Investigación Agraria*. 2(1):15-25.

- Kavitake, D., Kandasamy, S., Devi, P. B., and Shetty, P. H. (2018). Recent developments on encapsulation of lactic acid bacteria as potential starter culture in fermented foods – A review. *Food Bioscience*. 21: 34-44.
- Martínez-Leo, E. E. (2018). *Manual de nutrición funcional*. INISEAN. (Primera edición). Mérida, Yucatán: Editorial Minayal. 24-32 Pp.
- Moumita, S., Goderska, K., Johnson, E. M., Das, B., Indira, D., Yadav, R., and Jayabalan, R. (2017). Evaluation of the viability of free and encapsulated lactic acid bacteria using in-vitro gastro intestinal model and survivability studies of synbiotic microcapsules in dry food matrix during storage. *LWT - Food Science and Technology*. 77: 460-467.
- Ndabikunze, B. K., Talwana, H. A. L., Mongi, R. J., Issa-Zacharia, A., Serem, A. K., Palapala, V., and Nandi, J. O. M. (2011). Proximate and mineral composition of cocoyam (*Colocasia esculenta* L. and *Xanthosoma sagittifolium* L.) grown along the Lake Victoria Basin in Tanzania and Uganda. *African Journal of Food Science*. 5(4): 248-254.
- Niebla-Bárceñas, L. (2009). Evaluación de encapsulamiento de compuestos de sabor en matrices de almidón. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/6411>. Fecha de consulta: 5 de marzo de 2019.
- NOM-112-SSA1-1994 (1994). Norma Oficial Mexicana. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes, técnica del número más probable. México. [En línea]. Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69535.pdf>. Fecha de consulta: 3 de junio de 2019.
- NOM-114-SSA1-1994 (1994). Norma Oficial Mexicana. Bienes y servicios. Método para la determinación de salmonella en alimentos. México. [En línea]. Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69538.pdf>. Fecha de consulta: 3 de junio de 2019.
- NOM-210-SSA1-2014 (2014). Norma Oficial Mexicana. Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. México. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/2015#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 3 de junio de 2019.
- NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018 (2018). Norma Oficial Mexicana. Yogurt-Denominación, especificaciones físicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba. México. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5167303&fecha=16/11/2010. Fecha de consulta: 3 de junio de 2019.
- Osorio-González, C. S., Sandoval-Salas, F., Hernández-Rosas, F., Hidalgo-Contreras, J. V., Gómez-Merino, F. C. y Ávalos-de-la-Cruz, D. A. (2018). Potencial de aprovechamiento del suero de queso en México. [En línea]. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/922>. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2019.
- Parra-Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 62(1): 4967-4982.
- Prakash, B., Kujur, A., Singh, P. P., Kumar, A., and Yadav, A. (2017). Plants-derived bioactive compounds as functional food ingredients and food preservative. *Journal of Food Science*. 1: 004.
- Pushpangadan, P., George, V., Sreedevi, P., Bincy, A. J., Anzar, S., Aswany, T., ..., and Ijini, T. P. (2014). Functional foods and nutraceuticals with special focus on mother and child care. *Annals of Phyto-medicine*. 3(1): 4-24.
- Serna-Loaiza, S., Martínez, A., Pisarenko, Y., and Cardona-Alzate C. (2018). Integral use of plants and their residues: the case of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) conversion through biorefineries at small scale. *Environmental Science and Pollution Research*. 25: 35949-35959.
- Torres-Rapelo, A. L., Montero-Castillo, P. M. y Julio-González, L. C. (2014). Utilización de almidón de malanga (*Colocasia esculenta* L.) en la elaboración de salchichas tipo Frankfurt. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 12(2): 97-105.
- Vázquez-Esnoval, C. O., Pinto-Ruiz, R., Rodríguez-Hernández, R., Carmona-de-la-Torre, J. y Gómez-Jesús, A. (2017). Uso, producción y calidad nutricional del lactosuero en la región central de Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 21(1): 65-77.
- Vela-Gutiérrez, G., Santos-Vázquez, A. G. y Velázquez-López, A. A. (2020). Viabilidad de bacterias ácido lácticas en dos productos funcionales formulados con lactosuero y malanga. *Biotecnia*. 22(3): 138-145.
- Velázquez-López, A., Covatzin-Jirón, D., Toledo-Meza, M. D. y Vela-Gutiérrez, G. (2018). Bebida fermentada elaborada con bacterias ácido lácticas aisladas del pozol tradicional chiapaneco. *CienciaUAT*. 13(1): 165-178.

Vera-Peña, M. Y., Cortes-Rodríguez, M. y Valencia-García, F. E. (2019). Secado por atomización de bacterias ácido lácticas: una revisión. *Ingeniería y Ciencia*. 15(29): 179-213.

Zuñiga, B. V. (2019). Extracción y análisis comparativo de las características del almidón de malanga (*Xanthosoma saggitifolium*), yuca (*Manihot esculenta*) y papa china (*Colocasia esculenta*). (Tesis inédita de ingeniería agroindustrial). Universidad Nacional de Chimborazo. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5485>. Fecha de consulta: 9 de junio de 2023.



Imágenes tomadas de: Canva educativo

La importancia de la microbiota intestinal en la fisiología y rendimiento de pollos de engorda y gallinas de postura

The importance of intestinal microbiota on the physiology and performance of broiler chickens and laying hens

Jesús Emiliano Alvarado-López, Elein Hernández*

RESUMEN

El estudio de la microbiota ha adquirido un nuevo enfoque de interés, ya que interviene en diversos procesos fisiológicos involucrados en el desarrollo y rendimiento de los animales domésticos. Participa en el eje-microbiota-intestino-cerebro, con procesos que rigen el sistema nervioso hacia el intestino y viceversa. El objetivo de este trabajo fue identificar la importancia de la microbiota gastrointestinal de pollos de engorda y gallinas de postura y su relación con procesos fisiológicos que afectan el desarrollo, rendimiento, comportamiento y salud. En el tracto gastrointestinal de estas aves se han identificado alrededor de 17 filos de bacterias, con microorganismos predominantes según el sitio anatómico dentro del tracto y por ende con diferente función, por ejemplo, buche: *Lactobacillus*, *Enterobacteriaceae*; proventrículo: *Clostridiaceae*, *Enterococcus*; intestino: *Escherichia*, *Streptococcus*. Distintos factores intervienen en la colonización y desarrollo de la microbiota, desde el programa de alimentación y manejo, tipo de cama y densidad animal, entre otros. Existen microorganismos potencialmente patógenos que impactan negativamente en la microbiota y puedan llegar al consumidor, como *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enteritidis* y *Escherichia coli*, de ahí su importancia al momento de trazar las directrices en las producciones pecuarias.

PALABRAS CLAVE: microbiota, metabolismo, avicultura, salud animal, gallinas de postura.

ABSTRACT

There is an increasing interest in microbiota studies due to their relevance in physiological processes such as animal development and productivity. In addition, it is involved in the microbiota-intestine-brain axis that regulates the nervous system to the intestine and vice versa. This paper is aimed at identifying the importance of the broilers and laying hens' gastrointestinal microbiota and its relationship with diverse physiological processes that intervene in the development, productivity, behavior, and health. There are 17 filos of bacteria within the poultry gastrointestinal tract, which are site dependent and have specific functions (Example; crop: *Lactobacillus*, *Enterobacteriaceae*; proventriculus: *Clostridiaceae*, *Enterococcus*; intestine: *Escherichia*, *Streptococcus*). In addition, different factors affect the development of microbiota such as the feeding program, handling, kind of substrate, stocking density, among others. There are several potentially pathogenic microorganisms that impact microbiota negatively and may reach the final consumer such as *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enteritidis* and *Escherichia coli*. Therefore, it is important to continue supporting poultry microbiota research and areas of opportunity to improve poultry production.

KEY WORDS: microbiota, metabolism, broiler, animal health, laying hens.

*Correspondencia: elein_ht@comunidad.unam.mx/Fecha de recepción: 13 de marzo de 2023/Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2023/Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Ciencias Pecuarias, Campo 4, carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, col. San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México, C. P. 54714.

INTRODUCCIÓN

El término “microbiota” se refiere a todos los microorganismos vivos (principalmente bacterias) que se encuentran en un espacio delimitado (Kogut, 2019). Se compone por bacterias, arquea, virus, protozoarios y hongos. Se diferencia del término “microbioma”, ya que este incluye, además de los microorganismos, todo el espectro de moléculas que producen los mismos, ácidos nucleicos, proteínas, lípidos, polisacáridos, así como metabolitos y moléculas que se generan de la interacción con otros microorganismos, con el organismo o con las condiciones microambientales (Kogut, 2019; Kraimi y col., 2019).

En años recientes se ha buscado definir una “microbiota saludable”, ya que esta depende de diversos factores, que son señalados como marcadores para su cumplimiento, y a su vez son influenciados por distintos factores que afectan a los animales de forma individual, como la resistencia (habilidad de las bacterias para resistir perturbaciones del entorno), resiliencia (capacidad de las bacterias de regresar al estado basal), riqueza (número total de microorganismos en el medio), y diversidad (total de especies de microorganismos en el medio), la formación de biopelículas (estructuras formadas por comunidades de microorganismos que se adhieren a una superficie) e interacción entre microorganismos (relaciones y comunicación que ocurren entre diferentes tipos de microorganismos). Algunos de esos microorganismos pueden convivir en simbiosis con el organismo, donde este proveerá de nichos a lo largo del tracto digestivo y del bolo alimenticio, que les sirve de sustrato (Berding y col., 2021); a su vez, los microorganismos metabolizarán los componentes del bolo, lo cual brinda un beneficio al organismo mediante la producción de ácidos grasos de cadena corta como el butirato y propionato (Cao y col., 2021). Otros microorganismos presentes en la microbiota son potenciales patógenos, y a través de algún desequilibrio en el medio se puede desencadenar su proliferación provocando enfermedades (Marmion y col., 2021).

La clasificación basada en las funciones que ejercen los microorganismos en el individuo, los divide en aquellos que participan en la fermentación de carbohidratos, degradación de proteínas o lípidos, los que ejercen una función de barrera, y los que intervienen en la síntesis de neurotransmisores, entre otras funciones (Rowland y col., 2018; Berding y col., 2021). Otra clasificación propuesta, sugiere dividir a las bacterias que se encuentran presentes en el lumen y el bolo alimenticio, las cuales tienen o no la acción de modificar las condiciones microambientales y de participar en la digestión de los alimentos; están influenciadas por el paso del contenido intestinal, sustancias antimicrobianas (antibióticos principalmente) y el tipo de alimento; separándola de la microbiota que se destaca por su capacidad de relacionarse con el enterocito en funciones para la absorción de nutrientes, o bien en condiciones de enfermedad para la destrucción de los mismos (Rowland y col., 2018; Qamar y col., 2020). También pueden clasificarse de acuerdo a su temporalidad como “microbiota de tránsito” y “microbiota funcional”. La primera aparece en algún punto en específico del crecimiento o adición de algún elemento en el medio ambiente o dieta y puede o no tener una influencia sobre los procesos fisiológicos del animal; mientras que la segunda normalmente es estable por tiempos más prolongados e interviene en mayor medida en los procesos fisiológicos que desarrolla el organismo (Hammer y col., 2019; Berding y col., 2021).

El presente trabajo tuvo como objetivo identificar la relación que tiene la microbiota del tracto gastrointestinal de pollos de engorda y gallinas de postura con los procesos fisiológicos, que afecten el desarrollo, rendimiento, comportamiento y salud de las aves comerciales.

Metodología de búsqueda de la literatura

Se enfocó principalmente en aspectos generales de la microbiota, orientados hacia pollos y gallinas. Se utilizaron los términos “microbiota” “microbiota poultry” “microbiota behaviour” “microbiota environment poultry”

“microbiota development poultry” “microbiota broiler”, y “microbiota gut brain axis” en la base de datos de Biblioteca Digital UNAM, Google Académico (Google Scholar) y Researchgate, en el periodo de julio de 2020 a enero 2023. La búsqueda y selección del material se basó en la declaración PRISMA 2020 para la publicación de revisiones sistemáticas, considerando los criterios de: título, resumen, justificación, objetivos, criterios de elegibilidad, fuentes de datos, estrategia de búsqueda, proceso de selección de estudios, proceso de extracción de datos, evaluación del riesgo de sesgo, métodos de síntesis, selección de estudios y discusión (Page y col., 2021). Se buscó no tener revisiones o investigaciones similares por autor, eligiendo los documentos más recientes para minimizar la información repetida. Se localizaron 41 trabajos y en el presente documento se plasmaron los elementos más importantes de los mismos, para un mayor entendimiento del tema.

La microbiota intestinal de pollos y gallinas de avicultura

El tracto gastrointestinal es el área con mayor abundancia y diversidad de microorganismos presentes. Estudios recientes han encontrado evidencia de que cambios en la microbiota repercuten de manera significativa en procesos inmunológicos, de crecimiento, metabólicos, desarrollo neurológico, comportamiento, salud, rendimiento y salubridad (Oakley y col., 2014; Rowland y col., 2018; Kraimi y col., 2019).

En el caso de las bacterias presentes en el tracto gastrointestinal de las aves domésticas, se han identificado alrededor de 17 filos, los más dominantes incluyen Firmicutes, Cyanobacteria, Actinobacteria, Proteobacteria y Bacteroidetes, que en conjunto representan el 99 % de la flora presente en el duodeno e ileón. Sin embargo, los microorganismos dominantes varían dependiendo de la estructura anatómica dentro del tracto gastrointestinal (Lv y col., 2021).

En las aves, la cavidad oral y la faringe forman una cavidad en común llamada orofarin-

ge a diferencia de los mamíferos que presentan dos cavidades separadas que convergen en una sola con el mismo nombre. Las aves toman el alimento con el pico y lo combinan con saliva, aunque la secreción de esta es muy poca, cumple como lubricante con la función de humedecer y facilitar el paso del alimento al esófago, que se dispone entre la orofaringe y el estómago glandular, y se divide en esófago cervical y torácico. En el esófago cervical se encuentra el buche, cuya función es almacenar alimento para que se reblandezca y favorecer su posterior digestión; si el ave está en ayuno, el alimento pasa directamente al proventrículo (estómago glandular), donde tiene lugar la segregación de los jugos gástricos que actúan sobre las proteínas, degradándolas para favorecer su posterior absorción. El ventrículo o molleja tritura y macera el alimento mediante contracciones musculares, que posteriormente pasará al intestino delgado, integrado por el duodeno, yeyuno e íleon. En dicha porción del tracto se lleva a cabo la absorción de nutrientes. Finalmente, pasa al intestino grueso, formado por un par de sacos ciegos, colon y al final la cloaca, en donde el alimento es expulsado en forma conjunta con la orina (Yadav y Jha, 2019; Wickramasuriya y col., 2022).

Uno de los factores que afectará tanto la función del tracto digestivo, así como la proliferación de microorganismos en el mismo, es la variación del pH dentro del tracto gastrointestinal. El pH varía en cada porción del tracto, por factores intrínsecos de la dieta, como es el tipo de presentación del alimento, o bien, el pH del agua que les es brindada a los animales (Angel y col., 2013; Valladares-de-la-Cruz, 2019). En la Tabla 1 se puede ver la diferencia de pH a lo largo del tracto digestivo de los pollos y gallinas de postura; mientras que en la Figura 1 se puede observar un esquema de su tracto gastrointestinal.

Cambios de la microbiota por etapas de producción

En estas aves, el proceso de mejoramiento genético se ha llevado a cabo por décadas, con el

■ Tabla 1. Microorganismos predominantes y pH tisular, según su localización en el tracto digestivo en pollos y gallinas de postura.

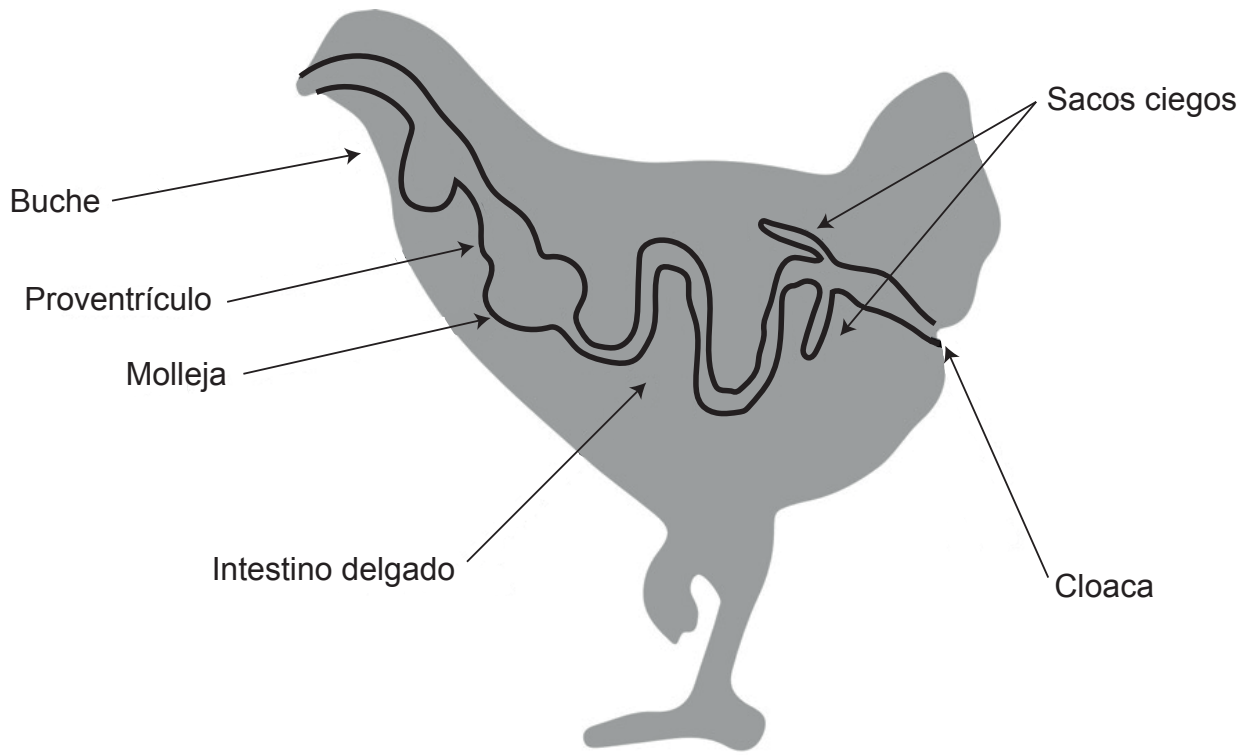
Table 1. Predominant microorganisms and pH tissue according to their location in the digestive tract on broilers and laying hens.

Microorganismos predominantes	Densidad bacteriana (cel/gramo)	Referencia
Buche (pH 6.75) (Ravindran, 2013; Valladares-de-la-Cruz, 2019)		
<i>Lactobacillus, Clostridiaceae, Bifidobacterium, Enterobacteriaceae, Enterococcus, Gallibacterium, Staphylococcus, Escherichia.</i>	10 ⁹	Rehman y col. (2007); Sekelja y col. (2012); Yeoman y col. (2012); Clavijo y Flores (2018); Valladares-de-la-Cruz (2019); Yadav y Jha (2019); Rychlik (2020); Shivajyothi y Krishna (2020)
Ventrículo y proventrículo (pH 2.5 a 3.5) (Ravindran, 2013; Valladares-de-la-Cruz, 2019)		
<i>Lactobacillus, Candidatus, Clostridiaceae, Enterococcus, Faecalibacterium, Acetanaerobacterium, Peptococcus, Ruminococcus, Escherichia, Gallibacterium, Bifidobacterium, Streptococcus, Staphylococcus.</i>	10 ⁸	Rehman y col. (2007); Sekelja y col. (2012); Yeoman y col. (2012); Yadav y Jha (2019); Rychlik (2020); Shivajyothi y Krishna (2020)
Duodeno (pH 5 a 6) (Ravindran, 2013; Valladares-de-la-Cruz, 2019)		
<i>Lactobacillus, Streptococcus, Ruminococcus, Faecalibacterium, Oscillospira, Coprococcus, Enterococcus, Turicibacter, Candidatus, Flavibacterium, Clostridium.</i>	10 ⁹ a 10 ¹¹	Yeoman y col. (2012); Clavijo y Flores (2018); Rychlik (2020); Shivajyothi y Krishna (2020); Lv y col. (2021)
Íleon (pH 7.9 a 7.5) (Ravindran, 2013; Valladares-de-la-Cruz, 2019)		
<i>Escherichia, Lactobacillus, Streptococcus, Enterobacteriaceae, Clostridiaceae, Turicibacter, Helicobacter, Ruminococci, Faecalibacterium, Ruminococcus, Thermus, Oscillospira, Coprococcus, Candidatus, Flavibacterium, Staphylococcus, Gallibacterium.</i>	10 ⁹ a 10 ¹¹	Torok y col. (2011); Yeoman y col. (2012); Van-der-Hoeven-Hangoor y col. (2013); Ravindran (2013); Clavijo y Flores (2018); Yadav y Jha (2019); Rychlik (2020); Shivajyothi y Krishna (2020); Lv y col. (2021)
Ciego (pH 8.0) (Ravindran, 2013; Valladares-de-la-Cruz, 2019)		
<i>Lactobacillus, Bacteroides, Clostridium, Bifidobacterium, Ruminococcus, Faecalibacterium, Candida, Acetanaerobacterium, Peptococcus, Bilophila, Enterococci, E. coli, Meganomonas, Olsenella, Collinsella, Cloacibacillus, Anaerotruncus, Eubacterium, Streptococcus, E. cecorum</i>	> 10 ¹¹	Rehman y col. (2007); Torok y col. (2011); Yeoman y col. (2012); Stanley y col. (2013); Ravindran (2013); Clavijo y Flores (2018); Yadav y Jha (2019); Shivajyothi y Krishna (2020); Rychlik (2020)

continúa...

Heces (pH 6.8) (Ravindran, 2013; Valladares-de-la-Cruz, 2019)		
<i>Lactobacillus, Clostridium, Fecalibacterium, Ruminococcus, Bacillus, Eubacterium, Fusobacterium, Escherichia, Enterococcus, Streptococcus</i>	*	Sekelja y col. (2012); Yeoman y col. (2012); Trawińska y col. (2016); Clavijo y Flores (2018); Yadav y Jha (2019)

*La concentración y presencia de bacterias pueden depender de las condiciones atmosféricas, estacionales y contaminación con el ambiente.



■ **Figura 1. Esquema del tracto gastrointestinal de las aves domésticas.**
 Figure1. Domestic poultry gastrointestinal tract diagram

objetivo de aumentar la eficiencia productiva, asociado a una eficiente conversión de alimento en masa corporal a través de la extracción de nutrientes. Adicionado a esto, se ha buscado una buena relación entre su metabolismo y funciones bioquímicas con la microbiota intestinal y los procesos que lleva a cabo, desde la degradación de los alimentos, hasta la síntesis de componentes, como los ácidos grasos de cadena corta o vitaminas, con efectos benéficos, al inducir mayor

rendimiento en tiempos de producción más cortos (Stanley y col., 2014; Qamar y col., 2020).

La microbiota de las aves está compuesta por aproximadamente 900 especies diferentes de microorganismos, y tan solo alrededor del 45 % de ellos pueden, con seguridad, asignarse a un género conocido (Stanley y col., 2014). La colonización de dichos microorganismos en el tracto gastrointestinal ocurre inmedia-

tamente después de la eclosión, incluso el microambiente de la incubadora influirá en las especies de microorganismos que estarán presentes, así como el manejo, material de la cama, alimento, transporte, recursos de enriquecimiento ambiental, agua, y otras aves, por lo tanto la colonización y el tipo de microbiota que se alojará en el tracto de las mismas es multifactorial (Stanley y col., 2014; Qamar y col., 2020; Seidlerova y col., 2020).

Estudios recientes le han dado seguimiento al establecimiento de la microbiota en las aves y muestran que la inoculación que empieza inmediatamente después de la eclosión, llega a una concentración de 10^8 a 10^{10} células microbianas/gramo de muestra, posterior al primer día, siendo bacterias como *Lactobacillus* spp, *Bifidobacterium* spp, coliformes y clostridios las más abundantes en esta edad. Posteriormente alcanza cierta estabilidad después del día 3, fluctuando con los cambios de alimentación (Stanley y col., 2014). Luego de la semana de edad, se comienza a ver una clara separación de la composición de la microbiota en las diferentes partes del tracto, ya que las bacterias que se alojan ahí ayudan con las actividades específicas que tiene cada sección, por ejemplo, las bacterias alojadas en mayor abundancia en el ciego ayudarán con la fermentación de los componentes del bolo alimenticio, mientras que las que están a lo largo del intestino delgado ayudarán en la degradación de los alimentos a componentes más simples, favoreciendo su absorción (Stanley y col., 2014). Dicha microbiota queda totalmente establecida hasta los 20 d de edad (Marmion y col., 2021). Autores como Oakley y col. (2014), mencionaron que a lo largo de la vida de los animales la composición de la microbiota se modifica, principalmente cuando se realizan variaciones en la dieta, o por la adición de un aditivo en ella, esto debido al cambio en las cantidades de nutrientes usadas en diferentes etapas del ciclo de producción (Oakley y col., 2014). Dado lo anterior, autores como Kayal y col. (2022) evaluaron la posibilidad de ejercer una mo-

dificación temprana y oportuna sobre la microbiota, mediante la aplicación de un producto probiótico a la recepción de los animales, obtuvieron un mejor peso en el grupo tratado a comparación del grupo control, y una composición de la microbiota más diversa y estable, demostrando que se puede ocupar como herramienta para obtener mejores parámetros productivos e incluso prevenir la colonización de potenciales patógenos.

Factores que afectan el establecimiento y diferenciación de la microbiota

Diversos factores influyen en la colonización de la microbiota, como manejo (lotificación por edad, bioseguridad, buenas prácticas pecuarias), alojamiento (pastoreo vs. sistema intensificado), genética, fin zootécnico, edad, y dieta. Una práctica común de manejo es mantener parvadas de la misma edad durante el mismo ciclo producción y evitar introducción de especímenes de diferente origen, es decir, las aves jóvenes o inmediatamente después de la eclosión, no conviven con las adultas, lo cual elimina la probabilidad de que la microbiota de estas últimas sea un inóculo primario a través del contacto con las heces o plumas y tenga un efecto en el desarrollo y establecimiento de la microbiota del ave joven. Las prácticas enfocadas a la higiene, tanto en la incubadora como en el alojamiento de los animales, la limpieza y desinfección está enfocada en eliminar las altas cargas bacterianas, específicamente bacterias patógenas, como puede ser *Salmonella*, *Escherichia* potencialmente patógena y *Mycobacterium* (Stanley y col., 2014). Las buenas prácticas pecuarias de bioseguridad implican limpieza al entrar en contacto directo con los animales, así como limpieza de material y de cajas de transporte, ya que también podrían participar como inóculo del tipo de microbiota que se alojará en el tracto digestivo. Es por eso que el manejo deberá de ser el adecuado para propiciar que sean las bacterias benéficas las que colonicen a los animales, por ello muchas veces se opta por la utilización de productos como los probióticos (Stanley y col., 2014; Shivajyothi y Krishna, 2020; Kayal y col., 2022).

Las condiciones ambientales de alojamiento como el sustrato, materiales de la cama, tipos de comederos y bebederos, condiciones de humedad, temperatura y ventilación, entre otras, afectan la microbiota e influenciarán el tipo de microorganismos que colonizan el tracto (Mancabelli y col., 2016). Seidlerova y col. (2020), reportaron un menor número de especies bacterianas y diferenciación en las especies que alojan aves bajo condiciones de producción intensiva, comparado con aquellas en sistema de pastoreo, mostrando estas últimas un notorio incremento de Bacteroidetes y proteobacterias en comparación con otros filos bacterianos (Seidlerova y col., 2020). En forma similar, Mancabelli y col. (2016) documentaron diferencias en los filos del tracto digestivo de pollos bajo distintas condiciones de producción; Firmicutes fueron reportados como microorganismos predominantes en el sistema tecnificado, mientras Bacteroidetes predominaron en el de libre pastoreo.

Los factores intrínsecos de los animales, como las diferencias genéticas de las aves y por ende el tipo de dieta diseñado específicamente para el fin zootécnico del ave comercial, también son determinantes para la colonización (Wickramasuriya y col., 2022). Un ejemplo es el ratio de Bacteroidetes: Actinobacter en las líneas de gallinas reproductoras de la línea Cobb, que fue más bajo comparado con la línea Ross de pollos de engorda (Marmion y col., 2021). Es decir, el perfil de microbiota se puede ver afectado por la línea genética y su fin zootécnico, en este caso, las reproductoras (no destinadas a consumo), comparado con las de abasto, las cuales requieren nutrientes, alojamiento y manejo específico para obtener un mejor rendimiento. También se ha observado que en especímenes con una mayor capacidad de conversión alimenticia predominan *Actinetobacter* spp, *Bacteroides* spp, *Clostridium* spp, *Lactobacillus* spp y *Streptococcus* spp, mientras que, en los que presentan conversiones bajas tienen una mayor abundancia solo en *Lactobacillus* (Marmion y col., 2021). El sexo del ave también es una determinante del tipo de microbiota,

ya que se ha reportado que machos y hembras solo tienen un 30 % de similitud en sus comunidades microbianas, diferenciándose principalmente en abundancia de *Lactobacillus salivarius*, *L. crispatus*, *L. aviaries* y *Escherichia coli.*, una causa posible de esta diferencia es por los criterios de selección; en el caso de los pollos se busca la utilización de solo machos, y para el caso de líneas de postura se busca la utilización y mejoramiento de las hembras (Wickramasuriya y col., 2022).

La edad también influye, se espera que el temprano establecimiento de la microbiota ayude a la maduración del sistema inmune, por lo tanto, las bacterias que se alojan primariamente en el tracto no forzosamente estarán a lo largo de la vida del animal. En dicho sentido, se han encontrado géneros que están presentes a lo largo de toda la vida de las aves, los cuales son *Halomonas* spp, *Lactobacillus* spp, *Bacteroides* spp y *Enterococcus* spp (Wickramasuriya y col., 2022).

La dieta y los elementos que la componen es quizá el factor que más influencia tiene en el desarrollo y establecimiento de la microbiota de los animales, no obstante, a lo largo de un ciclo productivo se ofrecen diversas dietas para lograr el objetivo de producción y algunos componentes pueden participar en la colonización y establecimiento de ciertos grupos bacterianos, por ejemplo, un alto contenido de fibra se ha asociado a una mayor colonización de *Bifidobacterium* spp, *Lactobacillus* spp, *Akkermanasia* spp, *Faecalibacterium* spp, *Roseburia* spp, *Bacteroides* spp y *Prevotella* spp, y también se ha indicado que puede propiciar una reducción en enterobacterias, siendo la celulosa uno de los componentes de la dieta que más presenta este efecto (Berding y col., 2021).

Los lípidos tendrán un efecto dependiendo su tipo. Se ha reportado que ácidos grasos de cadena media pueden incrementar la abundancia de *Bifidobacterium* spp, *Bacteroides* spp y *Prevotella* spp así como una reducción de *Clostridium* spp. y *Helicobacter* spp. (Berding y col., 2021).

En cuanto a las proteínas y aminoácidos, las dietas ricas en proteína animal propician la abundancia de *Peptostreptococcaceae* spp, *Ruminococcaceae* spp, *Enterococcus* spp, *Streptococcus* spp, *Turicibacter* spp y *Escherichia* spp, a comparación de las dietas basadas en proteína vegetal que propician la abundancia de *Bifidobacterium* spp, *Roseburia* spp y *Lactobacillus* spp y en menor nivel, la de *Bacteroides* spp y *Clostridium* spp (Berding y col., 2021).

Dietas con diferentes minerales o abundancia de estos afectará cómo y en qué cantidad los microorganismos colonizan el tracto, por ejemplo, la suplementación con hierro ha demostrado que incrementan la abundancia de organismos como *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium difficile* y *Salmonella* spp, que contribuyen en procesos de inflamación intestinal (Berding y col., 2021).

Es probable que los programas de vacunación tengan un efecto en el desarrollo de la microbiota. Orso y col. (2021) identificaron que pollos de engorda vacunados contra coccidias, mediante una vacuna viva, presentaron una disminución en el porcentaje de Bacteroidetes, responsables de producción de ácidos grasos de cadena corta que mejoran la salud intestinal. Lo cual es consistente con el pobre desempeño productivo observado, comparado con el grupo que recibió un tratamiento de salinomicina. Esto demuestra lo sensible que es dicho medio y su forma de colonización durante el desarrollo, e incluso en etapas ya adultas, puesto que los calendarios de vacunación y alimentación animal cambian según las diferentes etapas a lo largo de un ciclo de producción.

Es importante considerar que las nuevas tendencias de producción al aire libre, principalmente, participarán de forma diferente en cómo se coloniza la microbiota, y que las bacterias estarán presentes en mayor abundancia (Berding y col., 2021). Las diferencias que existen entre los diferentes tipos de ave (línea genética, sexo, edad, propósito, tipo de dieta),

y la microbiota que van a albergar estas a lo largo del tracto gastrointestinal, también dependerá de las condiciones microambientales de cada porción del tracto; cada parte del mismo estará especializada en una acción, y tendrá una concentración de pH diferente afectando a los tipos de microorganismos que se pueden albergar ahí (Tabla 1) (Yeoman y col., 2012; Oakley y col., 2014; Stanley y col., 2014; Kraimi y col., 2019).

Eje microbiota-intestino-cerebro

La relación entre la microbiota y el sistema nervioso de los animales, conocida como “eje-microbiota-intestino-cerebro” (microbiota-gut-brain-axis, en inglés) y sus acciones, influyen en el desarrollo cerebral, procesos neuronales, procesos relacionados a la percepción del dolor, eje hipotálamo-hipofisiario y el comportamiento de las aves, y otros animales, incluyendo al humano (Qi y col., 2021). Estas acciones son de suma relevancia para el bienestar, por relacionarse con el estrés, memoria, comportamiento de alimentación, comportamiento social, desarrollo de los animales, crecimiento y el estado inmunológico, así mismo el cerebro modula la fisiología y composición de la microbiota y el sistema inmune entérico, dándose una retroalimentación que ejercen las tres partes del eje, la microbiota, el tracto digestivo y el sistema nervioso (Kraimi y col., 2019; Qi y col., 2021). El eje ha sido bien documentado, principalmente en mamíferos, pero existe poca información en cómo impacta en la salud de las aves (Kraimi y col., 2019; Queiroz y col., 2020; Berding y col., 2021; Cao y col., 2021; Qi y col., 2021). En estas últimas se ha reportado que los estímulos de inflamación intestinal, el epitelio, los músculos del tracto y el sistema inmune transmiten señales al sistema nervioso, lo cual también propicia la circulación de citocinas hacia el tracto, siendo el nervio vago el que tiene gran participación en la transmisión de dichas señales. Estos estímulos activan el eje hipotálamo-pituitario-adrenal que incrementa los niveles de corticosterona, por lo cual, se da una combinación de factores que desencadenan al final en una baja en el consu-

mo de alimento, pérdida de peso, pérdida de movimiento y aumento en el comportamiento de descanso, que son considerados como signos de enfermedad (Wickramasuriya y col., 2022).

También en aves se ha estudiado la participación del eje en condiciones de enfermedad, es el caso de la enteritis necrótica, donde se muestra un marcado cambio en el comportamiento de descanso, caminar, alimentación y el estado estático. Los microorganismos presentes generan componentes neuro activos que actúan localmente en el sistema nervioso entérico y que pasarán a la circulación sanguínea, estas señales llegan al cerebro y modulan la cognición y el comportamiento, todo derivado de los cambios en la salud del tracto digestivo (Wickramasuriya y col., 2022). Se demostró que la exposición a *Clostridium perfringens* resultó en un aumento en los niveles del neurotransmisor dopamina, en tanto que, la exposición a *Eimeria* spp indujo una reducción en la producción de la molécula (Wickramasuriya y col., 2022).

Funciones de la microbiota en el organismo

La participación de la microbiota en los procesos fisiológicos de un organismo es de muchas maneras más importante de lo que se puede llegar a pensar, ya que un desequilibrio en la misma repercute no solo en enfermedades intestinales y/o mantenimiento de la homeostasis intestinal de los animales (Oakley y col., 2014), sino que, también facilita la aparición de diversos problemas que se conjuntan con procesos infecciosos, patógenos y desórdenes metabólicos, como la disbacteriosis (Kraimi y col., 2019). Por ejemplo, los sacos ciegos son una porción intestinal relevante en cuanto a microbiota cecal, ya que es uno de los lugares con mayor abundancia y diversidad microbiana. En esta porción, el bolo alimenticio pasa el mayor tiempo de digestión y aquí se llevan a cabo procesos fisiológicos importantes, incluyendo el reciclaje del ácido úrico, que es convertido por algunos microorganismos para la formación de aminoácidos, como la glutamina, además de la regulación del

agua y fermentación de carbohidratos, lo cual tiene una importante contribución en la salud intestinal, nutrición y eficiencia alimentaria (Oakley y col., 2014). Es por ello que, la microbiota ejerce un efecto sobre el organismo y se regula mediante señalización química, procesos endocrinológicos e inmunológicos y competencia hacia otros microorganismos (Qamar y col., 2020; Cao y col., 2021).

La interacción entre el organismo y la microbiota se puede dar por procesos inmunológicos por competencia, para impedir el establecimiento de patógenos (Rowland y col., 2018; Cao y col., 2021; Qi y col., 2021; Queiroz y col., 2022).

Las señales químicas que ejercen los microorganismos se dan mediante productos de su metabolismo. Un ejemplo es la fermentación de ciertos carbohidratos que resultan en la producción de ácidos grasos de cadena corta, como lo son el butirato, el cual se ha relacionado con microorganismos pertenecientes a los *Firmicutes*, el propionato que es un recurso energético para las células epiteliales y ha sido relacionado con especies de *Bacteroides* spp. y algunas especies de *Clostridium* spp (Rowland y col., 2018; Cao y col., 2021; Qi y col., 2021; Queiroz y col., 2022).

También se ha señalado que los microorganismos pueden sintetizar algunos neurotransmisores, por ejemplo, microorganismos de los géneros *Bacteroides* spp, *Bifidobacterium* spp, *Lactobacillus* spp y *Escherichia* spp producen el ácido gamma aminobutírico, inhibidor del sistema nervioso; *Bacillus* spp y *Lactobacillus plantarum* se relacionan con la producción de acetilcolina (neurotransmisor esencial para la comunicación entre células nerviosas). Mientras que *Streptococcus* spp *Escherichia* spp y *Lactococcus* spp son relevantes para el metabolismo de triptófano, y por ende la síntesis de serotonina (neurotransmisor relacionado con el estado de ánimo, regulación del sueño, apetito y estrés); en tanto estudios *in vitro* de bacterias como *Escherichia* spp y *Staphylococcus aureus* han reportado producción de dopamina (neurotransmisor relacionado con las fun-

ciones cognitivas y el estado de ánimo). Por lo que se puede confirmar la participación de bacterias en la función del sistema nervioso, y el estado emocional de los animales (Rowland y col., 2018; Cao y col., 2021; Qi y col., 2021; Queiroz y col., 2022).

Otro resultado del metabolismo de los grupos bacterianos son la formación de células enteroendócrinas que regulan hormonas como la colecistoquinina, que participa en la modulación del apetito y el mantenimiento de la homeostasis de la glucosa, o la síntesis de algunos metabolitos que se comunican con el sistema nervioso como ácidos biliares, que intervienen en procesos de desintoxicación y la respuesta inmune intestinal (Qi y col., 2021).

En el caso del sistema inmune, uno de los efectos observados es que la microbiota media el desarrollo y función de la microglía (célula del sistema nervioso involucrada en la respuesta inflamatoria con capacidad fagocitaria), y de las interleucinas que tienen un papel importante en la comunicación entre células del sistema inmune, participando principalmente en procesos de inflamación (Berding y col., 2021; Cao y col., 2021; Qi y col., 2021). Algunos reportes indican que los procesos de inflamación pueden alterar la integridad de la barrera hematoencefálica, que permite el paso de moléculas que activan la microglía y el potencial proinflamatorio de los astrocitos, que pueden desencadenar en la destrucción de neuronas e interrupción de procesos cerebrales y nerviosos, o bien, por competencia contra microorganismos patógenos, impidiendo que estos se alojen en el intestino (Berding y col., 2021; Cao y col., 2021; Qi y col., 2021). Cuando bacterias consideradas patógenas aumentan su abundancia, pueden causar problemas como la enteritis necrótica, que conduce a la reducción y destrucción de las vellosidades, lo cual repercutirá en el rendimiento de los animales, esto es el caso de *Clostridium perfringens* (Qamar y col., 2020).

Se ha sugerido que la microbiota puede fungir como mediador o moderador en las res-

puestas conductuales del organismo, las cuales no dependen totalmente de la microbiota, pero participa en cómo se expresan las conductas del organismo. Esto se ha estudiado mediante la transferencia de microbiota, de ratones alimentados con dietas altas en grasas hacia ratones con dietas convencionales, resultando en una alteración del comportamiento basal de estos últimos ratones (Berding y col., 2021).

Otro efecto observado, es el comportamiento y relación de la microbiota durante el estrés calórico, que es uno de los principales problemas que puede aquejar a las aves comerciales. Se ha identificado que el tracto digestivo responde a este tipo de estrés con cambios en el intestino, tanto en estructura, función y la composición de su microbiota, donde la prevalencia y proliferación de organismos patógenos, como *Salmonella* spp, se incrementa, es decir, por efecto del estrés calórico se induce una reducción en su apetito e ingesta de alimento, lo que puede modificar la microbiota (Cao y col., 2021). Se ha reportado un incremento de Firmicutes con una disminución de Proteobacteria, siendo familias como *Turicibacteriaceae*, *Ruminococcaceae* y *Enterobacteriaceae*, los microorganismos que proliferan en estas condiciones; en el caso específico de gallinas de postura, se reporta un incremento en *Escherichia* spp, *Shigella* spp y *Clostridium* spp (Cao y col., 2021).

El picaje es otro de los problemas conductuales que más se presenta en las aves, el cual se da cuando picotean el plumaje de otras, causando un daño que puede ser leve, a incluso llegar a desencadenar el canibalismo. Si bien, dicho comportamiento depende de muchos factores, se ha encontrado evidencia que lo relaciona con la composición de la microbiota, donde algunas líneas de gallinas están predisuestas a un alto picaje y tienen una composición en la microbiota diferente a las líneas que manifiestan bajo picaje (Van-der-Eijk y col., 2019). Las primeras tienen una mayor presencia de clostridios y menor en *Lactobacillus* spp, com-

parado con las de un bajo picaje (Van-der-Eijk y col., 2019).

Los bajos niveles de *Lactobacillus* spp en la microbiota pueden modular algunos comportamientos. En ratones se observó que dietas adicionadas con *Lactobacillus rhamnosus* redujeron comportamientos sugerentes a ansiedad y depresión (Bravo y col., 2011); por lo que el bajo contenido de estos microorganismos en líneas genéticas de gallinas, que predisponen al picaje, pueden explicar la sobreexpresión de dicho comportamiento no deseado (Van-der-Eijk y col., 2019). No obstante, la relación entre el picaje y composición microbiana intestinal ha sido cuestionada, ya que no fue posible identificar dicha relación en otro estudio con gallinas ponedoras (Borda-Molina y col., 2021). Estos últimos resultados resaltan la importancia de seguir investigando la relación de la microbiota y comportamientos, tanto deseados (baño de tierra) como no deseados (picaje), para así encontrar áreas a mejorar en la avicultura (Borda-Molina y col., 2021).

Uno de los productos inevitables del metabolismo de la microbiota es la producción de gases, que es el resultado de la fermentación anaerobia que realizan los microorganismos dentro del tracto digestivo y que son expulsados al momento de las deyecciones. El hidrógeno parecen ser producto de la microbiota asociada a *Bacteroides* spp y *Clostridium* spp. Otro gas de emisión es el dióxido de carbono, el cual está asociado a algunas especies de *Clostridium* spp que producen adicionalmente nitrógeno (Rowland y col., 2018).

Se ha señalado, que los *Bacteroides* spp y *Protonibacterium* spp son especies predominantes que actúan sobre proteínas, reduciéndolas a péptidos más pequeños o aminoácidos, por sus capacidades de hidrólisis proteica (Qamar y col., 2020). Algunas bacterias tienen la capacidad de sintetizar vitaminas, principalmente vitamina K y algunas vitaminas del complejo B como biotina (B7), cobalamina (B12), ácido nicotínico (B2), ácido pantoténico (B5),

riboflavina (B2) y tiamina (B1), las cuales no solo son importantes para los animales, sino también para el metabolismo de la microbiota (Qamar y col., 2020).

Los animales libres de microbiota y una dieta sin vitamina K, presentan bajos niveles de protrombina y desarrollan hemorragias, indicando la importancia de ambos factores en los procesos de coagulación, por lo que es conveniente fortificar la dieta con vitamina K. Algunos otros componentes de la microbiota rompen los disacáridos no digestibles, oligosacáridos y polisacáridos, sintetizando ácidos grasos de cadena corta, que son una fuente de energía y carbono para el organismo y para otras comunidades bacterianas (Qamar y col., 2020). Además, la microbiota tiene una relación con la actividad de los ácidos biliares, ya que algunos microorganismos son capaces de modificar la estructura y propiedades de los ácidos biliares, lo cual confiere ventajas en sus características antimicrobianas, principalmente en su efecto detergente sobre la membrana bacteriana, limitando la proliferación de algunas bacterias, sobre todo *Bacteroides* spp, *Bifidobacterium* spp, *Clostridium* spp, *Lactobacillus* spp y *Listeria* spp (Rowland y col., 2018).

Otro de los campos que recientemente se ha explorado es su relación y función ante el viroma, que son los virus que se encuentran presentes en los animales, aunque el rol del viroma en la salud y la enfermedad de un organismo no se ha comprendido del todo (Yuan y col., 2020). La forma en que ayuda la microbiota a lidiar con las enfermedades virales, es mediante mecanismos de competición y regulación de mecanismos de inmunidad antiviral, como son la producción de interferones y células antiinflamatorias que promueven la respuesta inmune humoral (Abaidullah y col., 2019). Por ejemplo, en influenza aviar, la cepa viral H9N2 causa alteraciones en la composición de la microbiota intestinal, incrementando los niveles de proteobacterias con lo que se activa el mecanismo de competición que impide la colonización de bacterias

patógenas para los animales. Una microbiota estable evitará una infección secundaria. Mientras que en la enfermedad de Newcastle, la microbiota cecal y duodenal presentan un aumento en las familias *Sinobacteraceae* y *Rhodoplanes*. La microbiota puede propiciar un estímulo hacia las células para la generación de interferón beta o alfa, así como algunas interleucinas como la IL-22 e IL-17. En la enfermedad de Gumboro, el efecto de la inmunosupresión que sufre el ave altera la microbiota, provocando la colonización de *Campylobacter jejuni* y *Salmonella* spp (Yuan y col., 2020). Abaiidullah y col (2019) y Yuan y col. (2022) mencionaron una relación estadística positiva entre microorganismos como *Collinella*, *Faecalibacterium*, *Oscillibacter*, *Holdemanna*, *Pseudoflavonifractor*, *Anaerotruncus*, *Butyriricoccus*, *Bifidobacterium* y la producción de interferones e interleucinas.

Relación entre la microbiota aviar y la salud humana

Campylobacter jejuni, *Salmonella enteritidis* y *Escherichia coli*, bacterias que pueden estar presentes en la microbiota de las aves, son capaces de generar enfermedades en el humano, si las prácticas de manejo, matanza y de procesamiento no son las adecuadas, llegando al producto final y a los consumidores (Oakley y col., 2014; Stanley y col., 2014; Marmion y col., 2021; Saati-Santamaría y col., 2022). Otro tema que puede afectar a los consumidores es el uso de antibióticos, por la generación de resistencia a los mismos por parte de las bacterias. En la industria avícola se ha utilizado a los antibióticos como promotores de crecimiento, ya que tienen una acción sobre la microbiota, donde bacterias potencialmente patógenas pueden generar una resistencia y volverse un problema de salud pública. Debido a ello, varias disciplinas han propuesto alternativas para la reducción del uso de antibióticos. Estas han sido aplicadas eficazmente en el mundo comercial, los productos utilizados incluyen probióticos, prebióticos y simbióticos, que buscan la modulación de la microbiota para eficientizar la producción de alimento (Kogut, 2019; Wickramasuriya y col., 2022).

Modulación de la microbiota

Los probióticos y prebióticos se han convertido en una de las principales opciones para reducir el uso de antibióticos y hacer más eficiente la producción avícola. Son usualmente utilizados posteclosión para propiciar una rápida colonización de bacterias benéficas para los animales, así mismo, se recomienda suministrarlos durante los cambios de dieta, de iniciación a crecimiento y de crecimiento a finalización. De igual manera, se recomienda en casos de disbiosis bacteriana, esto con el fin de buscar un mejor peso, crecimiento y protección contra posibles patógenos (Kogut, 2019; Qamar y col., 2020).

Los probióticos son definidos como microorganismos vivos que, cuando son administrados en cantidades adecuadas, confieren beneficios en la salud del organismo. Usualmente actúan por exclusión competitiva contra bacterias patógenas, mejoramiento de la respuesta inmune y de la función de barrera, producción de bacteriocinas y mejoramiento de la homeostasis intestinal. Los probióticos que han sido utilizados frecuentemente en la industria avícola son *Lactobacillus* spp, *Bacillus* spp, *Bifidobacterium* spp, *Enterococcus* spp y *Escherichia* spp (Kogut, 2019; Qamar y col., 2020).

Los prebióticos son definidos como componentes de alimentos que confieren un beneficio asociado a cierta microbiota. Deben ser resistentes a la hidrólisis y a la absorción, y tienen que ser sustratos exclusivos para los microorganismos de interés. Fructooligosacáridos, inulina, manano oligosacáridos y levaduras han sido utilizados en la industria avícola para mejorar el crecimiento, la conversión alimenticia y la salud intestinal (Oakley y col., 2014; Kogut, 2019; Qamar y col., 2020).

Los simbióticos son la combinación de probióticos y prebióticos, están diseñados no solo para presentar comunidades microbianas benéficas, sino para promover la proliferación de esta microbiota y de otras dentro del tracto digestivo (Kogut, 2019; Qamar y col., 2020).

La microbiota ha sido considerada como un “órgano funcional” más de los organismos, ya que las actividades que realizan por sí mismas, y en las que participan, son de gran importancia para la fisiología de los animales (Kogut, 2019).

CONCLUSIONES

La caracterización de la microbiota gastrointestinal de las aves ha permitido una mejor comprensión de la simbiosis entre los microorganismos y el organismo. Entender con mayor profundidad dicha relación permitirá usar estas poblaciones de microorganismos como herramientas para mejorar el rendimiento y las pautas de la producción animal. Lo anterior incluye la elaboración de nuevos planes de alimentación, el tipo de manejo, el manejo del entorno, e incluso el tratamiento o prevención de ciertas enfermedades. La mo-

dificación de la microbiota, o de las condiciones ambientales que favorezcan una determinada microbiota traerá beneficios no solo productivos, sino también en salud y bienestar animal. Las estrategias que se pueden implementar incluyen aditivos probióticos, prebióticos y simbióticos dirigidos a acciones específicas, con alto impacto en la salud animal, como el correcto funcionamiento de varios sistemas, no solo el gastrointestinal; el nervioso y el inmunológico también se verían beneficiados, además de que podrían minimizarse la presentación de comportamientos no deseados, por lo que su uso será cada vez más común en la avicultura.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflicto de interés alguno.

REFERENCIAS

- Abaidullah, M., Peng, S., Kamran, M., Yin, Z., and Song, X. (2019). Current findings on gut microbiota mediated immune modulation against viral diseases in chicken. *Viruses*. (11): 1-14.
- Angel, R., Kim, S. W., Li, W., and Jimenez-Moreno, E. (2013). *Velocidad de paso y pH intestinal en aves: Implicaciones para la digestión y el uso de enzimas*. XXIX Curso de Especialización FEDNA. [En línea]. Disponible: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/05-13CAP_VIIItrad.pdf. Fecha de consulta: 28 de enero de 2022.
- Berding, K., Vlckova, K., Marx, W., Schellekens, H., Stanton, C., Clarke, G., ..., and Cryan, J. F. (2021). Diet and the microbiota-gut-brain axis: Sowing the seeds of good mental health. *Advances in Nutrition*. (12): 1239-1285.
- Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Vergès, M. C. C., Charles, T., ..., and Schloter, M. (2020). Microbiome definition revisited: old concepts and new challenges. *Microbiome*. (8): 1-22.
- Borda-Molina, D., Iffland, H., Schmid, M., Muller, R., Schad, S., Seifert, J., ..., and Camarinha-Silva, A. (2021). Gut microbial composition and predicted functions are not associated with feather pecking and antagonistic behavior in laying hens. *Life*. (11): 1-13.
- Bravo, J. A., Forsythe, P., Chew, M. V., and Cryan J. F. (2011). Ingestion of *Lactobacillus* strain regulates emotional behavior and central GABA receptor expression in a mouse via the vagus nerve. *Biological sciences*. (38): 16050-16055.
- Cao, C., Chowdhury, V. S., Cline, M. A., and Gilbert, E. R. (2021). The microbiota-gut-brain axis during heat stress in chickens: A review. *Frontiers in Physiology*. (12): 1-11.
- Clavijo, V. and Florez, J. (2018). The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poultry Science*. (97): 1006-1021.
- Hammer, T., Sanders, J., and Fierer, N. (2019). Not all animals need a microbiome. *FEMS Microbiology Letters*. (366): 1-11.
- Kayal, A., Stanley, D., Radovanovic, A., Horyanto, D., Bajagai, Y., and Hao-Van, T. (2022). Controlled intestinal microbiota colonization in broilers under the industrial production system. *Animals*. (12): 1-19.
- Kraimi, N., Dawkins, M., Gebhardt-Henrich, S. G., Velge, P., Rychlik, I., Volf, J., ..., and Leterrier, C. (2019). Influence of the microbiota-gut-brain axis on behavior and welfare in farm animals: A review.

Physiology and Behavior. (210): 1-12.

Kogut, M. H. (2019). The effect of microbiome modulation on the intestinal health of poultry. *Animal Feed Science and Technology.* (250): 32-40.

Lv, H., Huang, Y., Wang, T., Zhai, S., Hou Z., and Chen, S. (2021). Microbial composition in the duodenum and ileum of yellow broilers with high and low feed efficiency. *Frontiers in Microbiology.* (12).

Mancabelli, L., Ferrario, C., Milani, C., Mangifesta, M., Turrone, F., Duranti, S., ..., and Ventura, M. (2016). Insights into the biodiversity of the gut microbiota of broiler chickens. *Environmental Microbiology.* (18): 4727-4738.

Marmion, M., Ferone, M. T., Whyte, P., and Scannell, A. G. M. (2021). The changing microbiome of poultry meat; from farm to fridge. *Food Microbiology.* (99): 1-16.

Oakley, B. B., Lillehoj, H. S., Kogut, M. H., Kim, W. K., Maurer, J. J., Pedroso, A., ..., and Cox, N. A. (2014). The chicken gastrointestinal microbiome. *FEMS Microbiology Letters.* (360): 100-112.

Orso, C., Stefanello, T. B., Franceschi, C. H., Mann, M. B., Varela, A. P. M., Catro, I. M. S., ..., and Ribeiro, A. M. L. (2021). Changes in the ceca microbiota of broilers vaccinated for coccidiosis or supplemented with salinomycin. *Poultry Science.* (100): 1-9.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ..., and Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery.* (88): 1-9.

Qamar, A., Waheed, J., Hamza, A., Mohyuddin, S. G., Lu, Z., Namula, Z., ..., and Chen, J. J. (2020). The role of intestinal microbiota in chicken health, intestinal physiology and immunity. *Journal of Animal and Plant Sciences.* (31): 342-351.

Qi, M., Tan, B., Wang, J., Liao, S., Deng, Y., Ji, P., ..., and Yin, Y. (2021). The microbiota-gut-brain axis: A novel nutritional therapeutic target for growth retardation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* (62): 4867-4892.

Queiroz, S. A. L., Ton, A. M. M., Pereira, T. M. C., Campagnaro, B. P., Martinelli, L., Picos, A., ..., and Vasquez, E. C. (2022). The gut microbiota-brain axis: A new frontier on neuropsychiatric disorders. *Frontiers in Psychiatry.* (13): 1-10.

Ravindran V. (2013). Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *Poultry Science Association.* (22): 628-636.

Rehman, H. U., Vahjen, W., Awad, W. A., and Zentek, J. (2007). Indigenous bacteria and bacterial metabolic products in the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition.* (61): 319-335.

Rowland, I., Gibson, G., Heinken, A., Scott, K., Swann, J., Thiele, I., and Tuohy, K. (2018). Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components. *European Journal of Nutrition.* (57): 1-24.

Rychlik, I. (2020). Composition and Function of Chicken Gut Microbiota. *Animals.* 10(1): 1-20.

Saati-Santamaría, Z., Revilla-Martín, I., García-Fraile, P., and Palacios-Riocerezo, C. (2022). Evolution and predicted functions of the microbiota of the medium-slow growing chicken during the first 4 weeks of chick development. *Annals of Applied Biology.* (181): 9-21.

Seidlerova, Z., Kubasova, T., Faldynova, M., Crhanova, M., Karasova, D., Babak, V., and Rychlik, I. (2020). Environmental impact on differential composition of gut microbiota in indoor chickens in commercial production and outdoor, backyard chickens. *Microorganisms.* (8): 1-11.

Sekelja, M., Rud, I., Knusten, S., Denstadli, V., Westereng, B., Naes, T., and Rudi, K. (2012). Abrupt temporal fluctuations in the chicken fecal microbiota are explained by its gastrointestinal origin. *Applied Environmental Microbiology.* (78): 2941-2948.

Shivajyothi, J. and Krishna, S. (2020). Poultry gut microbiota - Composition and its role in health, immunity and production performance. *Indian Journal of Animal Health.* (52): 164-180.

Stanley, D., Geier, M., Hughes, R., Denman, S., and Moore, R. (2013). Highly variable microbiota development in the chicken gastrointestinal tract. *Plos One.* (8): 1-7.

Stanley, D., Hughes, R. J., and Moore, R. J. (2014). Microbiota of the chicken gastrointestinal tract: Influence on health, productivity and disease. *Applied Microbiology and Biotechnology.* (98): 4301-4310.

Torok, V., Hughes, R., Mikkelsen, L., Perez-Maldonado, R., Balding, K., McAlpine, R., ..., and Ophel-Keller, K. (2011). Identification and characterization of potential performance related gut microbiota in broiler chickens across various feeding trials. *Applied and Environmental Microbiology.* (77): 5868-5878.

Trawińska, B., Chmielowiec-Korzeniowska, A., Nowakowicz-Dębek, B., Tymczyna, L., Bombik, T., Pyrz, M., and Tymczyna-Sobotka, M., (2016). Evaluation of microbial contamination of feces and soil on a laying-hen farm depending on sampling site and season. *Revista Brasileira de Zootecnia*. (45): 190-194.

Valladares-de-la-Cruz, J. C. (2019). *Diferencias Anatómicas, Histológicas y Fisiológicas entre Mamíferos y Aves - BM Editores*. [En línea]. Disponible en: <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/diferencias-anatomicas-histologicas-y-fisiologicas-entre-mamiferos-y-aves-2214/>. Fecha de consulta: 12 de febrero de 2023.

Van-der-Eijk, J., de-Vries, H., Kjaer, J. B., Naguib, M., Kemp, B., Smidt, H., ..., and Lammers, A. (2019). Differences in gut microbiota composition of laying hen lines divergently selected on feather pecking. *Poultry Science*. (98): 7009-7021.

Van-der-Hoeven-Hangoor, E., Van-der-Voosen, J., Shuren, F., Verstegen, M., de-Oliveira, J., Montijn, R., and Hendriks, W. (2013). Ileal microbiota composition of broilers fed various commercial diet compositions. *Poultry Science*. (92): 2713-2723.

Wickramasuriya, S. S., Park, I., Lee, K., Lee, Y., Kim, W. H., Nam, H., Lillehoj, and H. S. (2022). Role of physiology, immunity, microbiota, and infectious diseases in the gut health of poultry. *Vaccines*. (10): 1-30.

Yadav, S. and Jha, R. (2019). Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. (10): 1-11.

Yeoman, C. J., Chia, N., Jeraldo, P., Sipos, M., Goldenfeld, N. D., and White, B. A. (2012). The microbiome of the chicken gastrointestinal tract. *In Animal health research reviews/Conference of Research Workers in Animal Diseases*. (13): 89-99.

Yuan, L., Hensley, C., Mahsoub, H. M., Ramesh, A. K., and Zhou, P. (2020). Microbiota in viral infection and disease in humans and farm animals. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*. (171): 15-60.



Imagen tomada de: Canva educativo

Aplicación de filtros Savitzky-Golay y transformada rápida de Fourier en el procesamiento de espectros derivados obtenidos a partir de soluciones de asfaltenos

Application of Savitzky-Golay and Fast Fourier Transform filters in the processing of derivative spectra obtained from asphaltene solutions

Sergio Iván Padrón-Ortega, Ernestina Elizabeth Banda-Cruz, Nohra Violeta Gallardo-Rivas*

RESUMEN

Los asfaltenos son mezclas ultracomplejas que impactan negativamente la refinación, producción y transporte del petróleo. El interés en su estudio abarca desde su caracterización para definir su estructura molecular, hasta la comprensión de su comportamiento interfacial. Los asfaltenos presentan una gran diversidad de grupos funcionales y diferentes tipos de asociaciones como las de tipo no covalentes, enlaces de hidrógeno, complejo de coordinación e interacciones entre núcleos aromáticos paralelos. El objetivo de este trabajo fue analizar la composición presente en asfaltenos extraídos de crudos pesados y extrapesados mediante espectroscopía derivada. Se prepararon soluciones de asfaltenos en el rango de concentración de 20 mg/L a 100 mg/L y se analizaron con espectroscopía UV-Vis. La selección de los espectros de orden cero para el procesamiento se realizó con base en la nitidez presente. Los espectros fueron procesados con OriginPro 8.5, para la obtención de espectros derivados de primer y segundo orden. El procesamiento de los espectros de orden cero fue realizado con los filtros Savitsky-Golay y transformada rápida de Fourier (FFT). Los espectros derivados obtenidos presentaron señales nítidas con presencia de poco ruido, lo que hizo posible la identificación de grupos funcionales aromáticos, de 1 a 4 anillos en el rango de longitudes onda de 200 nm a 450 nm. El uso de filtros mejoró la calidad de las señales y permitió la identificación de componentes y estructuras presentes en asfaltenos. El filtro de Savitsky-Golay incrementó la resolución de los espectros derivados de asfaltenos extraídos de crudos pesados y el filtro FFT de asfaltenos de crudos extrapesados. Se observaron diferencias morfológicas entre los asfaltenos extraídos de crudos pesados y extrapesados mediante SEM, que pueden ser relacionadas con la composición y estructuras aromáticas presentes en asfaltenos.

PALABRAS CLAVE: asfaltenos, espectroscopía derivada, Savitsky-Golay, filtros FFT.

ABSTRACT

Asphaltenes are ultra-complex mixtures that negatively impact oil refining, production and transportation. The interest in its study ranges from its characterization to define its molecular structure, to the understanding of its interfacial behavior. Asphaltenes present a great diversity of functional groups and different types of associations such as non-covalent ones, hydrogen bonds, coordination complexes and interactions between parallel aromatic nuclei. The objective of this work was to analyze the composition present in asphaltenes extracted from heavy and extra-heavy crude oils using derivative spectroscopy. Asphaltene solutions were prepared in the concentration range of 20 mg/L to 100 mg/L and analyzed with UV-Vis spectroscopy. The selection of zero-order spectra for processing was made based on the sharpness present. The spectra were subsequently processed with OriginPro 8.5, to obtain first and second-order derived spectra. The processing of the zero order spectra was performed with the Savitsky-Golay and Fast Fourier transform (FFT) filters. The derived spectra obtained presented clear signals with the presence of little noise, which made possible the identification of aromatic functional groups, from 1 to 4 rings in the wavelength range of 200 nm to 450 nm. The use of filters improved the quality of the signals and allowed the identification of components and structures present in asphaltenes. The Savitsky-Golay filter increased the resolution of the spectra derived from asphaltenes extracted from heavy crude oils and the FFT filter increased the asphaltenes extracted from heavy crude oils. Morphological differences between asphaltenes extracted from heavy and extra-heavy crude oils were observed by SEM, which may be related to the composition and aromatic structures present in asphaltenes.

KEYWORDS: asphaltenes, derivative spectroscopy, Savitsky-Golay, FFT filters.

*Correspondencia: nohra.gr@cdmadero.tecnm.mx/ Fecha de recepción: 1 de julio de 2023/ Fecha de aceptación: 5 de enero de 2024/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2024.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Centro de Investigación en Petroquímica, Prol. Bahía de Aldhair y Av. De las Bahías, Parque de la Pequeña y Mediana Industria, Altamira, Tamaulipas, México, C. P. 89600.

INTRODUCCIÓN

El petróleo es un recurso energético de gran importancia a nivel mundial. Los asfaltenos son la parte más pesada del petróleo y normalmente pueden causar problemas de procesamiento. El análisis de la composición química y las estructuras moleculares de estos, a través de la caracterización química y la comprensión de su solución y comportamiento interfacial, ha sido empleada para la optimización de soluciones y mejoras en el procesamiento del petróleo (Forte y Taylor, 2015; Li y col., 2020; Hassanzadeh y Abdouss, 2022). La caracterización del petróleo y asfaltenos con espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis) ha sido estudiada en investigaciones previas, utilizando principalmente tolueno, n-heptano y n-hexano como disolventes; sin embargo, no se han obtenido espectros bien definidos (Sakthivel y col., 2016; Menkiti y col., 2022).

El ciclohexano es un solvente que puede emplearse para obtener soluciones de petróleo y asfaltenos, y no genera bandas de absorción en la región UV-Vis cuando se obtienen espectros de orden cero, por lo que puede considerarse un buen solvente para este tipo de análisis (Banda y col., 2016; Li y col., 2021).

La espectroscopía UV es un método óptico de análisis que permite la identificación de los hidrocarburos poliaromáticos, a través de sus picos característicos de absorbancia, determinados por su estructura y número de anillos de benceno (Chen y col., 2018). En el caso de los asfaltenos, se presentan varios pequeños sistemas de 2, 3 y 4 anillos fusionados, separados por al menos un enlace covalente (Alshareef y col., 2011; Payzant, Lown y Strausz 1991; Strausz, Mojelsky y Lown 1992; Ruiz, Wu y Mullins 2007). Estas diferencias morfológicas, pueden ser identificadas también con microscopía electrónica de barrido (Trejo y col., 2009; Alshareef y col., 2011; Davarpanah y col., 2015; Joonaki y col., 2018).

Un espectro consta de líneas espectrales relacionadas con las sustancias de interés, con una forma de línea particular, y a menudo con

ruido blanco que interfiere con su interpretación (Thomas y Causse, 2017). El ruido (es decir, la frecuencia) con que se recibe cualquier señal, puede ser causado por varios factores, como fluctuaciones lentas que provienen de condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, las vibraciones ambientales, la calidad de los productos químicos, el suministro de energía eléctrica, entre otros (Thomas y Theraulaz, 2007; Thomas y Causse, 2017).

La espectroscopía derivada permite extraer información tanto cualitativa como cuantitativa de la composición en soluciones de asfaltenos (López y López, 1993; Thomas y Causse, 2017; Tambe y col., 2021). El procedimiento más simple para calcular una derivada es registrar la diferencia entre dos puntos de datos sucesivos. Sin embargo, este procedimiento aumenta el ruido en varios órdenes de magnitud, lo que da como resultado datos no aceptables. La calidad de la señal puede mejorarse con la disminución del ruido a través del suavizado, que permite modificar la relación señal-ruido, reduciendo el ruido tanto como sea posible, pero evitando al máximo distorsionar la forma real de la línea espectral (Thomas y Cerda, 2007; Thomas y Causse, 2017).

El suavizado de un espectro funciona como un procedimiento en el que el espectro es convolucionado con una función polinómica de suavizado para mitigar la disminución de señal-ruido, pero debe tenerse cuidado, ya que un grado demasiado alto de suavizado distorsiona el espectro derivado (Owen, 2000; Kauppinen y Partanen, 2001). Se obtienen resultados aceptables cuando se combina el cálculo de la derivada y el procedimiento de suavizado (Owen, 2000).

El suavizado y la diferenciación (uso de la derivada) pueden combinarse en un solo paso utilizando el filtro de Savitzky-Golay, sin embargo, para la transformada rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés: Fast Fourier Transform) es necesario realizar un suavizado y posteriormente la derivación de da-

tos; ambas son herramientas eficientes y precisas para filtrar datos (Thomas y Causse, 2017; Dubrovkin, 2020; Elmasry y col., 2021).

El objetivo del presente trabajo fue analizar datos obtenidos por espectroscopía de UV-Vis de soluciones de asfaltenos de crudos pesados y extrapesados, para evaluar el potencial de los filtros matemáticos o algoritmos de Savitzky-Golay y la transformada rápida de Fourier para la diferenciación de los espectros de orden cero, en función de las características de los crudos de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con 6 crudos (C) extraídos de pozos petroleros ubicados en diferentes zonas del este de México, proporcionados por el Instituto Mexicano del Petróleo. Los pozos petroleros Aguacate (AG) y Cacalilao (KK) se ubican en la zona norte de Veracruz (terrestres). Los pozos Ku-Maloob-Zaap (KMZ), Utzil (U), Ayatzil (A) y Tekel (TK) se ubican en aguas profundas en la zona oeste de la Sonda de Campeche.

El tipo de crudo (pesado o extrapesado) se determinó evaluando su densidad y gravedad específica con la metodología basada en la norma ASTM D7042-04 que permite calcular los °API. Las muestras se inyectaron por separado en un densímetro de tubo vibrante Anton Paar (modelo DMA 5000M, Graz, Austria), usando una rampa de temperatura de 15.6 °C hasta 90 °C (con incrementos de 10 °C) y presión atmosférica.

Análisis SARA

Se utilizó la norma ASTM D4124-97 que evalúa la solubilidad de los componentes del crudo en diferentes disolventes, en función de su peso molecular. Las muestras por separado se impregnaron en una columna, previamente empacada con una mezcla de sílice y alúmina, y se le agregaron de forma continua diversos disolventes de tipo polar (establecidos en la norma) los cuales indujeron la salida diferenciada de las distintas fracciones (compuestos saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos), a las

que se les dio seguimiento con luz UV, para determinar los cambios de coloración de los filtrados que permiten su identificación.

Clasificación de Tissot & Welte

Se utilizaron las fracciones del análisis SARA y el diagrama ternario de Tissot y Welte (1978) para determinar de forma gráfica el tipo de crudo, en función de la composición y predominancia de componentes químicos.

Extracción de asfaltenos de los crudos

Los asfaltenos se extrajeron de cada crudo usando la metodología ASTM-D2007-98. Se diluyeron 2 g de muestra en 25 mL de n-pentano. La mezcla se llevó a ebullición con agitación constante durante 30 min, posteriormente el aceite se filtró, recuperando la fracción de sólidos precipitados (asfaltenos).

Espectroscopía UV-Vis de las soluciones de asfaltenos

Se preparó una solución estándar de 100 mg/L de asfaltenos en ciclohexano de alta pureza (99.9 %) marca Fermont y se diluyeron en fracciones de 20 mg/L hasta 100 mg/L por triplicado. Cada solución se analizó en un espectrofotómetro UV-Vis marca GBC Scientific (modelo Cintra 303, Dandenong, Australia) en un rango de 200 nm a 450 nm. La evolución de las diferentes señales de absorbancia (A) de cada solución se graficó contra su longitud de onda (λ) permitiendo obtener la curva de calibración utilizada para medir la concentración de las muestras.

Los espectros de orden cero fueron procesados en el rango de longitud de onda de 200 nm a 450 nm para minimizar el nivel de ruido detectado, eligiendo para el análisis de datos la concentración que permitiera la mejor visualización de los mismos, la cual se estableció en 50 mg/L.

Factor de forma

Este parámetro proporciona información sobre los principales componentes absorbentes, mezclas complejas o mezclas, debidas a la presencia de coloides o sólidos en suspensión y

muestras no absorbentes o efluentes minerales (Thomas y Causse, 2017).

El factor de forma (SF, por sus siglas en inglés: Shape form) se define para cada longitud de onda del espectro, correspondiente a cada pico del mismo, de la siguiente manera:

$$SF = -\frac{D(\lambda)}{A(\lambda)} * H * 100 \quad (1)$$

Donde:

D (λ) = valor de la segunda derivada.

A (λ) = Absorbancia.

H = altura a la distancia media del pico.

Suavizado

Para el análisis, se utilizaron los datos de espectroscopía y se aplicó el procesamiento de señales. Los espectros fueron suavizados para obtener señales filtradas y de mejor resolución con filtros Savitzky-Golay y FFT, utilizando una ecuación polinomial de segundo orden con 21 puntos mediante el software OriginPro 8.5. (OriginLab Corporation, Northampton, Massachusetts, USA) (Thomas y Theraulaz, 2007; Thomas y Causse, 2017).

Espectros de primera y segunda derivada

Una vez aplicado el filtro de suavizado, se realizó un análisis matemático diferencial, con el mismo software, lo que permitió seleccionar el orden de la derivada a obtener (Granville, 2009). Se llevó a cabo el análisis para encontrar la primera derivada y después para obtener la segunda, de forma consecutiva.

Microscopio electrónico de barrido (SEM)

La caracterización de la microestructura de los asfaltenos se hizo mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés: Scanning Electron Microscope) utilizando un microscopio marca JEOL (modelo JSM 6390-LV, Pensilvania, EUA). Las muestras fueron dispersadas y adheridas a una cinta de grafito de doble cara colocada sobre un porta muestras de latón. Para aumentar la conductividad de las muestras, fueron recubiertas con una monocapa de oro de alta pureza aplicando la técnica de *sputtering* (Denton vacuum Desk IV).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación y caracterización de crudos

La Tabla 1 describe las características físico-químicas de los diferentes crudos estudiados de acuerdo a su origen.

■ Tabla 1. Clasificación y caracterización de crudos.

Table 1. Crude oils classification and characterization.

Pozo petrolero	Clave	°API	Análisis SARA				Clasificación Tissot & Welte
			Saturados %	Aromáticos %	Resinas %	Asfaltenos %	
Crudo pesado							
Aguacate	AC1-AG	18	21.66	30.57	24.35	23.41	Nafténico
Cacalilao	AC2-KK	12.90	20.83	34.44	29.32	15.39	Nafténico
Ku Maloob Zaap	AC3-KMZ	12.50	24.36	42.62	7.51	24.80	Parafínico-Nafténico
Crudo extra pesado							
Utzil	AC3-U	9.3	29.1	31.6	15.7	23.5	Parafínico-Nafténico
Ayatzil	AC2-AY	7.2	19.9	8.8	47.4	24.0	Nafténico
Tekel	AC5-TK	6.4	6.72	23.41	42.75	26.68	Nafténico

Espectros UV-Vis de soluciones de asfaltenos

La Figura 1 muestra los espectros de orden cero de los grupos de asfaltenos según la densidad de su crudo de origen: pesado (Figura 1a) o extrapesado (Figura 1b). La señal obtenida no presentó una definición adecuada para identificar con claridad los posibles compuestos presentes. Sin embargo, las altas concentraciones de especies aromáticas (Tabla 1) en los asfaltenos, generaron una gran cantidad de datos (bandas) que pueden visualizarse en los espectros como agrupaciones, aumentando la relación señal-ruido. Los espectros de absorción mostraron tres bandas en el rango de 200 nm a 450 nm para ambos grupos. Se identificaron valores máximos de absorbancia en el rango de 207 nm a 276 nm, que pueden asociarse a compuestos con un anillo aromático que absorben en el rango de 230 nm a 250 nm o a compuestos con dos anillos aromáticos con máxima absorbancia entre 250 nm y 300 nm; las señales débiles, con mayor agrupamiento de datos, que se observan en el rango de 300 nm a 400 nm pueden ser atribuidas a compuestos de 3 o 4 anillos aromáticos (Chen y col., 2018).

En el grupo de asfaltenos provenientes de crudos pesados, los valores de absorbancia obtenidos se encuentran entre 0.3 a.u. y 2.4 a.u. (Figura 1a). En tanto que, en los de crudos extra-

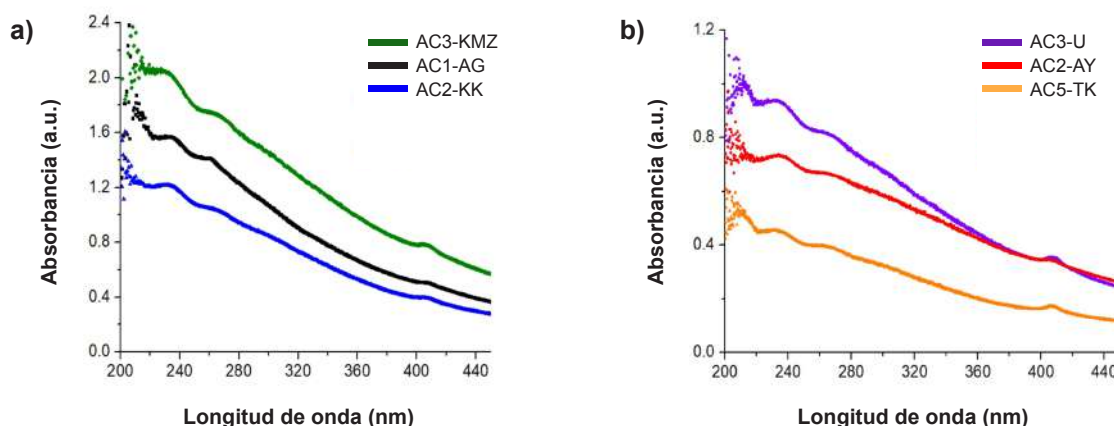
pesados (Figura 1b) los valores de absorbancia estuvieron en el rango de 0.1 a.u. a 1.2 a.u. Este comportamiento es indicativo de la diferencia en la composición y tipo de estructuras presentes en los asfaltenos.

Factor de forma

En la Tabla 2, se presentan los intervalos de los valores del factor de forma para los asfaltenos estudiados, la identificación de especies es directa, a partir de los espectros obtenidos. El análisis espectroscópico de los componentes de mezclas ultracomplejas, es la base para el fraccionamiento de los crudos en la industria petrolera; su calidad, pureza y potenciales aplicaciones de sus derivados, está ligado al conocimiento de los componentes de dicha mezcla. Cuando se registran en los espectros valores inferiores a 0.1, se observa la presencia de no absorbentes, entre 0.1 y 4, las muestras dan espectros monótonos, y en valores superiores a 4, se observan picos con absorción específica (Thomas y Cerda, 2007; Xu y Liu, 2015; Banda y col., 2020). Los resultados permitieron establecer que se trata de suspensiones coloidales o sólidos en suspensión.

Espectros de primera derivada y filtro Savitsky-Golay

La aplicación del filtro Savitsky-Golay a los espectros de la primera derivada de soluciones



■ Figura 1. Espectros de orden cero de soluciones de asfaltenos de (a) crudos pesados y (b) crudos extrapesados.

Figure 1. Zero-order spectra of asphaltene-solutions (a) heavy crude and (b) extra-heavy crude.

■ **Tabla 2. Intervalos del factor de forma (SF) para asfaltenos.**

Table 2. Shape factor ranges (SF) for asphaltenes.

Asfaltenos	Intervalo del factor de forma*
AC1-AG	0.37 a 0.94
AC2-KK	0.12 a 1.59
AC3-KMZ	0.09 a 1.51
AC3-U	0.1 a 3.07
AC2-AY	0.85 a 4.31
AC5-TK	0.15 a 4.63

*Adimensional

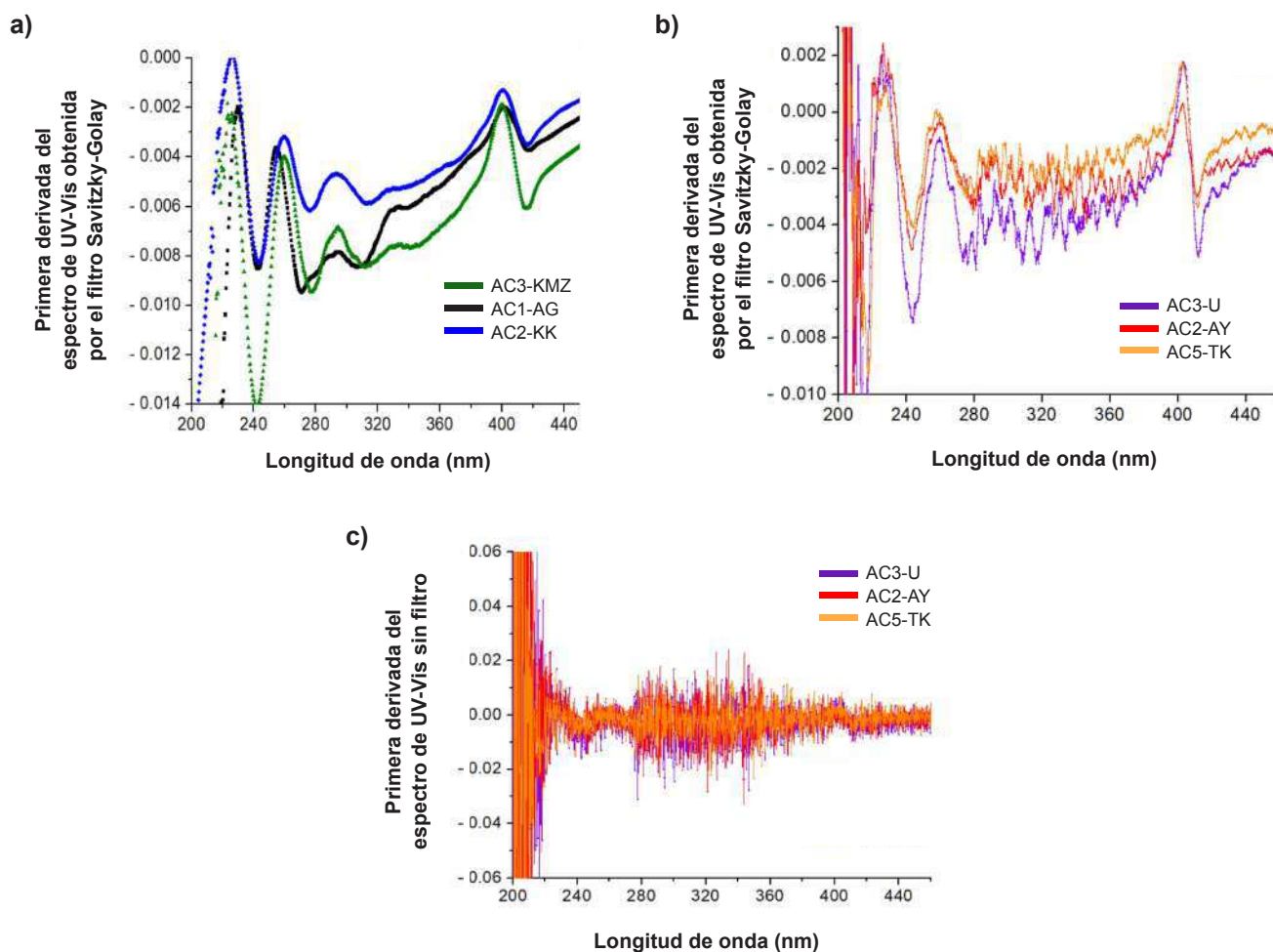
de asfaltenos extraídos de crudos pesados (Figura 2a) permitió identificar cinco picos máximos, asociados, a diferentes tipos de compuestos; en contraparte, a los crudos extrapesados (Figura 2b) que proporcionaron señales menos definidas, debido a la presencia de ruido. El mayor nivel de ruido en los asfaltenos de crudos extrapesados pudo ser por efecto de la poca cantidad de datos generados, debido a la composición y tipo de estructuras presentes. Sus espectros de orden cero mostraron valores de absorbancia menores a los crudos pesados, lo que podría estar dificultando el ajuste del filtro Savitsky-Golay, aumentando el ruido de los espectros derivados de primer orden. La relación señal-ruido se redujo utilizando las propiedades de suavizado del filtro Savitzky-Golay (Figuras 2a y 2b). Al compararse las mismas muestras de los crudos extrapesados, sometidas a la primera derivada, se observó que en la muestra no suavizada (Figura 2c) no es posible apreciar los picos máximos de la muestra suavizada (Figura 2b); pero es importante tener en cuenta que, el espectro puede ser distorsionado con un alto grado de suavizado, por lo que no se debe abusar de esta técnica buscando mayor definición de picos (López y López, 1993; Owen, 2000; Kauppinen y Partanen, 2001).

Si bien, la espectroscopía derivada se vislumbra como una metodología prometedora para el análisis de datos espectroscópicos, algunos

autores observaron que la diferenciación disminuye notablemente la relación señal-ruido (baja la señal y aumenta el ruido), reportándolo como una desventaja del método de análisis, ya que consideraron que para mejorar dicha relación era necesario llevar a cabo un filtrado de la señal resultante del espectro (López y López, 1993).

La espectroscopía UV-Vis, combinada con el uso de derivadas y filtros de suavizado permite generar información importante como método óptico para la identificación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons). El número de anillos de benceno y la estructura del compuesto determinan los picos característicos de diferentes compuestos (Chen y col., 2018; Nunez-Mendez y col., 2021). La identificación de PAH en el núcleo de los asfaltenos es posible cuando están unidos por al menos un enlace covalente. Los compuestos bencénicos son identificados a 225 nm (Dixon y col., 2005), el naftaleno y sus derivados a 259 nm (Sarowha y col., 1997; Dixon y col., 2005; Chen y col., 2018; Nunez-Mendez y col., 2021), el fenantreno a 295 nm (Dixon y col., 2005; Evdokimov y col., 2017; Nunez-Mendez y col., 2021), los cromóforos aromáticos lineales de 3 anillos y la mayoría de los cromóforos compactos de 4 anillos a 328 nm (Evdokimov y col., 2017) y finalmente a una λ_{\max} de 401 nm atribuido a la absorción electrónica de la banda Soret para petroporfirinas de Vanadio (Czernuszewicz, 2000; Doukkali y col., 2002).

Existen dos tipos de arquitectura que representan a las estructuras complejas de los asfaltenos. Un tipo es el modelo molecular continental o isla, que consiste en un grupo aromático central con una gran cantidad de anillos fusionados unidos a puentes alifáticos (Alshareef y col., 2011; Alvarez y Ruiz, 2013; Davarpanah y col., 2015; Joonaki y col., 2018; Taheri-Shakib y col., 2020). El otro tipo es una estructura de archipiélago, donde los grupos aromáticos diferenciados están unidos mediante puentes alquilo (Trejo y col., 2009; Alvarez y Ruiz, 2013; Forte y Taylor, 2015; Joonaki y col.,



■ Figura 2. Primera derivada de los espectros de UV-Vis de soluciones de asfaltenos utilizando el filtro de suavizado Savitzky-Golay: (a) crudos pesados (b) crudos extrapesados y (c) crudos extrapesados sin suavizar con el filtro de Savitsky-Golay.

Figure 2. First derivative of the UV-Vis spectra of asphaltenes solutions using the Savitzky-Golay filter smoothing: (a) heavy crude oils (b) extra-heavy crude oils, and (c) extra-heavy crude oils unsmoothing with the Savitsky-Golay filter.

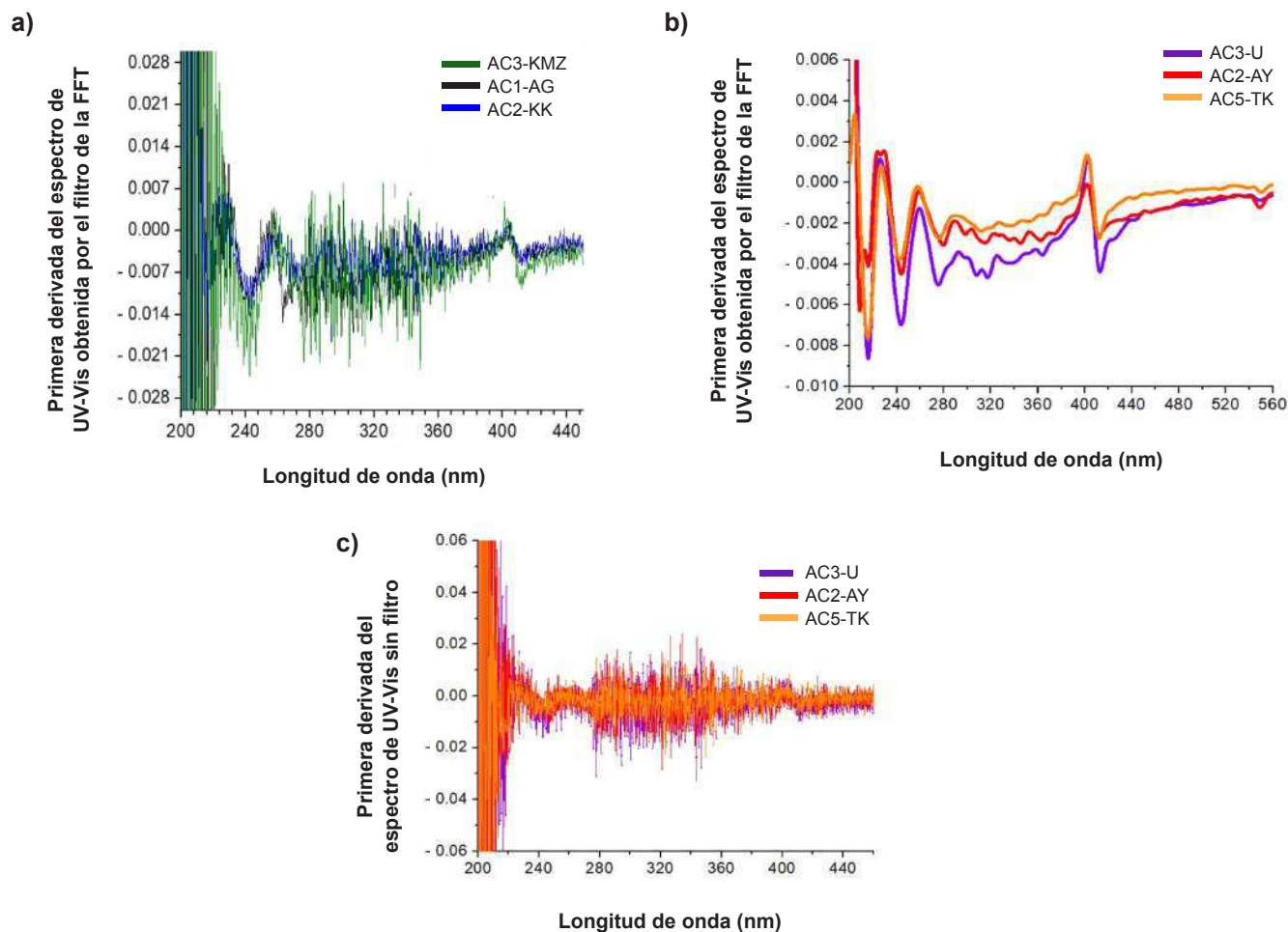
2018). La arquitectura archipiélago es considerada como una de las estructuras moleculares posibles cuando solo están presentes dos PAH.

Los resultados obtenidos en los espectros de orden cero mostraron la generación de señales originadas a partir de compuestos cromóforos específicos presentes en las muestras (Figura 1), y que, considerando los valores de absorbancia de cada una, podrían estar en mayor proporción en el siguiente orden AC3-KMZ > AC1-AG > AC2-KK > AC3-U > AC2-AY > AC5-TK (Trejo y col., 2009; Davarpanah y col., 2015; Joonaki y col., 2018); integrando sis-

temas conformados por un anillo aromático con 2, 3 o hasta 4 anillos fusionados, separados por al menos un enlace covalente (Payzant y col., 1991; Strausz y col., 1992; Ruiz y col., 2007; Alshareef y col., 2011; Chen y col., 2018; Menkiti y col., 2022), lo que sugiere la posible presencia de arquitectura tipo archipiélago en todos los asfaltenos analizados.

Espectros de primera derivada y filtro FFT

La Figura (3a) muestra los espectros de asfaltenos de crudos pesados, en los que no es posible identificar la composición, debido al ruido observado en las señales, a diferencia de



■ Figura 3. Primera derivada de los espectros de UV-Vis de soluciones de asfaltenos utilizando filtro de suavizado transformada rápida de Fourier a partir de (a) crudos pesados, (b) crudos extrapesados y (c) crudos extrapesados sin suavizar con el filtro de FFT.

Figure 3. First derivative of the UV-Vis spectra of asphaltenes solutions using fast Fourier transform filter smoothing from (a) heavy crude oils, (b) extra-heavy crude oils, and (c) extra-heavy crude oils with the FFT filter unsmoothing.

los espectros de la primera derivada suavizados con el filtro Savitzky-Golay, en los que se generaron espectros bien definidos (Figura 2a). La FFT se considera una herramienta eficiente y precisa para filtrar, integrar y diferenciar datos de series temporales (Elsonbaty y col., 2020; Xuan y Hoang, 2022).

Los espectros de asfaltenos de crudos extrapesados (Figura 3b) se generaron sin ruido, con señales nítidas. En ellos se observan 8 señales asociadas a diferentes tipos de compuestos: a 225 nm para los de benceno (Dixon y col., 2005); a 259 nm, 270 nm, 278 nm, 290 nm y 301 nm para naftaleno y sus derivados (Sa-

rowha y col., 1997; Dixon y col., 2005; Chen y col., 2018); de 314 nm a 349 nm para los cromóforos aromáticos lineales de tres anillos y para la mayoría de los cromóforos compactos de cuatro anillos (Evdokimov y col., 2017); y a 401 nm puede ser atribuido a la banda de absorción electrónica de Soret de las petroporfirinas de vanadio (Czernuszewicz, 2000; Doukkali y col., 2002). La Figura 3c representa el espectro que se obtiene de los crudos extrapesados al aplicar la primera derivada pero sin utilizar el filtro FFT como se muestra en la Figura 3b; esto permite apreciar nuevamente la importancia del suavizado.

Segunda derivada

La Figura 4 muestra los espectros de la segunda derivada de las soluciones estudiadas. En la Figura 4a se observan los espectros de los asfaltenos extraídos de crudos pesados suavizados con el filtro Savitsky-Golay, y en la Figura 4b los del grupo de crudos extrapesados suavizados con el filtro FFT. En ambas figuras es posible observar que la señal no mejora respecto a la obtenida con la primera derivada y el filtro correspondiente (Figura 2a y 3b, respectivamente).

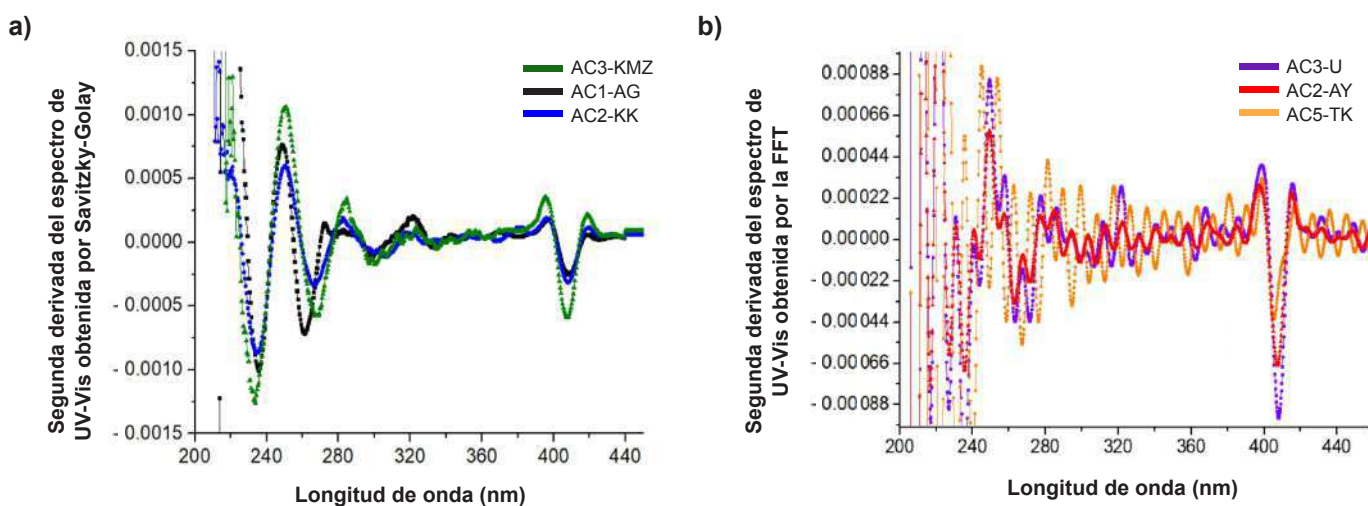
Absorción en el espectro visible

La Figura 5 muestra espectros de asfaltenos de crudos extrapesados, en el rango de 504 nm a 574 nm. En la Figura 5a, se observa que los espectros de orden cero, presentaron escasa definición de señales. En tanto que en la Figura 5b se aprecia en los espectros de primera derivada la presencia de bandas Q entre 532 nm y 571 nm, que son las bandas β y α , respectivamente, correspondientes a la presencia de petroporfirinas de vanadio. Las bandas Q para el níquel son detectadas alrededor de 520 nm y 550 nm (El-Sabagh, 1998; Valencia, 2023). La transferencia de carga metal-ligando es de naturaleza electrónica. Esta transferencia es realizada a través de un electrón

ubicado en el orbital de un ion metálico, que luego es transferido a otro orbital de menor energía de otra especie (López y López, 1993; Owen, 2000). Dicho fenómeno puede ser observado en los compuestos de porfirina. En las porfirinas, los metales complejos están unidos por coordinación divalente (El-Sabagh, 1998, Czernuszewicz, 2000).

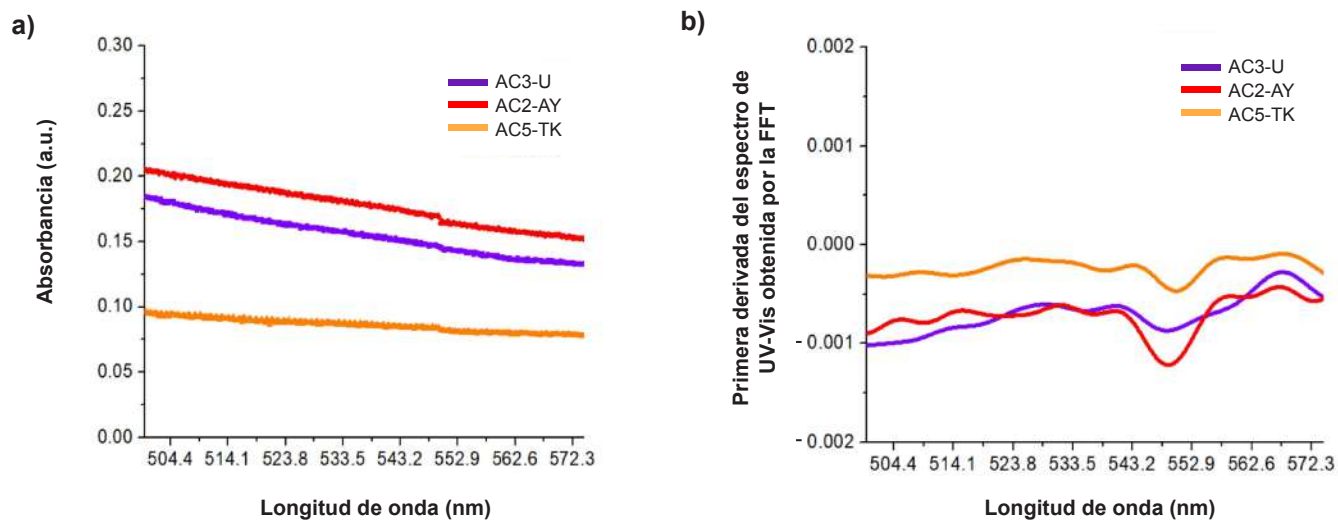
Microscopía electrónico de barrido (SEM)

En la Figura 6 se muestran las micrografías SEM, que permiten apreciar la morfología de las estructuras encontradas en los 6 tipos de asfaltenos estudiados. Existen tres factores principales que afectan la morfología de estos compuestos: el proceso de precipitación (incluido el solvente utilizado), la composición y estructura, y la precipitación de las muestras para la obtención de imágenes microscópicas. En la Figura (6a) se observa que la muestra AC1-AG contiene sólidos de morfología laminar con pequeños aglomerados en la superficie, que corresponden a resinas. En las micrografías para AC2-KK y AC3-KMZ (Figuras 6b y 6c, respectivamente) es posible visualizar sólidos blandos, escamosos con aglomerados precipitados. En sus superficies puede observarse la presencia de poros y cavidades, lo que podría deberse a la fracción resinosa del ma-



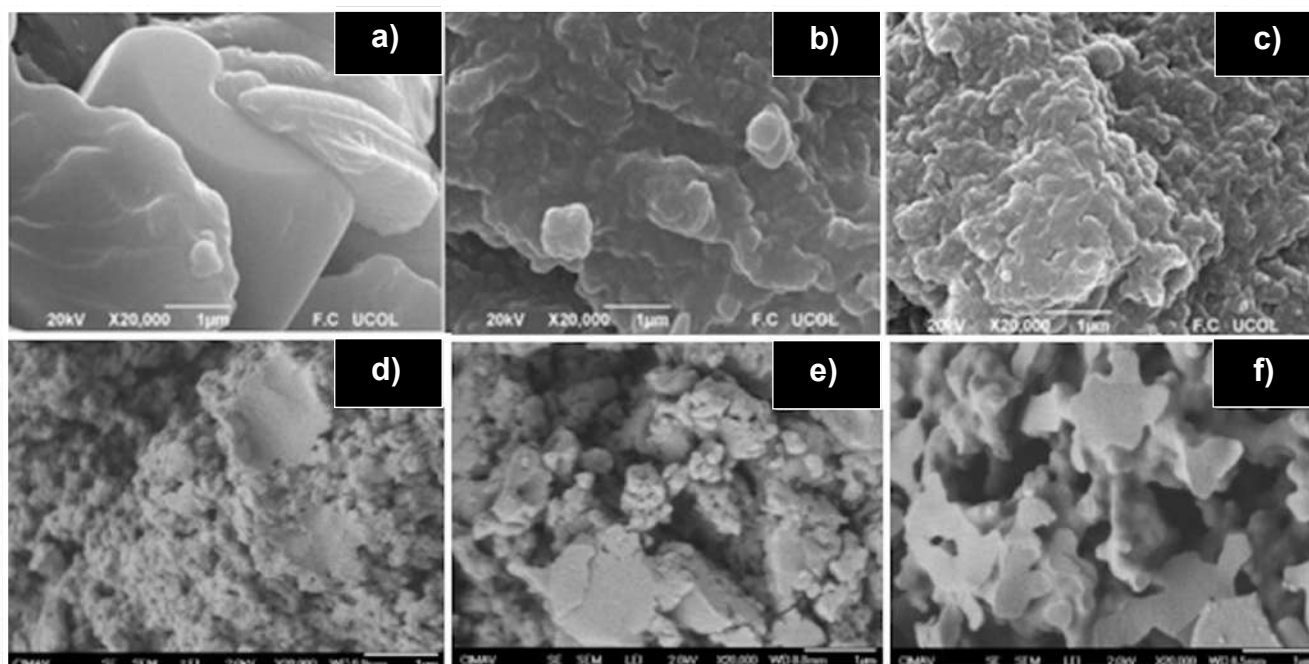
■ Figura 4. Segunda derivada de espectros de soluciones de asfaltenos usando (a) filtro Savitzky-Golay en crudos pesados (b) filtro de transformada rápida de Fourier en crudos extrapesados.

Figure 4. Second derivative of asphaltene solution spectra using (a) Savitzky-Golay filter in heavy crude oils (b) fast Fourier transform filter in extra-heavy crude oils.



■ Figura 5. Análisis de asfaltenos de crudos extrapesados en el espectro visible (504 nm a 574 nm), (a) espectros de orden cero y (b) espectros de primera derivada usando un filtro de transformada rápida de Fourier (El-Sabagh y col., 1998).

Figure 5. Analysis of asphaltenes from extra-heavy crude oils in the visible spectrum (504 nm to 574 nm), (a) zero-order spectra, and (b) first derivative spectra using a fast Fourier transform filter (El-Sabagh y col., 1998).



■ Figura 6. Micrografías de asfaltenos (a) AC1-AG, (b) AC2-KK, (c) AC3-KMZ, (d) AC2-AY, (e) AC3-U y (f) AC5-TK.

Figure 6. Micrographs of asphaltenes (a) AC1-AG, (b) AC2-KK, (c) AC3-KMZ, (d) AC2-AY, (e) AC3-U and (f) AC5-TK.

terial. Al eliminar este material resinoso, se forman cavidades y poros.

Las Figuras 6d (AC2-AY) y 6e (AC3-U) muestran la presencia de una gran cantidad de aglomerados de asfaltenos, probablemente debido a la polaridad y el alto contenido aromático presente (Trejo y col., 2009; Alshareef y col., 2011; Davarpanah y col., 2015; Joonaki y col., 2018). Se aprecian sus superficies lisas con un pequeño número de poros. En la Figura 6f (AC5-TK) se observan agregados de asfaltenos y la presencia de partículas de cera, que tienen forma de colmena, característicos de la arquitectura tipo archipiélago (Alvarez y Ruiz, 2013; Taheri-Shakib y col., 2020). Esto concuerda con la información generada a partir del uso de la primera y segunda derivada, en combinación con la aplicación de filtros, a los espectros UV-Vis, confirmando la utilidad de la técnica de análisis propuesta.

CONCLUSIONES

Las soluciones de asfaltenos generaron espectros de orden cero con tres señales poco definidas en el rango de 200 nm a 450 nm. La alta composición aromática dio origen a gran cantidad de datos que fueron visualizados como agrupamientos y que alteraron la relación señal-ruido. La aplicación de la primera y segunda derivada mejoró la relación señal-ruido incrementando la calidad de los espectros. El uso

de filtros en los espectros derivados mejoró aún más dicha relación. El filtro Savitsky-Golay permitió obtener espectros más definidos al analizar los asfaltenos de crudos pesados, pero no fue adecuado para crudos extrapesados; en estos últimos, se obtuvieron mejores resultados con el uso del filtro FFT. La presencia de cromóforos en las muestras de orden cero conformados por uno a cuatro anillos fusionados, separados por al menos un enlace covalente, indican la presencia de una arquitectura del tipo archipiélago, que fue sugerida también por las imágenes SEM de los asfaltenos precipitados. Estas imágenes mostraron también diferencias morfológicas de los asfaltenos extraídos de crudos pesados y extrapesados. La espectroscopía derivada resultó un método técnicamente viable para analizar la composición de las soluciones de asfaltenos, a partir de la espectroscopía UV-Vis.

AGRADECIMIENTOS

S. Padrón-Ortega agradece a CONACyT-México (CVU. 740202) por la beca de posgrado otorgada. Asimismo, los autores agradecen el financiamiento brindado por el Tecnológico Nacional de México con el proyecto No. 14772.22-P.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflictos de intereses de ningún tipo.

REFERENCIAS

- Alshareef, A., Scherer, A., Tan, X., Azyat, K., Stryker, J., Tykwinski, R., and Gray, M. (2011). Formation of archipelago structures during thermal cracking implicates a chemical mechanism for the formation of petroleum asphaltene. *Energy & Fuels*. 25(5): 2130-2136.
- Alvarez, F. and Ruiz, Y. (2013). Island versus archipelago architecture for asphaltene: Polycyclic aromatic hydrocarbon dimer theoretical studies. *Energy & Fuels*. 27(4):1791-1808.
- Banda, E., Gallardo, N., Martínez, R., Páramo, U., and Mendoza, A. (2020). Derivative UV-Vis spectroscopy of asphaltene solutions for the determination of the composition. *Petroleum Science and Technology*. 38(8): 666-671.
- Banda, E., Padrón, S., Gallardo, N., Rivera, J., Páramo, U., Díaz, N., and Mendoza, A. (2016). Crude oil UV spectroscopy and light scattering characterization. *Petroleum Science and Technology*. 34(8): 732-738.
- Chen, G., Lin, J., Hu, W., Cheng, C., Gu, X., Du, W., ..., and Qu, C. (2018). Characteristics of a crude oil composition and its in situ waxing inhibition behavior. *Fuel*. 218: 213-217.
- Czernuszewicz, R. S. (2000). Geochemistry of porphyrins: Biological, industrial and environmental aspects. *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*. 4(4): 426-431.
- Davarpanah, L., Vahabzadeh, F., and Dermanaki,

- A. (2015). Structural study of asphaltenes from Iranian heavy crude oil. *Oil Gas Science and Technology*. 70(6):1035-1049.
- Dixon, J., Taniguchi, M., and Lindsey, J. (2005). PhotochemCAD 2: A refined program with accompanying spectral databases for photochemical calculations. *Photochemistry and Photobiology*. 81(1): 212-213.
- Doukkali, A., Saoiabi, A., Zrineh, A., Hamad, M., Ferhat, M., Barbe, J. M., and Guillard, R. (2002). Separation and identification of petroporphyrins extracted from the oil shales of Tarfaya: geochemical study. *Fuel*. 81(4): 467-472.
- Dubrovkin, J. (2020). *Derivative Spectroscopy*. (First edition). Reino Unido: Ed. Cambridge Scholars Publishing. 456 Pp.
- Elmasry, M. S., Hassan, W. S., Merey, H. A., and Nour, I. M. (2021). Simple mathematical data processing method for the determination of sever overlapped spectra of linagliptin and empagliflozin in their pure forms and pharmaceutical formulation: Fourier self deconvoluted method. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 254: 119609.
- El-Sabagh, S. M. (1998). Occurrence and distribution of vanadyl porphyrins in Saudi Arabian crude oils. *Fuel Processing Technology*. 57(1): 65-78.
- Elsonbaty, A., Serag, A., Abdulwahab, S., Hassan, W. S., and Eissa, M. S. (2020). Analysis of quinary therapy targeting multiple cardiovascular diseases using UV spectrophotometry and chemometric tools. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 238: 118415.
- Evdokimov, I., Fesan, A., and Losev, A. (2017). Asphaltenes: Absorbers and scatterers at near-ultra-violet-visible-near-infrared wavelengths. *Energy & Fuels*. 31(4): 3878-3884.
- Forte, E. and Taylor, S. E. (2015). Thermodynamic modelling of asphaltene precipitation and related phenomena. *Advances in Colloid and Interface Science*. 217: 1-12.
- Granville, W. (2009). Derivación. En P. F. Smith y W. Raymond-Longley (Eds.), *Cálculo diferencial e integral* (pp. 25-32). México, DF: Limusa.
- Hassanzadeh, M. and Abdouss, M. (2022). A comprehensive review on the significant tools of asphaltene investigation. Analysis and characterization techniques and computational methods. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 208: 109611.
- Joonaki, E., Buckman, J., Burgass, R., and Tohidi, B. (2018). Exploration of the difference in molecular structure of n-C7 and CO₂ induced asphaltenes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 57(26): 8810-8818.
- Kauppinen, J. and Partanen, J. (2001). *Fourier Transforms in Spectroscopy*. EUA: Ed. Wiley-VCH Verlag GmbH. 14 Pp.
- Li, R., Huang, Q., Zhang, D., Zhu, X., Shan, J., and Wang, J. (2020). An aging theory-based mathematic model for estimating the wax content of wax deposits using the Fick's second law. *AIChE Journal*. 66(4): e16892.
- Li, X., Wang, L., Lu, H., Wang, N., Wang, B., and Huang, Z. (2021). Using a switchable water to improve sustainable extraction for oil sands by low-concentration surfactant solution. *Journal of Cleaner Production*. 292: 126045.
- López, M. L. y López, P. L. (1993). Una introducción a la espectrometría de derivadas. *Educación Química*. 4(3):160-170.
- Menkiti, N. D., Isanbor, C., Ayejuyo, O., Doamekpor, L. K., and Twum, E. O. (2022). Time-dependent multivariate and spectroscopic characterisation of oil residue in Niger Delta soil. *RSC Advances*. 12(20): 12258-12271.
- Nunez-Mendez, K. S., Salas-Chia, L. M., Molina V, D., Munoz, S. F., Leon, P. A., and Leon, A. Y. (2021). Effect of the catalytic aquathermolysis process on the physicochemical properties of a Colombian crude oil. *Energy & Fuels*. 35(6): 5231-5240.
- Owen, T. (2000). *Fundamentos de la espectroscopía UV-visible moderna: conceptos básicos*. Principios y aplicaciones de espectroscopia UV-visible. Berlin, Alemania: Agilet Technology. 2-28 Pp.
- Payzant, J. D., Lown, E. M., and Strausz, O. P. (1991). Structural units of Athabasca asphaltene: The aromatics with a linear carbon framework. *Energy & Fuels*. 5(3): 445-453.
- Ruiz, Y., Wu, X., and Mullins, O. (2007). Electronic absorption edge of crude oils and asphaltenes analyzed by molecular orbital calculations with optical spectroscopy. *Energy & Fuels*. 21(2): 944-952.
- Sakthivel, S., Gardas, R. L., and Sangwai, J. S. (2016). Spectroscopic investigations to understand the enhanced dissolution of heavy crude oil in the presence of lactam, alkyl ammonium and hydroxyl ammonium based ionic liquids. *Journal of Molecular Liquids*. 221: 323-332.

Sarowha, S. L. S., Sharma, B. K., Sharma, C. D., and Bhagat, S. D. (1997). Characterization of petroleum heavy distillates using HPLC and spectroscopic methods. *Energy & Fuels*. 11(3): 566-569.

Strausz, O. P., Mojelsky, T. W., and Lown, E. M. (1992). The molecular structure of asphaltene: An unfolding story. *Fuel*. 71(12): 1355-1362.

Taheri-Shakib, J., Saadati, N., Esfandiarian, A., Ahmad-Hosseini, S., and Rajabi-Kochi, M. (2020). Characterizing the wax-asphaltene interaction and surface morphology using analytical spectroscopy and microscopy techniques. *Journal of Molecular Liquids*. 302: 112506.

Tambe, S., Jain, D., and Amin, P. (2021). Simultaneous determination of dorzolamide and timolol by first-order derivative UV spectroscopy in simulated biological fluid for in vitro drug release testing. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 255: 119682.

Thomas, O. and Causse, J. (2017). From spectra to qualitative and quantitative results. In O. Thomas and C. Burgess (Eds.), *UV-visible spectrophotometry of waters and wastewater* (pp. 37-72). Amsterdam, PB: Elsevier.

Thomas, O. and Cerda, V. (2007). From spectra to qualitative and quantitative results. In O. Thomas and C. Burgess (Eds.), *UV-Visible Spectrophotometry of Water and Wastewater* (pp. 24-28). Amsterdam, PB: Elsevier.

Thomas, O. and Theraulaz, F. (2007). Aggregate organic constituents. In O. Thomas and C. Burgess (Eds.), *UV-Visible Spectrophotometry of Water and Wastewater* (pp. 89-114). Amsterdam, PB: Elsevier.

Tissot, B. and Welte, D. (1978). Classification of Crude Oils. In B. Tissot and D. Welte (Eds.), *Petroleum formation and occurrence* (pp. 370-377). New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Trejo, F., Ancheyta, J., and Rana, M. S. (2009). Structural characterization of asphaltenes obtained from hydroprocessed crude oils by SEM and TEM. *Energy & Fuels*. 23(1): 429-439.

Valencia, D. (2023). Chemical bonding and aromaticity analyses of petroporphyrins with vanadium or nickel. *Fuel*. 333: 126344.

Xu, J. and Liu, H. (2015). The growth and development of asphaltene aggregates in toluene solution. *Petroleum Science and Technology*. 33(23-24): 1916-1922.

Xuan, D. T. and Hoang V. D. (2022). Application

of Fourier transform-based algorithms to resolve spectral overlapping for UV spectrophotometric coassay of spiramycin and metronidazole in tablets. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 277: 121253.

Los autores deben solicitar al correo electrónico cienciauat@uat.edu.mx un usuario y contraseña para que sean registrados en la plataforma de la revista.

En su solicitud para postular un manuscrito deberán incluir título del mismo, su resumen y un correo oficial de una institución académica o centro de investigación (públicos o privados). No se recibirán manuscritos por otra vía, impresa o electrónica.

Es necesario revisar las políticas editoriales y las normas de publicación antes de enviar una contribución.

Directrices para autor/es/as

1.1. Contribuciones

Se reciben artículos y revisiones de literatura actualizadas en español, enfocados principalmente a temáticas de Iberoamérica, en las siguientes áreas del conocimiento:

- Física, matemáticas y ciencias de la tierra
- Biología y química
- Medicina y ciencias de la salud
- Humanidades y ciencias de la conducta
- Ciencias sociales
- Biotecnología y ciencias agropecuarias
- Ingenierías

1.2. Consideraciones generales

El material debe ser original e inédito y no estar considerado para publicarse simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales. Los manuscritos deberán tener calidad científica y utilizar un lenguaje claro y preciso, definiendo los términos técnicos, para permitir su comprensión por lectores de otros campos y con diferentes niveles académicos. Es importante considerar que la revista es multidisciplinaria por lo que el perfil de los lectores es muy amplio.

Las siguientes secciones deben estar en español e inglés: título, resumen, palabras clave, títulos de tablas y figuras. Las figuras (imágenes, gráficos, mapas geográficos, mapas conceptuales, entre otros) además de su inserción al final del texto, deberán enviarse en archivos separados en formato jpg, a 300 dpi o superior (consultar especificaciones de figuras) y adjuntarse el archivo editable.

El texto deberá apegarse a la guía del sistema de unidades internacional.

El autor es responsable de la correcta redacción en cada sección del manuscrito.

1.3. Autores

El número de autores del manuscrito debe ser congruente con la calidad y cantidad de trabajo realizado y presentado. Un exceso de autores no justificable es causa de rechazo del mismo.

El manuscrito debe incluir la ficha autoral en una hoja por separado que indique: el nombre completo de los autores (evitando uso de iniciales; los apellidos paterno y materno serán enlazados con un guion corto).

La institución de adscripción del autor de correspondencia será en el siguiente orden: adscripción institucional (pública o privada), facultad, instituto o centro de investigación, área o departamento; dirección postal (incluir calle, número, colonia, ciudad, estado, país, código postal) y correo electrónico para correspondencia.

También deberá agregar adicionalmente un teléfono con lada (para comunicación editorial exclusivamente).

Los datos de los demás autores seguirán el siguiente orden: adscripción institucional (pública o privada); facultad, instituto o centro de investigación, ciudad, estado y país.

Para todos los autores se debe incluir número de CVU Conahcyt, ORCID iD y nivel SNII en caso de tener.

Proceso de evaluación y seguimiento

La clave de usuario y contraseña le permitirán al autor de correspondencia ingresar y subir a la plataforma su manuscrito, así como continuar el proceso editorial, revisando el estatus del mismo, una vez cumplidos los requisitos de formato y haberle asignado un editor.

El proceso editorial se desarrolla en cuatro etapas:

Revisión de formato.

Revisión por parte del editor de área.

Revisión por pares.

Diseño y adecuación editorial.

Los autores deberán atender todas las observaciones y sugerencias que se le indiquen durante las revisiones que reciba el manuscrito en cada una de las cuatro etapas, marcando en color rojo los cambios realizados al último manuscrito (es necesario que se trabaje en el mismo word que se le haga llegar en cada ocasión).

En la etapa de formato, los manuscritos se someten a una evaluación preliminar por parte del departamento editorial de la revista, para verificar que cumplan con los requisitos establecidos, y analizar el nivel de similitud con material previamente publicado (a través del software iThenticate). Una vez que se cumpla con las consideraciones generales de publicación, se asignará el trabajo al editor de área. Los trabajos que no concluyan esta etapa en un máximo de 30 días serán dados de baja.

En la segunda etapa, el editor de área revisará la pertinencia de los manuscritos para establecer si el trabajo se envía a evaluación o se da de baja. Es posible que el editor realice recomendaciones a los autores y sujete el manuscrito a una segunda revisión ante de emitir su decisión final. Los autores tienen 10 días para regresar su manuscrito con los cambios solicitados.

A partir de esta etapa, los autores además de dar respuesta a cada una de las observaciones, señalando en color rojo las modificaciones realizadas al último manuscrito, deberán anexar un listado con las respuestas a cada una de las observaciones y las modificaciones desarrolladas, indicando los números de línea donde se localizan.

Los manuscritos aprobados por editor de área serán enviados a evaluar por al menos dos pares académicos externos, expertos en el tema de interés, quienes determinarán la aceptación o rechazo del artículo, decisión basada en el análisis académico y científico del material. En caso de discrepancia en los resultados de los evaluadores, el escrito se enviará a un tercer árbitro, cuya decisión definirá la aceptación o rechazo.

Los autores recibirán el dictamen y comentarios emitidos por los evaluadores y deberán dar respuesta a cada una de las observaciones, señalando las modificaciones realizadas al último manuscrito. Se les establecerá un tiempo de respuesta que deberán respetar o el manuscrito será rechazado. En esta etapa, los autores tienen hasta 15 días para atender los cambios.

Los trabajos aceptados por evaluadores externos pasarán al proceso de corrección de estilo y revisión de formato, para adecuarlos al estilo editorial de la revista. Al terminar este proceso se emitirá la aceptación final del documento y se enviarán las pruebas de galera. Una vez enviadas las pruebas de galera el autor tendrá cuatro días naturales para su revisión; de no recibir respuesta en el tiempo indicado, el artículo se publicará con base en el criterio del editor de la revista.

En caso de que él o los autores requieran de un mayor tiempo para la respuesta, en las distintas etapas del proceso, deberán solicitarlo oportunamente al editor de la revista. En caso de que los interesados necesiten modificar al autor de correspondencia, este deberá ser parte de

los autores inicialmente propuestos. Es necesario que se justifique el cambio por escrito, donde se incluya la firma de ambos autores (actual y propuesto). El nuevo autor de correspondencia deberá firmar todos los documentos requeridos para publicar en CienciaUAT.

Preparación del manuscrito

3.1. Generalidades

El manuscrito estará escrito en procesador de texto Word, con letra Times New Roman a 12 puntos, a espacio y medio (1.5), en hoja tamaño carta, con margen en los cuatro costados de 2.54 centímetros. Las páginas estarán numeradas en forma continua. También los renglones deberán estar numerados en forma continua para facilitar el proceso de evaluación.

La redacción del manuscrito será en pasado y en forma impersonal.

Los agradecimientos se incluirán al final del texto solo para el caso de fuentes de financiamiento.

Las tablas y figuras (gráficos, imágenes, mapas conceptuales, mapas geográficos, fotografías, entre otros) deberán estar referenciadas en el texto y ubicarse al final del manuscrito, cada una en hoja separada. Llevarán títulos en español e inglés.

Las tablas se presentarán en formato Word y no como imágenes. Se debe evitar repetir innecesariamente en el texto la información incluida en las tablas, con excepción de aquella indispensable para la discusión de los resultados.

Las figuras (revisar formato de figuras) serán preferentemente a color, excepto las imágenes que de origen se generen en tonalidades de gris (micrografías, por ejemplo). Se deben enviar adicionalmente por separado en formato jpg a 300 dpi o superior, para asegurar la calidad de su impresión, así como el archivo editable en el que fueron generadas.

El texto que describe las figuras (nombre y descripción) estará redactado en forma independiente de las mismas y no deberá formar parte de la imagen.

En caso de utilizar mapas, estos deberán especificar coordenadas, indicando el área o lugar de estudio, atendiendo el siguiente formato: 98°12'15" W o 45°23'10" N. Cuando se trate de un polígono, es necesario indicar las coordenadas extrema superior izquierda y extrema inferior derecha. Las altitudes sobre el nivel del mar se citarán en metros. La rosa de los vientos deberá estar incluida en la parte superior izquierda, al interior de la figura para indicar la orientación.

En los manuscritos aceptados, el autor de correspondencia deberá proporcionar fotografía(s) para ilustrar la portada de su trabajo, en formato jpg a 300 dpi o superior. Además de enviar una imagen (tabla, gráfico, fotografía) para incluirla en la tabla de contenidos, acompañando al título de su contribución.

Estructura de los artículos científicos

Los manuscritos en formato de artículo científico tendrán una extensión máxima de 25 cuartillas (incluyendo tablas y figuras) y constará de las siguientes secciones:

Título

Deberá describir con claridad el contenido en un máximo de 150 caracteres en español (sin espacios).

Title

Es la traducción adecuada y fiel al inglés de lo que se expresa en español en el título.

Título corto (español) Es necesario sugerir un título corto para su contribución de máximo 6 palabras.

Resumen

El resumen en español no debe ser mayor a 300 palabras. Se debe incluir una breve introducción, el objetivo, metodología más importante, principales resultados y una conclusión.

Palabras clave

Se deben incluir de 3 a 5 palabras clave.

Abstract

Es la traducción adecuada y fiel al inglés de lo que se expresa en español en el resumen. No se establece un número

máximo de palabras, pero no debe ampliarse el contenido innecesariamente, excepto para expresar adecuadamente la idea original.

Key words

Es la traducción adecuada y fiel al inglés de las palabras clave.

Introducción

Su extensión máxima será de 3 cuartillas. Consistirá de una revisión actualizada de la literatura científica que destaque la importancia del estudio realizado. Los antecedentes, marco contextual, marco conceptual, marco metodológico y justificación, considerados necesarios para entender el alcance del conocimiento generado, pueden ir en esta sección de manera resumida y continua, sin subdividirla en secciones con encabezados. Debe concluir con el objetivo del trabajo.

Materiales y métodos

Se debe proporcionar la información técnica suficiente que permita replicar el trabajo o validar su credibilidad. Incluirá el diseño experimental (en su caso), método estadístico, principales métodos de análisis usados y las fuentes de donde fueron obtenidos o modificados, así como la forma en que se obtuvieron los especímenes de estudio (en su caso).

Los equipos mencionados deben indicar marca, modelo y origen (ciudad y país). Se deben incluir todos los aspectos éticos considerados para trabajar con personas o animales.

Se debe proteger la identidad y los datos personales de los participantes en el estudio, asegurándose de obtener el consentimiento informado de las personas antes de divulgar cualquier información confidencial.

En los estudios del área de salud, se debe hacer mención expresa del comité de ética que aprobó el protocolo de investigación. En caso de que se haya trabajado con humanos, se manifestará de forma explícita el haber obtenido por escrito el consentimiento informado por parte de los mismos. Todos los procedimientos que se lleven a cabo en humanos deberán ajustarse a las normas éticas sobre experimentación humana de la Declaración de Helsinki de 1975.

En los estudios en que se utilicen animales de experimentación o que sean propiedad de particulares, se indicará claramente que se implementaron las medidas adecuadas para minimizar el dolor y la incomodidad, y se deberá contar con una declaración que identifique el comité de revisión de ética que garantizó y aprobó la metodología de trabajo. Si se trabajó con animales propiedad de particulares o clientes, en ensayos clínicos, se deberá haber obtenido el consentimiento informado del propietario y declararlo explícitamente en el documento.

Los experimentos y ensayos clínicos con personas o animales deben realizarse de acuerdo a las directivas establecidas por el Instituto Nacional de Salud (National Institutes of Health) en Estados Unidos de América, o con las Directivas del Consejo de la Comunidad Europea del 24 de noviembre de 1986 (86/609/EEC), y de acuerdo con las leyes y regulaciones nacionales y locales. Los editores se reservan el derecho a rechazar aquellos trabajos que ofrezcan dudas respecto a la obtención de un permiso adecuado o a la aplicación de procedimientos apropiados.

Resultados y discusión (pueden aparecer de manera independiente)

Adicional al ejercicio de señalar cuáles fueron los resultados encontrados, estos deberán ser contrastados con la literatura científica reciente, para establecer fehacientemente que el conocimiento generado es nuevo, novedoso o innovador.

Conclusiones

Se deben resaltar en forma breve el o los logros principales, de manera concreta y clara, evitando repetir las discusiones de resultados previos.

Conflictos de intereses

Indicar si se tiene o se considera tener conflicto(s) de in-

tereses, como el recibir o haber recibido en el pasado algún tipo de apoyo de alguna empresa o institución a quienes los resultados encontrados les favorezcan; o tener animadversión manifiesta o expresada de alguna forma contra alguna instancia o empresa a la que los resultados les afecte. Se recomienda revisar la política de conflictos de intereses.

Agradecimientos

En caso de haber recibido apoyo de alguna institución deberá ser señalado indicando el tipo de apoyo y en su caso el número de referencia del mismo.

Referencias

Al menos el 40 % de las referencias usadas para sostener los resultados y su aportación a la ciencia serán de los últimos 5 años. Ver las instrucciones para referencias (sección posterior en este documento).

Estructura de las revisiones actualizadas

Los manuscritos en formato de revisión actualizada tendrán una extensión máxima de 20 cuartillas (incluyendo tablas y figuras) y constará de las siguientes secciones:

Título

Describirá claramente el contenido del trabajo, en un máximo de 150 caracteres (sin espacios).

Title

Es la traducción adecuada y fiel al inglés de lo que se expresa en español en el título.

Título corto (español)

Es necesario sugerir un título corto para su contribución de máximo 6 palabras.

Resumen

Tendrá una extensión máxima de 250 palabras y deberá describir con claridad la temática que se revisa, su importancia y alcance. Se integrará por tres elementos: una breve introducción, el objetivo del trabajo y una conclusión que incluya la aportación del mismo.

Palabras clave

Se deben incluir de 3 a 5 palabras clave.

Abstract

Es la traducción adecuada y fiel al inglés de lo que se expresa en español en el resumen. No se establece un número máximo de palabras, pero no debe ampliarse el contenido innecesariamente, excepto para expresar adecuadamente la idea original.

Key words

Es la traducción adecuada y fiel al inglés de las palabras clave.

Introducción

Es la primera parte del manuscrito y en ella se debe introducir al lector en la temática que se abordará, su importancia, justificación, y en su caso, marco contextual, marco conceptual y marco metodológico, considerados necesarios para entender el alcance del conocimiento generado, pueden ir en esta sección de manera resumida y continua sin subdividirla en secciones con encabezados. Debe concluir con el objetivo del trabajo.

Esta sección irá seguida por el cuerpo del documento, que deberá estar dividido en secciones de acuerdo a las temáticas a considerar en el mismo.

Secciones

Se espera una amplia revisión bibliográfica que permita al lector profundizar en los avances recientes del tema que se describe, por lo que más del 50 % de las referencias mencionadas en cada sección (incluyendo introducción) deberán haber sido publicadas en los últimos 5 años, indicando particularmente lo más recientemente descubierto (año actual o anterior).

Conclusiones

Se debe resaltar el o los avances principales en el campo, de manera concreta y clara, evitando repetir el análisis de las secciones descritas en el cuerpo del documento.

Referencias

Al menos el 50 % de las referencias serán de los últimos 5 años. Ver las instrucciones para referencias (sección posterior en este documento).

Conflictos de intereses

Indicar si se tiene o se considera tener conflicto(s) de intereses, como el recibir o haber recibido en el pasado algún

tipo de apoyo de alguna empresa o institución a quienes los resultados encontrados les favorezcan; o tener animadversión manifiesta o expresada de alguna forma contra alguna instancia o empresa a la que los resultados les afecte. Se recomienda revisar la política de conflictos de intereses.

Agradecimientos

En caso de haber recibido apoyo de alguna institución deberá ser señalado indicando el tipo de apoyo y en su caso el número de referencia del mismo.

Aspectos adicionales

Abreviaciones y siglas

Las palabras o frases que deberán usarse frecuentemente en el manuscrito pueden ser sustituidas por sus abreviaciones, preferentemente por aquellas que sean de uso común en el campo, por ejemplo capacidad de retención de agua (CRA), índice de masa corporal (IMC). También es posible usar abreviaciones concebidas especialmente para el manuscrito, si son descritas previamente, como: Cuestionario médico de estrés laboral (CMEL).

En el caso de utilizar siglas en inglés en los nombres de los cuestionarios, de algún método o instrumento de medición, deberá definir el significado de los mismos. Por ejemplo: cuestionario de control de la imagen corporal en fotografías (BICP, por sus siglas en inglés: body image control in photos questionnaire); secuenciación de siguiente generación (NGS, por sus siglas en inglés: next generation sequencing). También deberán describirse los nombres de organizaciones como la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés: Food and Drug Administration).

Unidades de medición

Las unidades de cualquier dato científico o de laboratorio y su abreviación deberán seguir el sistema internacional de unidades (SI) descrito por el Centro Español de Metrología (Novena edición). No deberá usarse punto en las abreviaciones (ejemplo kg, cm, °C, ó m). Las unidades en grados y el símbolo de % deben ir separados de los números: 27 °C, 83 %.

Se deben utilizar unidades en el siguiente formato: rad/s, y no en rad * s⁻¹. Otro ejemplo: se debe usar kg/m³ en lugar de kg m⁻³ (kg x m⁻³ o kg * m⁻³).

Referencias en el texto

Todas las publicaciones citadas en el texto del manuscrito aparecerán en la sección de referencias y viceversa. Se deben seguir las recomendaciones de la Guía de Normas APA 7^a edición español, excepto para el uso del et al., que es una locución en latín para abreviar la frase “y colaboradores”, lo cual se hará en el formato “y col.”. Los nombres de los autores y las fechas de las citas señaladas en el manuscrito deberán coincidir con el listado de la sección de referencias. Asimismo, revisar que todos los elementos de una referencia bibliográfica estén incluidos. Es responsabilidad del autor de correspondencia la correcta redacción de los nombres de los autores de los trabajos citados en su artículo o revisión.

Las citas o referencias insertadas en los lugares correspondientes del texto deberán ir entre paréntesis y contener el apellido paterno del autor y el año de publicación, ejemplo: (Martínez, 2015). También es posible que el autor utilice dos apellidos unidos con un guión (Martínez-González, 2019).

En el caso de dos autores se usará (Martínez y Gómez, 2014).

Para señalar más de dos autores se usará (Martínez y col., 2014).

En caso de más de una referencia, deberán separarse con punto y coma, y estarán ordenadas de acuerdo a la antigüedad (Martínez y Gómez, 2012; Martínez y col., 2014). Si dos o más referencias fueran del mismo año, se ordenarán de acuerdo al abecedario (Martínez y Gómez 2012; Martínez y Hernández, 2012; Miranda 2012).

Cuando las referencias van fuera del paréntesis, se deberán separar con coma o con el conjuntivo “y”, según corresponda, ejemplo: Gallegos y Elgier (2020), Torralbas (2020) y Rodríguez y col. (2021), quienes señalaron que...

Si existen dos referencias de los mismos autores en el mismo año, que pudieran confundirse, se usarán letras minúsculas, de acuerdo al abecedario (Martínez y Gómez, 2014a; 2014b).

Las citas textuales (texto copiado íntegramente, usadas excepcionalmente en el manuscrito, con extensión menor de 40 palabras), deberán ir entre comillas dobles, anotando entre paréntesis además del autor y el año, la(s) página(s) correspondiente(s), ejemplo: “El efecto placebo desapareció cuando...” (Martínez, 2015: 126); Martínez (2015), encontró que: “El efecto placebo desapareció cuando...” (p. 126).

En caso de utilizar una fuente secundaria (lo cual debe hacerse con moderación, cuando la obra original ya está agotada o solo disponible en otro idioma), debe mencionarse de la siguiente manera: tomada del informe bienio (2008-2009), Observatorio Iberoamericano de Economía Social y Cooperativa (oibes-coop) citado en Chaves-Avila y Pérez-de-Uralde (2012) y Chaves-Avila y col. (2013) (Tabla 3). En la lista de referencia se ubicará la fuente secundaria.

En caso de usar autor corporativo, como institutos, ministerios, organizaciones, entre otros, definirá el significado de las siglas la primera vez que aparezca la cita. Ejemplo: según datos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2015)....., y en lo subsecuente solo incluirá las siglas (IMSS, 2015).

También, en el caso de utilizar siglas en inglés, definirá el significado de las mismas. Por ejemplo, de acuerdo a la Asociación Americana de Antropología (AAA, por sus siglas en inglés: The American Anthropological Association) (AAA, 2008).

Los textos de materiales legales se citan de la siguiente forma: La Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos (2013), en su artículo 27, establece que:

“La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación”...

En las comunicaciones personales, cartas y correos electrónicos se incorporará información adicional a la sugerida por el APA para poder identificar el origen de la misma: (Luis Fuentes-García, procesador de jaiba en Tampico, Tamaulipas, comunicación personal, 12 de junio, 2015).

Si la información proporcionada a través de una comunicación personal se encuentra disponible en un documento recuperable deberá ser citada dicha fuente en el texto (Fuentes, 2015) y en la sección de referencias en el formato de documento de archivo.

No se incluirán referencias o notas al pie de página.

Se deben evitar citas a tesis, manuales, apuntes y cualquier otro material que sea difícil de consultar.

Referencias

Las referencias bibliográficas deberán aparecer al final del manuscrito en orden alfabético y cronológico usando la técnica de sangría primera línea (1.25 cm) como se observa en los ejemplos de esta sección.

Artículos científicos

Aburto, J. M., Schöley, J., Kashnitsky, I., Zhang, L., Rahal, C., Missov, T. I., Mills, M. C., Dowd, J. B., & Kashyap, R. (2022). Quantifying impacts of the COVID-19 pandemic through life-expectancy losses: a population-level study of 29 countries. *International Journal of Epidemiology*, 51(1), 63-74. Agregar el identificador de objeto digital (Digital Object Identifier: DOI)*

Bustos, G. y Pérez, R. (2018). Relación entre factores psicosociales y el Índice de Función Sexual Femenina en población rural de la comuna de Teno, región de Maule. *Perinatología y Reproducción Humana*, 32(1), 9-18. DOI

Chao, A. & Jost, L. (2012). Coverage based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547. DOI

Figueroa, K. M. (2020). Tratamientos psicológicos para mejorar la vida sexual en mujeres supervivientes de cáncer ginecológico: revisión sistemática. *Psicooncología*, 17(2), 293-309. DOI

González, R. (2016). Presentación: la perspectiva y el debate acerca de una economía cooperativa, solidaria y autogestionaria como centro de una economía social. *Revista de la Academia*, (21), 5-29. DOI

Tejada, K., González, A., Carty, E. y Camarena, F. (2023). Abundancia y diversidad de aves playeras en la playa El Agallito, distrito de Chitré, provincia de Herrera. *Tecnociencia*, 25(1), 41-62. DOI

En general, se citarán de acuerdo con la Guía de Normas APA 7a edición español, con las siguientes especificaciones:

En las referencias se incluirán hasta un máximo de 20 autores. En referencias con 2 a 20 autores se usará el vocablo “y” para señalar al último autor en citas de material publicado en español y el símbolo “&”, precedido por una coma (, &) para indicar el último autor en citas publicadas en inglés.

En las referencias de 21 o más autores se nombrarán los primeros 19 autores en el orden en que aparecen, seguidos de tres puntos...y el último autor, sin el uso del vocablo “y” o el símbolo “&”.

Nota 1: en revistas de publicación continua, que asignan número de páginas se usará el siguiente formato: *PLoS ONE*, 14(9), Article e0222224. DOI

*Nota 2: en caso de que la referencia contengan el DOI, se recomienda colocarlo según sea el caso.

Libros

Libro impreso

Ruiz, C. P. (2021). La culpa en la mujer. Una emancipación pendiente. Síntesis.

Libro en línea

Arias, S. y D. Aquino. (2019). Familia Cactaceae I. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 209. Instituto de Ecología, A.C. DOI o Agregar el localizador de recursos uniforme (Uniform Resource Locator: URL).

Libro con editor

Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A. y Marroquín-de-la-Fuente, J. S. (Eds.) (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Capítulos de libros

Quintero, Y. y Del-Carpio, P. (2020). Encuentros y desencuentros en la familia tras el COVID-19. En Y. del-Valle, D. Alvarez, J. Batista y D. Rojas (Eds.), *Impacto del COVID-19 desde la perspectiva socio-económica en el contexto global* (pp. 31-34). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero y ALININ. URL o DOI

Viter, R. & Latsunskyi, I. (2019). Metal oxide nanostructures in sensing. In O. V. Zenkina (Ed.), *Nanomaterials design for sensing applications* (pp. 41-91). Elsevier.

Bird, M. (2016). Economic aspects of entrepreneurship: The case of Peru. En C. C. Williams & A. Gurtoo (Eds.), *Handbook of entrepreneurship in developing economies* (pp. 113-130). Routledge.

Artículos de periódico

Carreño, L. (9 de febrero de 2020). La disputa gremial por los aranceles a las prendas de vestir. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/economia/la-disputa-gremial-por-los-aranceles-las-prendas-de-vestir-articulo-903768>

Entrevistas

Nacif, B. (2018). Presidente de la Comisión de Prerrogativas del Instituto Nacional Electoral (INE), Ciudad de México, México.

Sitios, páginas y libros electrónicos

National Cancer Institute (2019). SEER Cancer Stat Facts. [En línea]. Disponible en: <https://seer.cancer.gov/statfacts/html/mulmy.html>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2022.

Cuando la referencia es de un documento de archivo PDF

Rodríguez, R. (2019). Una guía para combatir el Bullying [Archivo PDF]. [En línea]. Disponible en: <https://www.url.com>. Fecha de consulta: 3 de febrero de 2023.



Authors are required to send an email to cienciauat@uat.edu.mx to formally request a username and a password so they can register at the journal's portal.

As part of their submission, authors must include the title of their manuscript, an abstract and an official email address from their educational institution or research center (public or private). Manuscripts will not be received by any other print or electronic means.

It is necessary to review the editorial guidelines and the editorial policies before the submission of a manuscript.

Instructions for authors

1.1. Submissions

The journal welcomes articles and critical literature reviews in Spanish, which are mainly focused on Latin American issues, and within the following fields of knowledge:

- Physics, Mathematics and Earth Sciences
- Biology and Chemistry
- Medicine and Health Sciences
- Humanities and Behavioral Sciences
- Social Sciences
- Biotechnology and Agricultural Sciences
- Engineering

1.2. General considerations

Manuscripts submitted to the journal should be original, unpublished and not being under consideration for publication simultaneously in another journal or editorial agency. Manuscripts should have scientific quality and use clear and accurate language, defining technical terms as necessary to make it accessible to readers from other academic fields and levels. It is important to consider that the journal is multidisciplinary, and therefore, its readers come from widely diverse backgrounds.

The following sections should be written in Spanish and English: title, abstract, key words, tables and figures captions. Figures (images, graphs, geographic maps, conceptual maps, among others) should be additionally sent in a separate file in jpg format 300 dpi or higher to ensure printing quality (Please review the figures' specifications). The editable file of the figures should also be attached.

The text should be adhered to the guide for the use of International System of Units.

The author is responsible for the appropriate use of academic writing in each of the sections of the manuscript.

1.3. Authors

The number of authors of the manuscript should be in accordance with the quality and the quantity of the work carried out and presented. An unjustified number of authors may cause the rejection of the manuscript.

The manuscript must include a cover page, which should include the full name(s) of the author(s), (no initials should be used; both last names should be hyphenated).

The affiliation of the corresponding author should be provided in the following order: institutional affiliation (public or private) name of school or faculty, institute or research center, unit or department; address (including street, number, neighborhood, city, state, country, zip code) and email address for correspondence.

A telephone number with the international code should also be provided (for editorial communication only).

The contact information of the rest of the authors should be provided in the following order: institutional affiliation (public or private) name of school or faculty, institute or research center, unit or department, city, state and country.

For all the authors, information related to the Conahcyt CVU number, ORCID iD, and level of SNII, in case they are members of it, should be provided.

Peer review and follow-up

The username and password allow the corresponding author to log in and upload their manuscript to the platform. They will also be used to continue the editorial process, review the status of their manuscripts, once the manuscript has met the formatting requirements and been assigned to a field editor.

The editorial process is developed into four stages:

Formatting assessment.

Field editor screening.

Anonymous peer review.

Editorial design and adjustment.

Authors are expected to fully comply with the revisions required in each of the four stages of the review process, highlighting in red color the changes made to the most updated version of the manuscript (authors are expected to use the same Word document received in each of the stages).

In the formatting assessment stage, manuscripts will be subject to a preliminary review by members of the Editorial Department of the journal, to ensure that they meet the thematic and format requirements, and to analyze the levels of similarity with previously published material (through the iThenticate software). Once all the general considerations for publication are fulfilled, the manuscript will be assigned to the area editor. Those manuscripts that fail to complete this stage within a 30 day period will be cancelled.

In the second stage, the area editor will assess the relevance of manuscripts to determine whether they are sent out for peer review or not. It is possible for the area editor to provide the authors with feedback and may even require a second round of review prior to making a final decision. As such, authors will have 10 days to submit their manuscript with the required changes.

From this stage, in addition to making each of the required corrections, which will need to be highlighted in red color on the most recent version of the manuscript, authors will need to submit a separate form in which they provide a detailed response to each of the comments or suggestions, indicating the line numbers on which they are located.

Those manuscripts approved by the area editor will then be assigned to at least two expert and external peer reviewers, who will determine whether they are accepted or rejected based on an academic and scientific analysis. In the event of disagreement between the reviewers' decisions, the manuscript will be sent out to a third reviewer, whose decision will define its acceptance or rejection.

Authors will receive the decision and comments made by the reviewers and will be required to provide a response to each of the comments, indicating the changes made on the last version of the manuscript. They will have a 15-day period to revise the manuscript as required by the reviewers. Failure to make the required corrections within the specified time frame will result in manuscript rejection.

All manuscripts accepted by the peer reviewers will undergo a process of editorial and format revision to adjust them to the required publication format of the journal. Once this stage is completed, the acceptance letter of the manuscript will be issued and the proofs will be sent to the authors, who will have four calendar days to check and correct them. If the authors do not respond within the time frame, the article will be published following the Editor's judgment.

In the case the authors need an extension to respond to the requirements in any of the different stages of the process, they will have to make a formal request to the journal's Editor. In case the authors need to replace the corresponding author, the new one will have to be one of the initially listed authors. It is necessary to submit a form, on which the authors provide a written justification of the replacement request. The form will also have to include the signatures of both, the current and the proposed corresponding authors. The new corresponding author will be expected to sign all the required documents to publish in the CienciaUAT journal.

Manuscript preparation

3.1. General considerations

The manuscript should be written in Microsoft Word, with a 12-point Times New Roman font, spaced at 1.5, formatted into Letter page size, with 2.54 cm margins on every side. Pages should be numbered sequentially. Lines should also be numbered sequentially to facilitate the evaluation process.

The manuscript must be written in past tense and in an impersonal form. Acknowledgments must be included in the final part of the text and only for cases of sources of financial support.

Tables and figures (graphs, images, conceptual maps, geographic maps, photographs, among others) must be referenced in the text and placed towards the end of the manuscript, each in a separate sheet. They will include captions in both Spanish and English.

Tables need to be presented in MS Word format and should not be included as images. Information included as part of tables and figures should not be repeated in the text, except when it is necessary for the discussion of results.

Figures (review figures format) should be preferably provided in color, except those images that are originally generated in grayscale shades (micrographs, for example). Figures should be additionally submitted in a separate file in jpg format at 300 dpi or higher to ensure printing quality. The editable file in which they were generated should also be submitted.

The text describing the figures (title and description) must be drafted independently and not as part of the image.

In case maps are used, these should specify geographical coordinates indicating the area or place of study, adhering to the following format: 98°12'15" W o 45°23'10" N. When it comes to a polygon, the upper left and lower right coordinates should be indicated. The altitude above the sea level should be cited in meters. The wind rose should be included in the upper left corner, within the figure to indicate its orientation.

In the case of those accepted manuscripts, the corresponding author should provide photograph(s) to illustrate the cover page of their work in a jpg format at 300 dpi or higher. Additionally, an image (table, graph or photograph) should be submitted to be included in the Table of Contents, alongside the title of their contribution.

Structure of the articles

Manuscripts in the form of scientific articles must have a maximum of 25 pages (including figures and tables) and will include the following sections:

Title

The title should clearly describe the contents of the article within a length of 150 characters in Spanish (without spaces).

Title

It is the appropriate and accurate translation of the Spanish title into the English language.

Short title (Spanish). Authors should also provide a shorter version (maximum 6 words) of the manuscript title.

Abstract

The abstract in Spanish must not exceed 300 words, including a brief introduction, the objective or purpose, the methods used, main findings and a conclusion.

Keywords

A list of three to five keywords should be included.

Abstract

It is the appropriate and accurate translation of the Spanish abstract into the English language. There is not a word limit, but its contents should not be extended unnecessarily, except for the need to express its original idea adequately.

Keywords

An appropriate and accurate translation of the list of the keywords should be provided.

Introduction

Its length should not exceed 3 pages. It should include an updated review of the relevant literature, where the importance of the study must be highlighted. The background, the context where the study is situated, theoretical framework, methods used, and the contribution of the study, which are often considered essential to understand the scope of the research, can be provided in a concise manner within this section. The section should conclude with a description of the main aims of the study.

Materials and methods

The Materials and Methods section needs to provide sufficient information in a way that the study can be replicated or that its credibility can be assessed. The experimental design (if applicable), statistical method, data sources and techniques of analysis used need to be clearly indicated. In case specimens are used, the procedures followed to gain access to them need to be clearly described.

Brand names, year and origin (city and country) of the research devices used for the study need to be clearly indicated. All the ethical considerations related to research that involves persons or animals should be clearly discussed.

The identity and personal data of the participants in the study need to be protected, securing the informed consent from the involved parties before the dissemination of any confidential information.

In the case of health related studies, a reference needs to be made to the Ethics committee that approved the research protocol. Furthermore, in the case of those studies whose research subjects are humans, copies of the signed informed consent forms need to be provided. In all the cases, studies in which humans are involved must adhere to the ethical guidelines for human experimentation as stated in the 1975 Declaration of Helsinki.

In the case of the studies that make use of animals for experimentation, all the appropriate measures implemented to minimize pain and uneasiness need to be clearly indicated. In addition, a declaration identifying the ethics committee that approved that research methodology needs to be provided in the methods section. Similarly, when animals are used in clinical trials, the informed consent from their owners or customers needs to be gained and explicitly declared in the document.

The experiments and clinical trials with persons or animals should be conducted following the guidelines established by the National Health Institute (National Health Institute) of the USA, particularly those related to the care and use of animals in experimentation procedures. Alternatively, the guidelines for ethical practice developed by the European Community Council dated November 24, 1986 (86/609/eec) can also be followed in accordance with national and local laws and regulations. The editors of the journal reserve the right to reject those works that appear to have failed to secure an adequate informed consent from the involved parties or to apply appropriate procedures.

The results and discussion sections can be presented separately.

The main findings should be presented and related to current literature in a way that justifies the innovative contribution that the study makes to the advancement of knowledge.

Conclusions

The main contributions of the study should be highlighted in a clear and concrete manner, avoiding the repetition of discussion of previous findings.

Conflict of interests

Authors are required to declare any potential sources of conflict of interest such as being the recipients of funding either now or in the past from a business or institution which can positively influence the outcomes of the research. Likewise, any adverse feeling towards enterprises, institutions or groups that can negatively affect the outcomes of the research should also be declared. We recommend that you consult our (conflict of interest policy).

Acknowledgements

In case the authors received any financial support for their study, they should provide details such as the name of the funding agency and grant number.

References

At least 40% of all the references used in the article should be from the last 5 years. Please see the instructions for the list of references (backside of this document).

Structure of literature reviews

Manuscripts in the form of literature reviews must have a maximum of 20 pages in length (including figures and tables) and will include the following sections:

Title

The title should clearly describe the contents of the article within a length of 150 characters in Spanish (without spaces).

Title

It is the appropriate and accurate translation of the Spanish title into the English language.

Short title (Spanish).

Authors should also provide a shorter version (maximum 6 words) of the manuscript title.

Abstract

The abstract in Spanish must not exceed 250 words, including a description of the topic being reviewed, its relevance and scope. It should be composed of three elements: a brief introduction, the main aim(s) and a conclusion that includes the contribution of it.

Keywords

A list of three to five keywords should be included.

Abstract

It is the appropriate and accurate translation of the Spanish abstract into the English language. There is not a word limit, but its contents should not be extended unnecessarily, except for the need to express its original idea adequately.

Keywords

An appropriate and accurate English translation of the list of the keywords should be provided.

Introduction

It is the first part of the manuscript and should contain a discussion of the topic being addressed, its significance, justification, and, if relevant, the context where the study is situated, theoretical framework and the methods used, which are often considered essential to understand the scope of the research, can be provided in a concise manner within this section. The section should conclude with a description of the main aims of the study.

This section should be followed by the body of the document, which should be divided into sections based on the themes under consideration.

Sections

A broad and critical review of the literature is expected in a way that allows the readers to deepen their understanding of the most recent advancement of the topic being addressed. Therefore, at least 50 % of the references cited in each section (including the introduction) should have been published within the last 5 years, placing emphasis on studies published during the current or last year.

Conclusions

The main contributions to knowledge in the field should be highlighted in a clear and concrete manner, avoiding the repetition of any analysis previously discussed in the body of the document.

References

At least 50 % of all the references used in the article

should be from the last 5 years. Please see the instructions for the list of references (backside of this document).

Conflict of interests

Authors are required to declare any potential sources of conflict of interest such as being the recipients of funding either now or in the past from a business or institution which can positively influence the outcomes of the research. Likewise, any adverse feeling towards enterprises, institutions or groups that can negatively affect the outcomes of the research should also be declared. We recommend that you consult our (conflict of interest policy).

Acknowledgements

In case the authors received any financial support for their study, they should provide details such as the name of the funding agency and grant number.

Additional aspects

Abbreviations and acronyms

Word or phrases that will be used frequently throughout the manuscript can be replaced by their abbreviations, preferably by those which are commonly used in the field, e.g. water retention capacity (WRC), body mass index (CMI). Similarly, the use of abbreviations that are generated specifically for the study is also allowed, as long as they are previously described, e.g. work stress questionnaire (WSQ).

In case English acronyms are used in the names of questionnaires or any measurement method or instrument, authors are expected to indicate what they stand for in the first place. For example, For example, cuestionario de control de la imagen corporal en fotografías (BICP, por sus siglas en inglés: body image control in photos questionnaire); secuenciación de siguiente generación (NGS, por sus siglas en inglés: next generation sequencing). In addition, the names of organizations should be described, e.g. la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés: Food and Drug Administration).

Measurement units

The units of any scientific or lab data and their abbreviation should adhere to the international system of units (SI) described by the Spanish Metrology Center Centro Español de Metrología (Ninth edition). No dots should be used in the abbreviations (e.g. kg, cm, °C, or m). The units in degrees and the % symbol must be separated from the numbers: 27 °C, 83 %.

The units should be used as shown in the following format: rad/s, not in rad * s⁻¹. Another example: kg/m³ instead of kg m⁻³ (kg x m⁻³ o kg * m⁻³).

Citations

All publications cited in the text of the article must appear in the references section and vice versa. Authors are expected to adhere to the APA 7th edition guidelines in Spanish, except for the use of et al., which is a Latin abbreviation for "and others", and the format "y col." should be used. Authors must verify that the names of the authors and dates cited in the text are exactly the same as those in the list of references. Authors must also make sure that all the elements of bibliographic references are included. It is the responsibility of the author(s) to verify the correct spelling of authors' names cited in articles or literature reviews.

Citations or references inserted in the corresponding places in the text must be placed in parenthesis, contain the last name of the author and include the year of publication. For example: (Martínez, 2015). It is also possible for authors to use their hyphenated last names (Martínez-González, 2019). (Núñez y Pérez, 1983; Núñez y col., 1984). (Núñez y Pérez, 1983a; 1983b).

In the case of two authors, the format (Martínez y Gómez, 2014) should be used.

To indicate more than two authors, (Martínez y col., 2014) should be used.

In case of more than one reference, they should be separated with semi colon, and need to be placed in alphabetical order based on year of publication (from oldest to newest) (Martínez y Gómez, 2012; Martínez y col., 2014).

If two or more citations are from the same year of publication, they will have to be placed in alphabetical order (Martínez y Gómez 2012; Martínez y Hernández, 2012; Miranda, 2012).

When a citation is used out of the parentheses, it should be separated by a comma or with the conjunction “y” (and), if applicable, e.g. Gallegos y Elgier (2020), Torralbas (2020) y Rodríguez y col. (2021), who argued that...

If there are two references of the same authors in the same year of publication, small letters in alphabetical order are used to avoid confusion (Martínez y Gómez, 2014a; 2014b).

Textual citations (entirely copied text) that contain 40 or fewer words will be placed in quotation marks and will include, in addition to the author(s) name and year of publication, the page number(s). For example, “The placebo effect disappeared when...” (Martínez, 2015: 126); Martínez (2015), found that: “The placebo effect disappeared when...”

In case a secondary source (which should be used only when the original item is no longer available or only available in another language) is used, the following format should be used: tomada del informe bienio (2008-2009), Observatorio Iberoamericano de Economía Social y Cooperativa (oibes-coop) citado en Chaves-Avila y Pérez-de-Uralde (2012) y Chaves-Avila y col. (2013) (Tabla 3). The secondary source must also be included in the reference list.

When using corporate authors such as institutes or ministries or organizations among others, acronyms must be spelled out the first time they are cited in the text. Example: according to reports provided by the Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2015)..... Only the acronym will be cited subsequently (IMSS, 2015).

In addition, if acronyms in English are used, they must be spelled out the first time they are cited in the text, e.g. According to the Asociación Americana de Antropología (AAA, por sus siglas en inglés): The American Anthropological Association) (AAA, 2008).

Legal material texts are cited as follows: The Mexican constitution (2008), in its 27 article, establishes that “The property of land and water comprised within the national territory boundaries originally corresponds to the Nation”...

In personal communications, letters, and emails, additional information to that suggested by the APA style should be provided to justify its origin, e.g. (Luis Fuentes-García, procesador de jaiba en Tampico, Tamaulipas, comunicación personal, 12 de junio, 2015).

If the information provided through a personal communication is available in a retrievable document, its source should be cited, e.g. (Fuentes, 2015). It should also be included in the list of references alongside its file format.

No references or notes should be included as footnotes.

No theses, instruction manuals, book notes or any other hard to find material should be cited.

References

A list of all the references used in the text must be provided at the end of the manuscript in alphabetical and chronological order indenting the first line (1.25 cm), as shown in the examples of this section.

Scientific articles

Aburto, J. M., Schöley, J., Kashnitsky, I., Zhang, L., Rahal, C., Missov, T. I., Mills, M. C., Dowd, J. B., & Kashyap, R. (2022). Quantifying impacts of the COVID-19 pandemic through life-expectancy losses: a population-level study of 29 countries. *International Journal of Epidemiology*, 51(1), 63-74. Agregar el identificador de objeto digital (Digital Object Identifier: DOI)*

Bustos, G. y Pérez, R. (2018). Relación entre factores psicosociales y el Índice de Función Sexual Femenina en población rural de la comuna de Teno, región de Maule. *Perinatología y Reproducción Humana*, 32(1), 9-18. DOI

Chao, A. & Jost, L. (2012). Coverage based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by complete-

ness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547. DOI

Figuroa, K. M. (2020). Tratamientos psicológicos para mejorar la vida sexual en mujeres supervivientes de cáncer ginecológico: revisión sistemática. *Psicooncología*, 17(2), 293-309. DOI

González, R. (2016). Presentación: la perspectiva y el debate acerca de una economía cooperativa, solidaria y autogestionaria como centro de una economía social. *Revista de la Academia*, (21), 5-29. DOI

Tejada, K., González, A., Carty, E. y Camarena, F. (2023). Abundancia y diversidad de aves playeras en la playa El Agallito, distrito de Chitré, provincia de Herrera. *Tecnociencia*, 25(1), 41-62. DOI

Generally speaking, the citations should follow the APA 7th edition guidelines, with the following specifications:

References should include up to 20 items. In references with 2 to 20 authors the conjunction “y” to indicate the last author in citations of published material in Spanish and a comma followed by the “&” symbol (, &) to indicate the last author in citations in English.

In citations with 21 or more authors, the first 19 authors should be mentioned in the order in which they appear, followed by three dots...and the last author, without the “y” conjunction or the “&” symbol.

Note 1: in continuous publication journals, which assign page numbers, the following format should be used: *PLoS ONE*, 14(9), Article e0222224. DOI

*Note 2: in case the reference contains a DOI, it should be provided as used in the original source.

Books

Print book

Ruiz, C. P. (2021). La culpa en la mujer. Una emancipación pendiente. Síntesis.

Online book

Arias, S. y D. Aquino. (2019). Familia Cactaceae I. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 209. Instituto de Ecología, A.C. DOI o Agregar el localizador de recursos uniforme (Uniform Resource Locator: URL).

Book with an editor

Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A. y Marroquín-de-la-Fuente, J. S. (Eds.) (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Book chapters

Quintero, Y. y Del-Carpio, P. (2020). Encuentros y desencuentros en la familia tras el COVID-19. En Y. del-Valle, D. Alvarez, J. Batista y D. Rojas (Eds.), *Impacto del COVID-19 desde la perspectiva socio-económica en el contexto global* (pp. 31-34). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero y ALININ. URL o DOI

Viter, R. & Latsunskyi, I. (2019). Metal oxide nanostructures in sensing. In O. V. Zenkina (Ed.), *Nanomaterials design for sensing applications* (pp. 41-91). Elsevier.

Newspaper articles

Carreño, L. (9 de febrero de 2020). La disputa gremial por los aranceles a las prendas de vestir. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/economia/la-disputa-gremial-por-los-aranceles-las-prendas-de-vestir-articulo-903768>

Interviews

Nacif, B. (2018). Presidente de la Comisión de Prerrogativas del Instituto Nacional Electoral (INE), Ciudad de México, México.

Websites and electronic books

National Cancer Institute (2019). SEER Cancer Stat Facts. [En línea]. Disponible en: <https://seer.cancer.gov/statfacts/html/mulmy.html>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2022.

When the reference is from a PDF file document

Rodríguez, R. (2019). Una guía para combatir el Bullying [Archivo PDF]. [En línea]. Disponible en: <https://www.url.com>. Fecha de consulta: 3 de febrero de 2023.

La **UAT** invita a SUS profesores e investigadores a difundir SUS libros académicos a través del portal **http://libros.uat.edu.mx**

Ventajas

- Visibilidad internacional
- Descargable en PDF
- Compartir en redes sociales
- Incrementan las citas
- Posibilidad de colaboraciones
- Invitaciones a eventos académicos



Revista arbitrada e indexada en bases de datos internacionales



Journal Citation Reports™



Envía tus colaboraciones científicas a:

cienciauat@uat.edu.mx

CienciaUAT



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD