

Órgano de Difusión de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística

CienciaUAT

UAT

Universidad Autónoma de Tamaulipas

Registro ISSN 2007-7521

Edición especial

"Mujeres en la Ciencia"

VOLUMEN 17

NÚMERO 2
ENE-JUN
2023



Portada elaborada a partir de imágenes de Canva educativo

EDITORA INVITADA

Dra. Karla Villarreal Sotelo, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
E-mail: kvillar@docentes.uat.edu.mx

EDITORA INVITADA ADJUNTA

Dra. María Lilia Cedillo Ramírez, (SNI I)
Benemerita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), México
E-mail: lilia.cedillo@correo.buap.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

Editoras de CienciaUAT con participación en la edición especial “Mujeres en la Ciencia”

Dra. Cirila Quintero Ramírez, (SNI III)
Colegio de la Frontera Norte de Tamaulipas, México
Dra. María Elena Teresa Medina-Mora Icaza, (SNI III)
Secretaría de Salud, México
Dra. Montserrat Calderón Santoyo, (SNI II)
Instituto Tecnológico de Tepic, México
Dra. Marcela Alejandra Tiburcio Sainz, (SNI II)
Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz, México
Dra. Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivas, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. María Guadalupe Moreno Bayardo, (SNI II)
Universidad de Guadalajara (UDG), México
Dra. Mónica Regina De Arteche
Universidad de San Andrés, Argentina
Dra. María Isabel de la Garza Ramos, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Guillermina Natera Rey, (SNI III)
Secretaría de Salud, México
Dra. María Elena Rivera Heredia, (SNI I)
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), México
Dra. Karla Lorena Andrade Rubio, (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Ana Belén Moldes Mendiña
Universidad de Vigo, España
Dra. Julieta María Ana Quilodrán Salgado, (SNI II)
El Colegio de México, México
Dra. Aidé Aracely Maldonado Macías, (SNI II)
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), México
Dra. Laila Alicia Peralta Escobar, (SNI C)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

Editoras invitadas en la edición especial “Mujeres en la Ciencia”

Dra. Julia Estela Monárrez Fragoso, (SNI III)
El Colegio de la Frontera Norte, México
Dra. María Elena Ramos Tovar, (SNI II)
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México
Dra. Arani Casillas Ramírez, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas, (SNI II)
Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), México
Dra. María Antonia Candela Martín, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dra. Carmen Rodríguez Fernández
Universidad de Sevilla, España
Dra. Inés María de los Angeles Cornejo Portugal, (SNI III)
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México
Dra. Norma Blazquez Graf, (SNI II)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México
Dra. Luciana Esther Ramos Lira, (SNI II)
Instituto Nacional De Psiquiatría Ramón De La Fuente Muñiz, México
Dra. Ma Teresa Prieto Quezada, (SNI III)
Universidad de Guadalajara (UDG), México
Dra. Georgina María Esther Aguirre Lora, (SNI III)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México
Dra. Elva Esther Vargas Martínez, (SNI II)
Universidad Autónoma Del Estado De México (UAEMEX), México
Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú, (SNI II)
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México
Dra. Ma. Guadalupe del Carmen Méndez Montealvo, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dra. Ana María Sifuentes Rincón, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dra. Wendy Flores Fuentes, (SNI II)
Universidad Autónoma de Baja California (UABC), México
Dra. Mónica Lorena Sánchez Limón, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

Directorio

Mtro. Guillermo Mendoza Cavazos

Rector

**Universidad Autónoma de
Tamaulipas**

Dr. Eduardo Arvizu Sánchez

Secretario General

Dra. Mariana Zerón Félix

Secretaria de Investigación y Posgrado

Dra. Rosa Issel Acosta González

Secretaria Académica

Dr. Leonardo Uriel Arellano Méndez

**Secretario Técnico del Consejo de
Publicaciones**

CienciaUAT, Año 17, Número 2, enero-junio, es una publicación semestral multidisciplinaria, publicada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, con domicilio en Matamoros s/n, Centro, Juan B. Tijerina y C. Colón, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P 87000. Tels. 01(834) 318 18 00 y 318 17 00, sitios web: www.uat.edu.mx, www.revistacienciauat.uat.edu.mx. Editor responsable: José Alberto Ramírez de León. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo N° 04-2016-060213163700-102, ISSN2007-7521, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Número de Certificado de Licitud de Título: 14 077. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11 650, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro Postal Cartas CA 28-0053 autorizado por Servicio Postal Mexicano. Impresa por el Departamento de Fomento Editorial, Edificio Administrativo, Planta Baja, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P 87149. Tel. 01(834) 318 17 46. Este número se terminó de imprimir el 31 de enero de 2023, con un tiraje de 500 ejemplares. Distribuida por Revista CienciaUAT, Edificio Centro de Gestión del Conocimiento, segundo piso, Centro Universitario Victoria "Lic. Adolfo López Mateos", Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87149. Tels. 01(834) 318 18 00 y 01(834) 318 17 00, exts. 2963.

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:

Les agradecemos nuevamente su confianza e interés en el material científico que se publica en CienciaUAT. En esta ocasión tenemos excelentes contribuciones, que nos aportan las participantes en el IV Congreso de investigadoras del SNI y de Iberoamérica, bajo la temática Mujeres en la Ciencia.

En el área de Física, Matemáticas y Ciencia de la Tierra, los investigadores nos describen la forma en que se fabrican y caracterizan los pozos cuánticos presentes en materiales semiconductores. También nos describen la forma en que se obtienen las nanoestructuras de óxido de zinc con aplicaciones para la detección de ácido sulfhídrico, un gas tóxico presente en emanaciones industriales.

En el área de Biología y Química nos describen la composición vegetal del matorral desértico rosetófilo del Área Protegida de Flora y Fauna Maderas del Carmen, ubicada en el norte de Coahuila, México.

En el área de Medicina y Ciencias de la Salud se describen los problemas de inequidad en el acceso a la atención materna que sufren las mujeres que habitan diferentes municipios de Mérida, México. También se hace una revisión sobre el riesgo que tienen las mujeres de contraer cáncer anal cuando presentan neoplasia cervical e infección inducida por el virus del papiloma humano.

Las investigadoras del área de Humanidades y Ciencias de la Conducta nos señalan las dificultades que presentaron las madres de menores en edad escolar durante el confinamiento causado por la pandemia de COVID-19 y las estrategias de afrontamiento que utilizaron para superar los retos.

En el área de Ciencias Sociales se presenta un exhaustivo análisis de las científicas mexicanas, con adscripción en instituciones de nuestro país, que han participado como coautoras de los trabajos más citados por sus pares en las diferentes disciplinas. Se analiza también el impacto favorable que tiene la integración de los estudiantes del idioma inglés a círculos literarios, actividad que fortalece la lectura en extenso y con ello una más eficiente comprensión del idioma. En el tema empresarial se evalúa cual es la intención manifiesta de los empresarios del sur de Tamaulipas de utilizar estrategias fiscales para elevar su competitividad y utilidades.

En el área de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias se describe la calidad microbiológica del agua que se comercializa en garrafones en la ciudad de Puebla. También del uso de recubrimientos biodegradables a base quitosano y aceite esencial de cítricos para prolongar la vida de anaquel de papaya fresca. Finalmente nos describe el uso potencial de redes neuronales artificiales para predecir la evapotranspiración en estaciones meteorológicas distantes.

Esperamos que disfruten el contenido de este número y lo compartan en sus círculos académicos y científicos para que más personas conozcan acerca de estos importantes temas

Verdad, Belleza, Probidad



Mtro. Guillermo Mendoza Cavazos
Rector
Universidad Autónoma de Tamaulipas

EDITOR RESPONSABLE

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

Dr. Alberto Mora Vázquez (SNI I)

Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

EDITORES DE INGLÉS

Dra. Nelly Paulina Trejo Guzmán

Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

FÍSICA, MATEMÁTICAS
Y CIENCIAS DE LA TIERRA

Dr. Gerardo Enrique Quiroga Goode
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dra. Evelia Reséndiz Balderas, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. José Alberto Batista Rodríguez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Coahuila (UAC), México
 Dr. Héctor Vázquez Leal, (SNI II)
Universidad Veracruzana (UV), México



BIOLOGÍA Y QUÍMICA

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

MEDICINA Y CIENCIAS DE
LA SALUD

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. Aldo Fidel Izaguirre Hernández
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dra. Montserrat Bacardí Gascón, (SNI III)
Universidad Autónoma de Baja California (UABC), México
 Dr. Guillermo Manuel Ceballos Reyes, (SNI III)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
 Dr. Sandro Fernandes Da Silva
Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Dr. Juan Miguel Jiménez Andrade, (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dra. Octelina Castillo Ruiz, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. Francisco Vázquez Nava, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. Virgilio Bocanegra García, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México

HUMANIDADES Y
CIENCIAS DE LA CONDUCTA

Dra. María Elena Rivera Heredia, (SNI I)
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México
 Dr. Octavio Herrera Pérez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. José Luis Ybarra Sagarduy, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. Rubén Salvador Roux Gutiérrez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Coahuila (UAC), México
 Dra. María Elena Teresa Medina-Mora Icaza, (SNI III)
Secretaría de Salud, México
 Dr. Fernando Flores Camacho, (SNI II)
Universidad Nacional Autónoma de México, 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



CIENCIAS SOCIALES

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

BIOTECNOLOGÍA Y
CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dr. Juan Arturo Ragazzo Sánchez, (SNI II)
Instituto Tecnológico de Tepic, México
 Dr. Enrique Márquez Ríos, (SNI II)
Universidad de Sonora, México
 Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa, (SNI II)
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México
 Dra. Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivas, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dra. Montserrat Calderón Santoyo, (SNI II)
Instituto Tecnológico de Tepic, México
 Dr. Alejandro Espinosa Calderón, (SNI III)
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México
 Dr. Juan Carlos Martínez González, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. Francisco Infante Martínez, (SNI I)
El Colegio de la Frontera Sur, México
 Dr. Julio Martínez Burnes, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dra. Rocío Margarita Uresti Marín, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dra. María Jesús Alcalde Aldea
Universidad de Sevilla, España
 Dr. Jaime Salinas Chavira, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. Juan L. Silva
Mississippi State University, Estados Unidos
 Dr. Jesús Genaro Sánchez Martínez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. Roberto Pérez Castañeda, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
 Dr. Manuel Vázquez Vázquez
Universidad de Santiago de Compostela, España
 Dr. Luis Angel Rodríguez del Bosque, (SNI III)
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), México
 Dr. Netzahualcoyotl Mayek Pérez, (SNI III)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
 Dr. Gonzalo Velázquez de la Cruz, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
 Dr. José Alberto Gallegos Infante, (SNI III)
Instituto Tecnológico de Durango, México
 Dr. José Manuel Cruz Freire
Universidad de Vigo, España
 Dra. Ana Belén Moldes Menduina
Universidad de Vigo, España
 Dr. Iván Moreno Andrade, (SNI II)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México
 Dra. Elizabeth Carvajal Millán, (SNI III)
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC (CIAD), México
 Dr. Francisco Guevara Hernández, (SNI II)
Universidad Autónoma de Chiapas (UACH), 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. Marco Antonio Panduro Mendoza, (SNI II)
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), México
 Dr. Rodolfo Abraham Pazos Rangel, (SNI II)
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México
 Dr. Eduardo Morales Sánchez, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
 Dr. Rumen Ivanov Tsonchev, (SNI II)
Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), México
 Dr. Daniel Alberto May Arrijoa, (SNI III)
Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), México
 Dr. Ramón Ventura Roque Hernández, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

ÍNDICE / TABLE OF CONTENTS

VOL. 17 No. 2: ENERO-JUNIO 2023

CienciaUAT 

FÍSICA, MATEMÁTICAS Y CIENCIAS DE LA TIERRA

- 06** Fabricación y caracterización de pozos cuánticos para el estudio de la interacción luz-materia
Fabrication and characterization of quantum wells for the study of light-matter interaction
Lucy Estefanía Tapia-Rodríguez
Liliana Estela Guevara-Macias
Alfonso Lastras-Martínez
Luis Felipe Lastras-Martínez
- 24** Las nanoestructuras de ZnO y sus aplicaciones como sensor de gas H₂S
The ZnO nanostructures and their applications as a H₂S gas sensor
Claudio Martínez-Pacheco
Ebelia Del-Ángel-Meraz
Laura Lorena Díaz-Flores

BIOLOGÍA Y QUÍMICA

- 37** Composición de especies vegetales en un matorral desértico rosetófilo del norte de Coahuila, México
Plant species composition in a rosetophyllous desert scrub of northern Coahuila, Mexico
Ramiro Velázquez-Rincón
Eduardo Alanís-Rodríguez
Ana María Patiño-Flores
Arturo Mora-Olivo
Jonás Adán Delgadillo-Villalobos

MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD

- 52** Inequidades en el acceso a la atención de la salud materna: una mirada con perspectiva de género
Inequities in access to maternal health care: a look with a gender perspective
Elsa María Rodríguez-Angulo
Yolanda Oliva-Peña
Guadalupe Andueza-Pech
- 68** Neoplasia cervical e infección por virus del papiloma humano como factores de riesgo para desarrollo de cáncer anal y lesiones precursoras
Cervical neoplasia and human papilloma virus infection as risk factors for the development of anal cancer and precursor lesions
Velia Hernández-Márquez
Cheryl Díaz-Barrientos
Verónica Vallejo-Ruiz

HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA CONDUCTA

- 83** Dificultades en mujeres madres de niños y niñas en edad escolar durante el confinamiento por COVID-19
Difficulties in female mothers of school-aged children during COVID-19 confinement
Yazmín Alejandra Quintero-Hernández
Perla Shiomara del-Carpio-Ovando

CIENCIAS SOCIALES

- 95** Mujeres investigadoras en los trabajos más citados con adscripción a México
Female researchers in the most cited works affiliated to Mexico
María Elena Luna-Morales
Evelia Luna-Morales
- 112** Influencia de los círculos literarios para desarrollar la lectura en extenso en inglés en ambientes virtuales
Influence of literary circles to develop extensive reading in English in virtual environments
Norma Flores-González
- 130** Intención de uso de estrategias fiscales en empresas familiares en el sur de Tamaulipas, México
Tax strategies' intention of use in family-owned business in southern Tamaulipas, Mexico
Daniel Eduardo Paz-Pérez

BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

- 146** Calidad microbiológica: detección de *Aeromonas* sp y *Pseudomonas* sp en garrafrones provenientes de pequeñas plantas purificadoras de agua
Microbiological quality: detection of *Aeromonas* sp and *Pseudomonas* sp in jugs from small water purification establishments
Berenice Venegas
Marco Antonio Tello-Hernández
Verónica Cepeda-Cornejo
Dalia Molina-Romero
- 165** Recubrimiento biodegradable antifúngico a base de quitosano y aceite esencial de cítricos para la conservación de papaya (*Carica papaya* L.) en poscosecha
Biodegradable antifungal coating based on chitosan and citrus essential oil for the conservation of papaya (*Carica papaya* L.) in postharvest
María del Rosario García-Mateos
Joel Corrales-García
Teresita Cornejo-Vivar
Lyzbeth Hernández-Ramos
- 181** Predicción de la evapotranspiración de referencia utilizando redes neuronales artificiales
Reference evapotranspiration prediction using Artificial Neural Networks
Raquel Salazar-Moreno
Irineo Lorenzo López-Cruz
Efrén Fitz-Rodríguez



Imágenes de: Lucy Estefanía Tapia Rodríguez

Fabricación y caracterización de pozos cuánticos para el estudio de la interacción luz-materia

Fabrication and characterization of quantum wells for the study of light-matter interaction

Lucy Estefanía Tapia-Rodríguez*, Liliana Estela Guevara-Macías, Alfonso Lastras-Martínez, Luis Felipe Lastras-Martínez

RESUMEN

Los pozos cuánticos representan la base de una gran variedad de dispositivos electrónicos, entre ellos los ledes, láseres, fotodetectores y moduladores. Las propiedades optoelectrónicas de estos sistemas dependen de su composición química y del espesor de las capas crecidas. Por dicha razón, es necesario tener un control preciso durante su crecimiento. El presente trabajo tuvo como objetivo inducir el crecimiento epitaxial de pozos cuánticos intrínsecos (sin ningún dopaje) asimétricos acoplados y desacoplados de AlGaAs/GaAs/AlGaAs, así como, establecer su caracterización mediante técnicas de espectroscopía óptica, como lo son la reflectancia diferencial, también conocida como espectroscopía de reflectancia anisotrópica (RAS) y la fotoluminiscencia (PL). Se realizó un estudio experimental de las interacciones entre niveles de energía en los pozos cuánticos asimétricos acoplados. Este tipo de estructuras son especialmente interesantes por permitir la formación y observación, no solo de excitones directos, dentro del mismo pozo, sino también, de excitones y triones indirectos, que se forman entre electrones de un pozo y huecos de otro pozo vecino (Transiciones intra-QW). Se hicieron crecer tres pozos intrínsecos, basados en arseniuro de galio (GaAs): un pozo individual (desacoplado) y un par de pozos asimétricos acoplados, a través de epitaxia por haces moleculares (MBE). Se observó el efecto del rompimiento de simetría (de D_{2d} a C_{2v}) en las propiedades espintrónicas de la estructura, a través de PL y RAS, a una temperatura de ~ 30 K. Se lograron establecer las técnicas y métodos necesarios para el crecimiento de pozos cuánticos intrínsecos, que constituyen la base para la creación de dispositivos y estructuras más complejas. El uso de técnicas espectroscópicas permitió demostrar la presencia de anisotropías ópticas, que repercuten en el comportamiento del espín de los excitones en pozos cuánticos.

PALABRAS CLAVE: pozo cuántico, espectroscopía, excitones.

ABSTRACT

Quantum Wells are the basis for a great variety of electronic devices such as leds, lasers, photodetectors and modulators. Their optoelectronic properties depend on their chemical composition and the thickness of each layer. Therefore, a precise control during their growth is needed. This work has the objective of presenting the epitaxial growth of coupled and uncoupled asymmetric AlGaAs/GaAs/AlGaAs quantum wells and their characterization using optical techniques such as reflectance anisotropy spectroscopy (RAS) and photoluminescence (PL). An experimental study of the different interactions between the confined levels of energy in coupled quantum wells was carried on. This kind of structures is of special interest because they allow the formation and observation not only of direct excitons and trions inside a single quantum well, but of indirect excitons and trions, which are only formed by electrons of one quantum well and holes of the neighbor quantum well (Intra-QW transitions). Three intrinsic quantum wells based on gallium arsenide (GaAs) were grown by molecular beam epitaxy (MBE), one single QW and a pair of coupled asymmetric QWs. The effect of breaking symmetry (from D_{2d} a C_{2v}) on the spintronic properties of the structure was observed by RAS and PL measurements at ~ 30 K. The main techniques and methods for the growth of intrinsic quantum wells were established, which are the basis for the creation of devices with more complex structures. The use of spectroscopic techniques for the study of quantum wells allowed the demonstration of the presence of optical anisotropies that influence the behavior of exciton's spins at quantum wells.

KEYWORDS: quantum well, spectroscopy, excitons.

*Correspondencia: Lucyestefaniatapia@gmail.com/Fecha de recepción: 10 de agosto de 2022/Fecha de aceptación: 16 de enero de 2023/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigación en Comunicación Óptica, Avenida Karakorom núm. 1470, Lomas cuarta sección, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, C. P. 78210.

INTRODUCCIÓN

Los materiales semiconductores tienen gran importancia por sus aplicaciones en la vida cotidiana. Múltiples dispositivos y sistemas utilizan este tipo de materiales (Hu y col., 2010); las tarjetas de memoria de las computadoras, celdas solares (Guerra y col., 2018), pantallas, láseres (Henini, 1993) y el diodo emisor de luz conocido como LED (Tapia y Santiago-García, 2022), son algunos ejemplos.

Los materiales semiconductores y aislantes tienen una característica fundamental llamada banda prohibida (banda gap), que corresponde a la diferencia energética entre la banda de conducción y la banda de valencia. Para incrementar el número de electrones en la banda de conducción y aumentar con ello su conductividad, es necesario transferir al material una energía mayor a la de su banda prohibida (Mishurnyi y Lastras-Martínez, 2009). En los aislantes, esta banda es tan grande que un electrón no podría “escapar” fácilmente de la banda de valencia a la de conducción de electricidad (Moebs y col., 2021). En el caso de la mayoría de los semiconductores, la banda mide alrededor de 1 eV o 2 eV (dependiendo del material), siendo la energía mínima necesaria para que un electrón sea excitado a la banda de conducción, convirtiendo al material en un conductor (Downs y Vandervelde, 2013). Una de las formas de transferir energía al material es por medio de luz. La energía de la luz está asociada a su color (o longitud de onda). A mayor longitud de onda menor energía y viceversa. Es así que, la luz puede ser absorbida y posteriormente emitida por el material, al iluminar con luz de energía mayor o igual a la de la banda prohibida (Figura 1) (Mishurnyi y Lastras-Martínez, 2009).

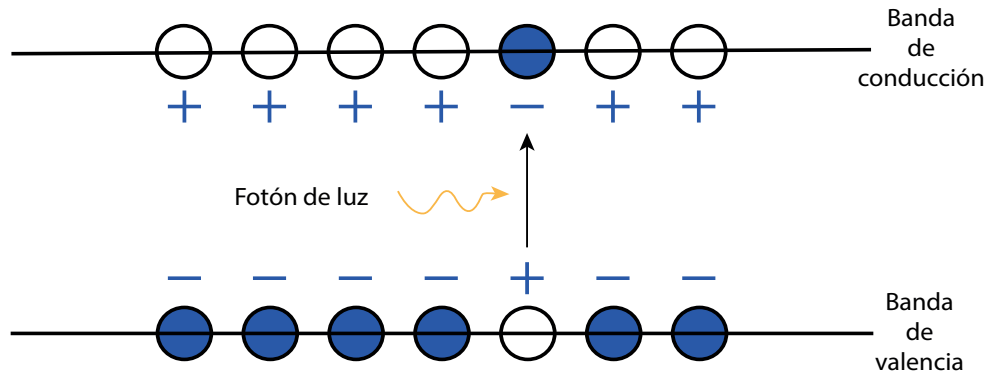
Los pozos cuánticos son estructuras semiconductoras formadas por dos materiales de distinta banda prohibida (banda gap) (Miller y Kleinman, 1985). Los pozos cuánticos basados en arseniuro de galio (GaAs) y arseniuro de galio aluminio (AlGaAs), donde el GaAs es el material de banda menor y el AlGaAs el de banda mayor (Figura 2A), son estructuras de gran

interés debido a sus múltiples aplicaciones en optoelectrónica. Los láseres, ledes y fotodetectores, que funcionan en el infrarrojo y rojo, contienen este tipo de estructuras de pozos cuánticos de GaAs en su interior, y la longitud de onda a la que trabajan depende del grosor de cada material y de la concentración de aluminio (Al) en las barreras (Tsao, 2002). Las dos propiedades tienen además un muy fuerte impacto al estudiar la interacción de luz con la materia. Por tales razones, el control del crecimiento de cada capa debe darse a nivel nanométrico (Biermann y col., 2021).

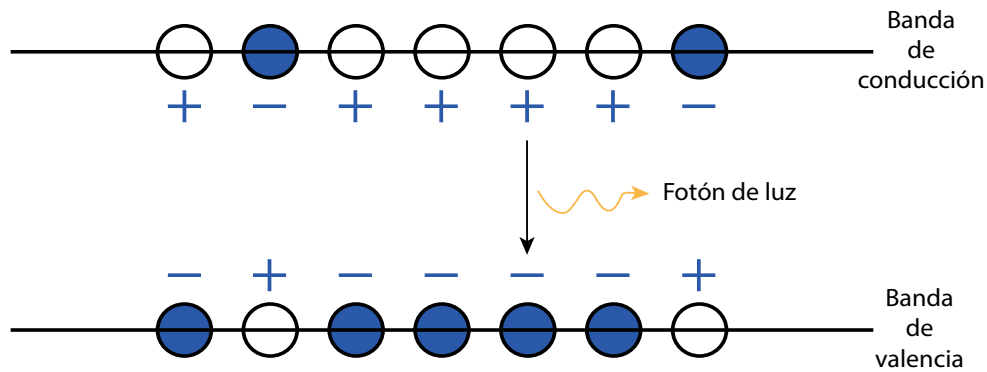
Los pozos cuánticos pueden analizarse en forma individual o por pares (dobles). Estos últimos se consideran simétricos cuando son del mismo tamaño, independientemente de la simetría del cristal y del acople entre ellos. Adicionalmente, los pozos cuánticos dobles (DQW, por sus siglas en inglés: double quantum well) acoplados (Figura 2B) son de particular interés, no solo por sus aplicaciones tecnológicas, sino por sus posibilidades para la investigación en ciencia básica. Esto es debido a que, son la estructura más simple posible para el estudio de excitones y triones directos e indirectos (Esser y col., 2000; Wilkes y Muljarov, 2017; Witham y col., 2018).

La diferencia fundamental entre los DQW desacoplados y acoplados, es que en el caso de los desacoplados se trata de 2 pozos cuánticos separados por una barrera gruesa, mientras que, en los pozos acoplados la división entre ellos es una barrera lo suficientemente delgada para permitir el tunelamiento cuántico de electrones (de 5 nm o menor). Este tunelamiento implica un cambio en las funciones de onda de los electrones y huecos confinados, y un cambio en los niveles de energía (Sivalertporn, 2016; Ozturk y col., 2018), además de mostrar un rompimiento en la simetría, en el caso de GaAs, pasando de D_{2d} a C_{2v} . Por consiguiente, en los DQW acoplados es posible no solamente observar excitones y triones directos, que se forman por electrones y huecos del mismo pozo, si no también, indirectos, que se forman por electrones de un pozo y huecos del pozo cuántico

A) Absorción de luz



B) Emisión de luz

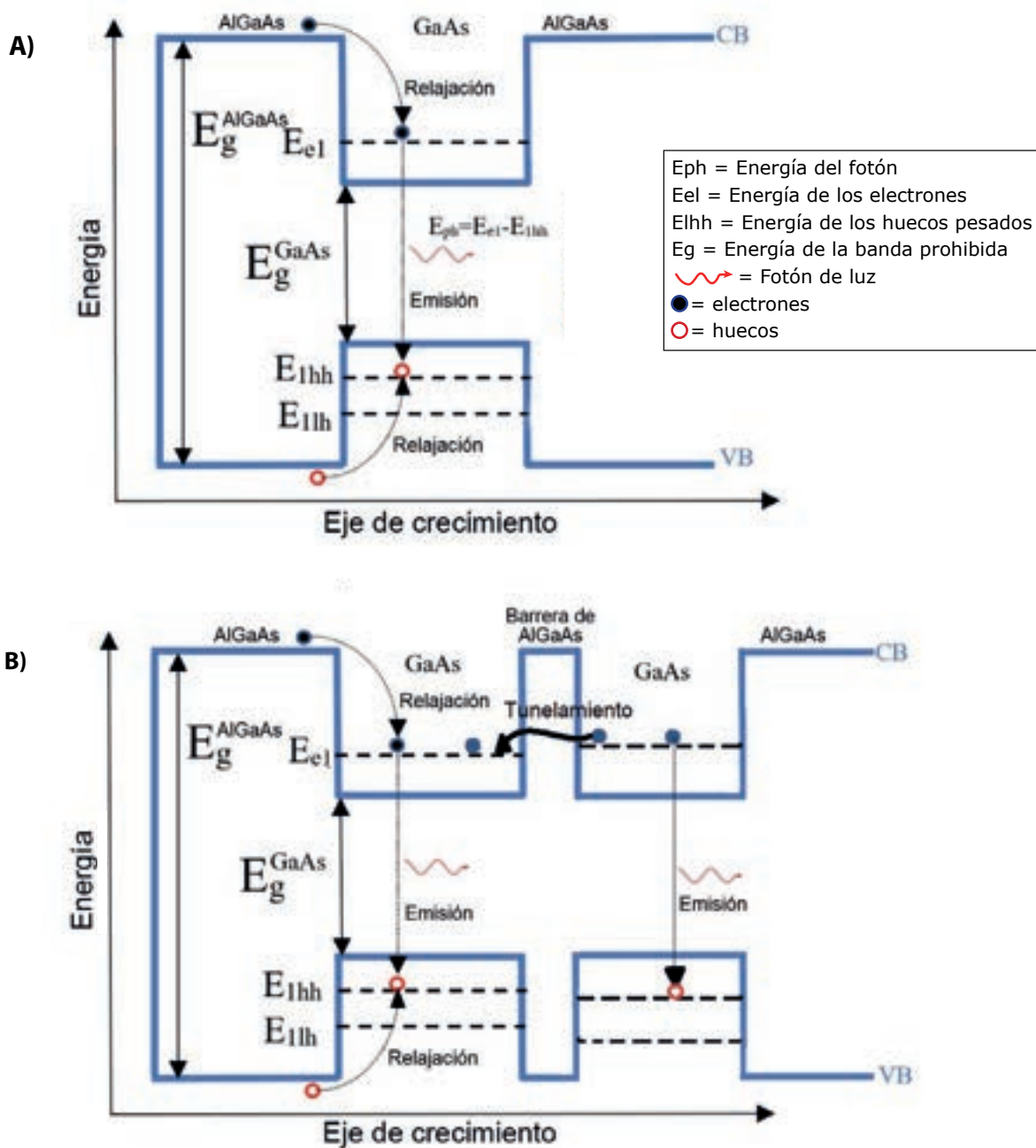


■ Figura 1. Proceso de absorción y emisión de luz en un semiconductor. Los electrones (de carga negativa) se muestran en azul y los huecos (de carga positiva) en blanco. A: el proceso de absorción se lleva a cabo cuando un electrón de la banda de valencia es excitado a la banda de conducción absorbiendo la energía de un fotón y dejando un hueco en la banda de valencia. Si este proceso ocurre en repetidas ocasiones, se obtendrán mayor cantidad de electrones en la banda de conducción, como se observa en la imagen B, la emisión de luz sucede cuando uno de estos electrones decae de la banda de conducción a la banda de valencia.

Figure 1. Light absorption and emission process in a semiconductor. Electrons (negatively charged) are shown in blue and holes (positively charged) in white. A: The absorption process takes place when an electron from the valence band is excited to the conduction band, absorbing the energy of a photon and leaving a hole in the valence band. If this process occurs repeatedly, a greater number of electrons will be obtained in the conduction band, as shown in image B, the emission of light occurs when one of these electrons' decays from the conduction band to the valence band.

siguiente (Sivalertporn y col., 2012). Además, la estructura de bandas de los pozos cuánticos acoplados muestra fenómenos ópticos dependientes de la polarización (Ruiz-Cigarrillo y col.,

2021), haciendo posible su estudio a través de fotoluminiscencia (PL, por sus siglas en inglés: photoluminescence) resuelta en polarización (Bravo-Velázquez y col., 2022) y de reflectancia



■ Figura 2. Diagrama de emisión de un pozo cuántico (QW) individual, desacoplado (A) y de dos QW acoplados (B). A) Los electrones son previamente excitados de la banda de valencia (VB) a la banda de conducción (CB), posteriormente pasan por un proceso de relajación y caen al pozo, cuando baja al nivel de energía de huecos pesados pierde energía en forma de luz emitiendo un fotón. B) El mismo proceso sucede al haber dos pozos. Al estar acoplados, existe tunelamiento cuántico entre uno y otro. Cada pozo emitirá luz de acuerdo con sus niveles de energía, los cuales se ven afectados por la presencia del pozo vecino.

Figure 2. Emission diagram of a single uncoupled quantum well (QW) (A) and two coupled QWs (B). A) The electrons are previously excited from the valence band (VB) to the conduction band (CB), later they go through a relaxation process and fall into the well, when it goes down to the energy level of heavy holes it loses energy in form of light emitting a photon. B) The same process happens when there are two wells. Being coupled, there is quantum tunneling between one and the other. Each well will emit light according to its energy levels, which are affected by the presence of the neighboring well.

diferencial (RAS, por sus siglas en inglés: anisotropy reflectance spectroscopy).

Los pozos cuánticos son además, un elemento fundamental en el estudio de radiación-materia, en particular para sistemas donde se observan polaritones-excitónicos. Los polaritones excitónicos son quasipartículas formadas por la unión entre excitones y fotones. Uno de los sistemas más estudiados, donde se observan este tipo de polaritones, es en las microcavidades basadas en GaAs, las cuales consisten en dos espejos (DBR, por sus siglas en inglés: distributed bragg reflector) que encierran en su interior pozos cuánticos de GaAs (Weisbuch y col., 1992).

Recientemente, se ha planteado la creación de dipolaritones, sustituyendo los pozos cuánticos simples en el interior de una microcavidad por pozos cuánticos acoplados (Rosenberg y col., 2018). Los dipolaritones muestran interacciones mucho más fuertes, ofreciendo una gran ventaja en aplicaciones de dispositivos cuánticos, entre ellas, en la generación de Terahertz (Kyriienko y col., 2013; Seedhouse y col., 2019) y transistores (Serafin y col., 2020).

El objetivo de este trabajo fue presentar la fabricación de pozos cuánticos simples (QW) desacoplados y de pozos cuánticos dobles (DQWs) acoplados, mediante epitaxia por haces moleculares (MBE), así como, su caracterización post-crecimiento a través de técnicas ópticas, como fotoluminiscencia (PL) y reflectancia diferencial anisotrópica (RAS), estableciendo los pasos fundamentales para la fabricación posterior de estructuras más complejas, como lo son las microcavidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento descrito en el presente estudio, desde la fabricación hasta la caracterización, se realizó en el Instituto de Investigación en Comunicación Óptica de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Se fabricaron y analizaron 2 muestras, la primera con un solo pozo y barreras de $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ y la segunda con 2 pozos acoplados, separados

por barreras de $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$, ambas caracterizadas por fotoluminiscencia (PL) y reflectancia diferencial anisotrópica (RAS).

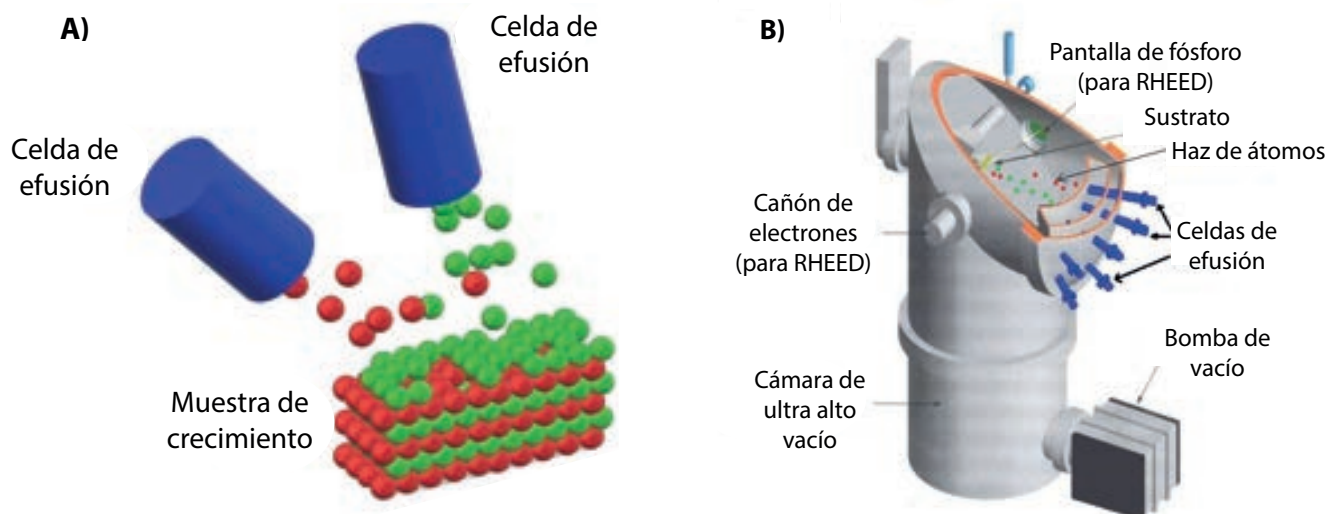
Crecimiento de los pozos cuánticos

En física de semiconductores, se conoce como crecimiento epitaxial a la deposición controlada de capas delgadas de un material sobre un sustrato, siguiendo la misma estructura cristalina y logrando de esta manera que el material “crezca” en grosor (Figura 3A).

Los pozos cuánticos se hicieron crecer por MBE, con un sistema Riber 32 (Riber, Francia). Este tipo de epitaxia es ampliamente utilizado para el crecimiento de semiconductores, debido a que permite un alto nivel de control en la rugosidad de las capas, especialmente al combinarlo con difracción de electrones reflejados de alta energía (RHEED, por sus siglas en inglés: reflection high-energy electron diffraction) para el monitoreo en tiempo real, como fue en el caso reportado en el presente trabajo.

El sistema de MBE Riber 32 consiste en una cámara a ultra alto vacío, en la cual se coloca el sustrato de GaAs sobre el que se harán crecer los pozos. A esta cámara se encuentran conectadas las celdas de efusión, que contienen cada uno de los materiales a depositar. Al abrir una de estas celdas el material sale en forma de haz molecular y se deposita sobre el sustrato, como se muestra en la Figura 3B. Para tener un control preciso de los tiempos que cada celda se mantiene abierta, y por lo tanto, del grosor de las capas; se utilizó un programa de labview (desarrollado por National Instruments) versión 2016, que controla los obturadores de cada celda.

La velocidad de crecimiento se calculó utilizando la técnica RHEED (Staib Instruments, Alemania), la cual se usa para el monitoreo de los crecimientos epitaxiales, desde la creación del primer sistema de MBE, en los años 60. El sistema RHEED enfoca un haz de electrones sobre el sustrato, los cuales son difractados de acuerdo con la rugosidad de la muestra y



■ Figura 3. Sistema de epitaxia por haces moleculares (MBE). A) Diagrama del crecimiento epitaxial, se observan dos celdas de efusión abiertas, depositando dos materiales sobre un sustrato. B) Diagrama de la cámara de crecimiento, se observa el crecimiento epitaxial en el interior (Mishurnyi y Lastras-Martínez, 2009).

Figure 3. Molecular Beam Epitaxy System (MBE). A) Diagram of epitaxial growth, two open effusion cells are observed, depositing two materials on a substrate. B) Diagram of the growth chamber, epitaxial growth is observed inside (Mishurnyi y Lastras-Martínez, 2009).

reflejados hacia una pantalla de fósforo. Como se observa en la Figura 4, dependiendo del grosor de la capa que se haya depositado, RHEED mostrará distintas intensidades. Una oscilación completa corresponderá a una capa crecida. De esta manera, es posible calcular los tiempos que se mantendrá abierta cada celda para lograr el grosor del material o número de monocapas deseado (Ohring, 2002).

La concentración de Al en cada capa se calculó utilizando la misma información de RHEED. Una vez conocida la velocidad de crecimiento del GaAs y del AlGaAs, la concentración de Al por abrir las tres celdas de efusión está dada por:

$$X = \frac{\gamma_{AlGaAs} - \gamma_{GaAs}}{\gamma_{AlGaAs}}$$

Donde:

x = concentración del Al en el compuesto ternario.

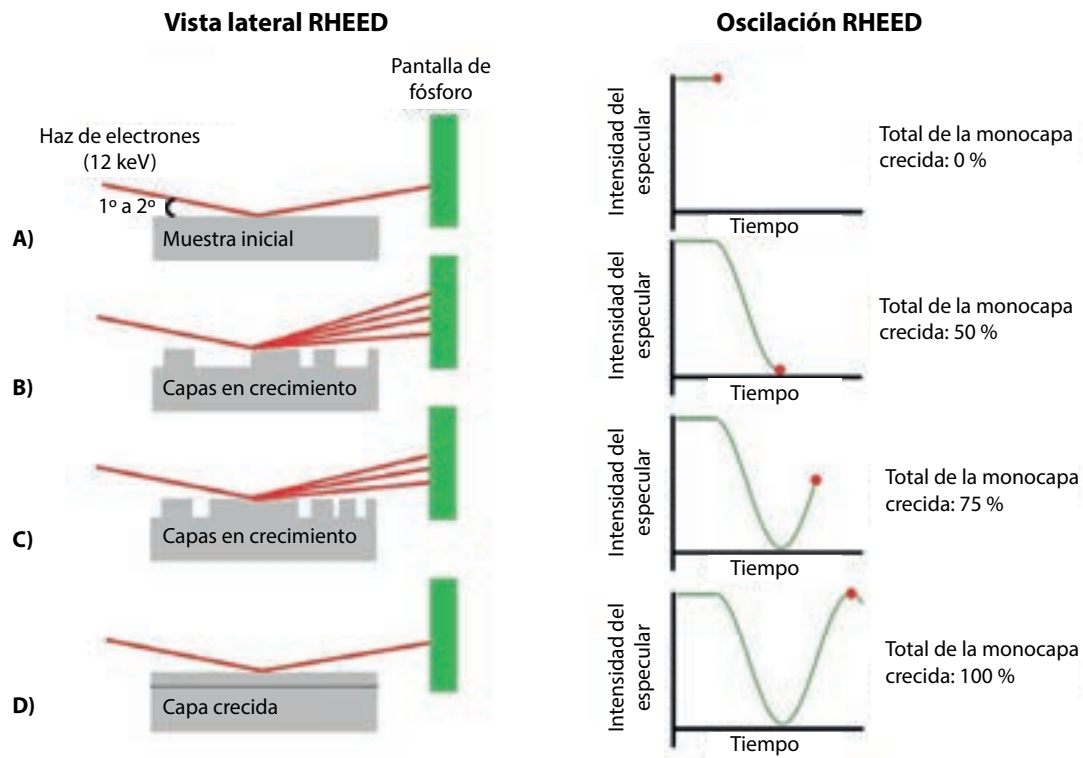
γ_{AlGaAs} = velocidad de deposición del AlGaAs.

γ_{GaAs} = velocidad de deposición del GaAs.

Después de crecer los pozos cuánticos se procede a su caracterización, a través de PL y RAS.

Obtención de la primera muestra

La muestra se obtuvo con solo un pozo de 11.87 nm, con barreras de 15% de Al ($Al_{0.15}Ga_{0.85}As$). Las velocidades fueron calculadas a partir de mediciones RHEED realizadas antes del crecimiento como calibración. La calibración consistió en la deposición de capas de GaAs y de AlGaAs, sobre un sustrato de GaAs, para obtener las velocidades de crecimiento, dependiendo de las temperaturas aplicadas a cada celda. En la Tabla 1 se observan los principales resultados del proceso de calibración. Tanto la calibración como la fabricación de ambas muestras se realizaron en un ambiente controlado de flujo de arsénico (As), a una sobre presión de 5×10^{-6} mmHg. La calibración permitió obtener las siguientes condiciones de proceso: temperatura del manipulador 600 °C, celda de Ga a 830 °C y celda de Al a 982 °C, la velocidad de crecimiento de GaAs fue de 0.3 mL/s y la



■ Figura 4. Representación del crecimiento de una monocapa y del uso de RHEED para su monitoreo. Un haz de electrones con una intensidad de 12 keV es enfocado de manera rasante (1° a 2° de inclinación) sobre la muestra, donde es reflejado y difractado hacia una pantalla de fósforo. La columna de la izquierda muestra una vista lateral de como el haz de electrones es difractado por la fracción de la monocapa y a la derecha se muestra la correspondencia en la oscilación RHEED.

Figure 4. Representation of the growth of a monolayer and the use of RHEED for its monitoring. An electron beam with an intensity of 12 keV is focused grazing (1° to 2° inclination) onto the sample, where it is reflected and diffracted onto a phosphor screen. The left column shows a side view of how the electron beam is diffracted by the monolayer fraction and the right column shows the correspondence in the RHEED oscillation.

velocidad de crecimiento del ternario AlGaAs de 0.355 mL/s. Posteriormente se aplicó la ecuación para obtener la concentración de Al (mencionada anteriormente), dando como resultado una concentración de Al de 15.49 %, por lo que, estos fueron los parámetros seleccionados para la fabricación posterior de la muestra. Tomando en cuenta dichas velocidades de crecimiento (0.3 mL/s para el pozo de GaAs y 0.355 mL/s para las barreras), el tiempo de deposición de material fue de: 52 min para las barreras de AlGaAs, mientras que, para el pozo se abrió la celda de Ga durante 2.3 min. En la Tabla 2 se observan los tiempos utilizados para la fabricación de la estructura completa.

Obtención de la segunda muestra

La muestra se obtuvo con dos pozos acoplados de 11.87 nm y 13.79 nm cada uno, separados por barreras de $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$. Las temperaturas usadas durante el crecimiento fueron similares a las de la primera muestra: manipulador 600°C y celda de Ga a 830°C , únicamente se cambió la temperatura de la celda de Al a 1055°C , dando como resultado las mismas velocidades de crecimiento para los pozos de GaAs, sin embargo, se depositó durante tiempo variable, para lograr los espesores deseados. En el caso del primer pozo (que es igual al de la primera muestra) se depositó GaAs durante 2.3 min y para el segundo pozo se de-

■ **Tabla 1. Resultados de la calibración de temperaturas del sistema de epitaxia por haces moleculares.**
Table 1. Temperature calibration results for the molecular beam epitaxy system.

Temperatura de las celdas	Material depositado	Velocidad de crecimiento	Concentración de aluminio
Celda Ga: 830 °C	GaAs	0.3 mL/s	0 %
Celda Ga: 830 °C Celda Al: 950 °C	AlGaAs	0.33 mL/s	9 %
Celda Ga: 830 °C Celda Al: 980 °C	AlGaAs	0.35 mL/s	14.2 %
Celda Ga: 830 °C Celda Al: 982 °C	AlGaAs	0.355 mL/s	15.49 %
Celda Ga: 830 °C Celda Al: 1 000 °C	AlGaAs	0.4 mL/s	25 %
Celda Ga: 830 °C Celda Al: 1 040 °C	AlGaAs	0.51 mL/s	41.1 %
Celda Ga: 830 °C Celda Al: 1 055 °C	AlGaAs	0.599 mL/s	49.9 %

■ **Tabla 2. Parámetros del crecimiento de la muestra 1.**
Table 2. Growth parameters for sample 1.

Material depositado	Grosor (nm)	Velocidad de crecimiento	Tiempo (s)
GaAs	10	0.3 mL/s	117.93
Al _{0.15} Ga _{0.85} As	300	0.355 mL/s	2 989.03
GaAs	11.87 nm (42 mL)	0.3 mL/s	139.98
Al _{0.15} Ga _{0.85} As	300	0.355 mL/s	2 989.03
GaAs (buffer)	200	0.3 mL/s	2 358.02
GaAs (001)	Sustrato	Sustrato	Sustrato

positó durante 2.71 min. En el caso de las barreras, la velocidad de crecimiento esperada, de acuerdo con la calibración (Tabla 1), fue de 0.599 mL/s, por lo que la deposición de AlGaAs para lograr capas de 300 nm de grosor fue de 29.5 min para cada una.

Fotoluminiscencia (PL)

Esta técnica de análisis permite conocer el grosor y concentración de las capas crecidas, a

través de la luz que emite la muestra. Como se ilustra en la Figura 1, un electrón de la banda de valencia puede ser promovido a la banda de conducción, al excitar la muestra eléctricamente o a través de luz. Posteriormente, los electrones que se encuentren en la banda de conducción buscarán relajarse, liberando energía en forma de luz y regresando a la banda de valencia. La luz tendrá la energía de este decaimiento, es decir, de la banda prohi-

bida y por lo tanto, su color (longitud de onda) variará de acuerdo al tamaño de dicha energía.

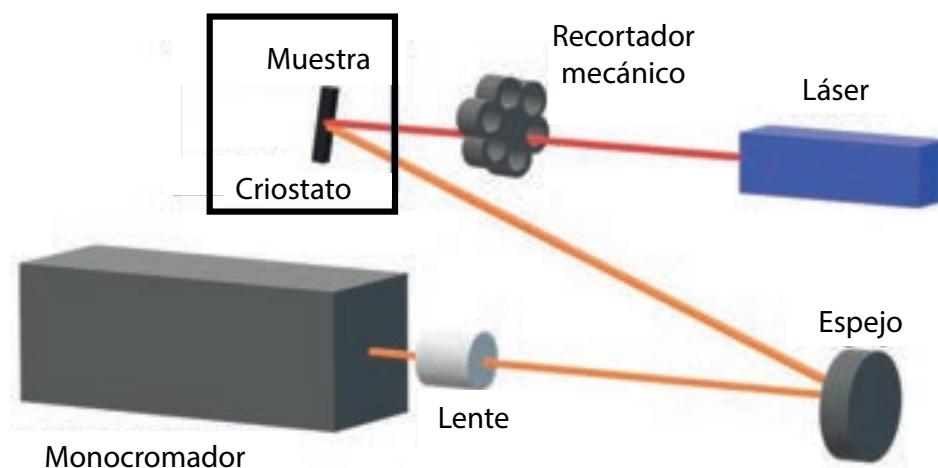
Al tratarse de pozos cuánticos, la energía es cuantizada en diferentes niveles, los cuales dependen directamente del tamaño del pozo, y como se observa en la Figura 2, los electrones excitados con luz de energía mayor a la banda prohibida caerán, en su mayoría, del nivel más bajo de energía del pozo, al nivel de huecos pesados del lado de la banda de valencia, recombinándose con los huecos y liberando energía en forma de fotones. La longitud de onda de la luz emitida o energía de los fotones emitidos (E_{ph}) es equivalente a la energía de decaimiento del nivel de los electrones (E_{el}) a los de los huecos pesados (E_{hh}) despreciando la energía del excitón, como se muestra en la Figura 2A. Como estos niveles dependen del grosor del pozo y de la altura de las barreras, pueden ser calculados resolviendo la ecuación unidimensional de Schrödinger (Harrison y Valavanis, 2016; Hamaguchi, 2017), de manera que, los resultados de fotoluminiscencia proporcionan información de las dimensiones del pozo.

El arreglo óptico utilizado para medir PL (Figura 5) consistió en un láser de 638 nm (Diodo láser L638P200, Thorlabs, USA) que se hizo incidir sobre la muestra. El láser fue modulado por un recortador mecánico, del que se

obtuvo una frecuencia, que se referenció a un amplificador lock-in (Princeton, USA). De esta manera, se discriminaron las frecuencias ajenas a la frecuencia de modulación (por ejemplo, de la luz ambiental). La muestra se colocó dentro de un criostato de temperatura controlable (Advanced Research Systems, Closed cycle cryocooler, Pensilvania, USA), que permitió bajar la temperatura hasta 12 K. La luz emitida por la muestra se dirigió hacia un monocromador (Acton monochromator, Princeton Instruments, USA) pasando por un espejo y siendo finalmente enfocada en la entrada del monocromador, que separa la luz según su longitud de onda. El control del monocromador y la adquisición de los espectros se realizaron a través del programa LabVIEW, desarrollado por National Instruments versión 2016. Se midió la PL en 3 puntos distintos de la muestra, a una temperatura de 12 K y se reportaron los tres análisis.

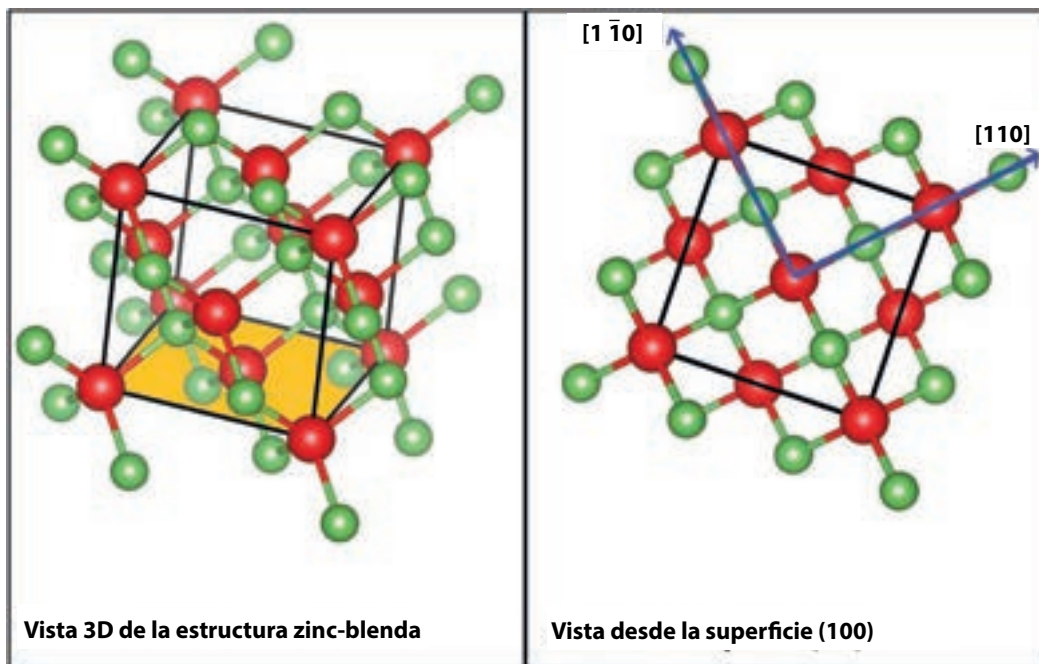
Reflectancia diferencial o anisotrópica (RAS)

La RAS mide la diferencia entre la luz reflejada por la muestra en una dirección y la luz que se refleja al enviarle luz polarizada a 90° . Los átomos en el GaAs se encuentran acomodados en una simetría cúbica (zinc-blenda), lo que significa que, al enviar luz polarizada y medir su reflectancia, la señal será igual que al rotar esta luz 90° (Figura 6). Si la luz se



■ Figura 5. Arreglo óptico utilizado para la medición de fotoluminiscencia.

Figure 5. Optical array used for photoluminescence measurement.



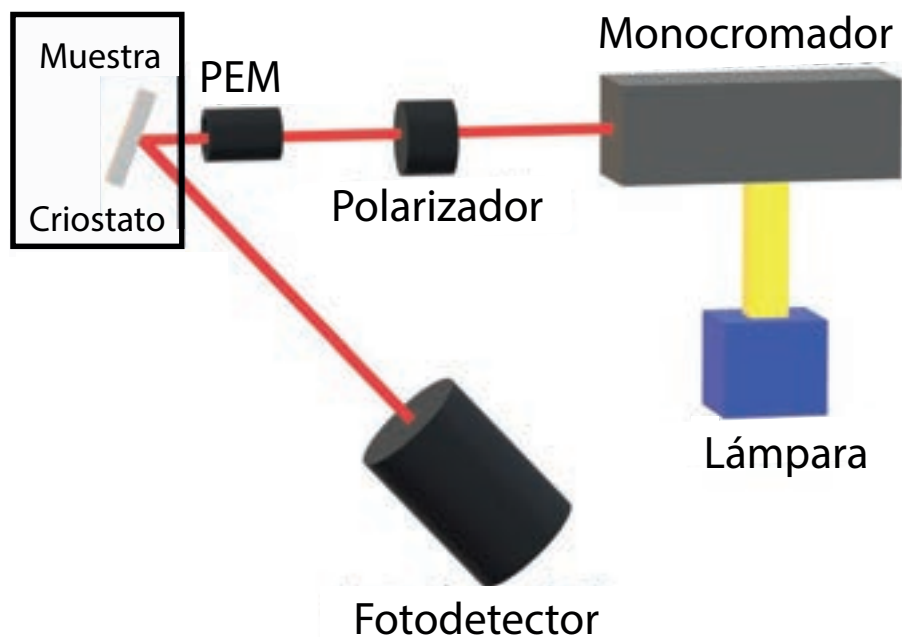
- Figura 6. Estructura zinc-blenda. Se muestra la celda unitaria delimitada por las rectas negras. Lado izquierdo: Vista 3D de la estructura del GaAs (zinc-blenda), en amarillo se marca el plano (001), la dirección de crecimiento es perpendicular a este plano. Lado derecho: Estructura vista desde el plano (001). En azul se muestran las dos direcciones (equivalentes para la estructura) desde las que se mide RAS. Cualquier tipo de anisotropía superficial, incluyendo el crecimiento de pozos cuánticos hará que estas dos direcciones dejen de ser equivalentes.

Figure 6. Zinc-blende structure. The unit cell delimited by the black lines is shown. Left side: 3D view of the GaAs (zinc-blende) structure, the plane (001) is marked in yellow, the growth direction is perpendicular to this plane. Right side: Structure seen from the plan (001). Shown in blue are the two directions (equivalent for structure) from which RAS is measured. Any kind of surface anisotropy, including quantum well growth, will make these two directions no longer equivalent.

alinea con los ejes cristalográficos y se tuviera una muestra perfectamente cúbica, como en la Figura 6, la diferencia entre ambas reflectancias y por lo tanto la señal de RAS, sería cero; al no ser así, permite observar cualquier cambio en la simetría del cristal (Weightman y col., 2005). En el caso reportado en el presente estudio, la dirección de crecimiento fue $[001]$ y la luz fue enfocada en la muestra con una polarización que se alineó a sus ejes cristalográficos $[1\bar{1}0]$ y $[110]$. Estos ejes se observan en la Figura 6, de acuerdo con la información existente sobre ejes cristalográficos y la notación de índices de Miller (Sands, 1993). Al crecer pozos cuánticos, la simetría zinc-blenda cambia a una simetría D_{2d} . Al enviar la luz polarizada alineada a los ejes de si-

metría, es posible observar dicho cambio, si además existe otro rompimiento en la simetría, como el que sucede al tener pozos cuánticos acoplados (D_{2d} a C_{2v}), se espera que la señal de RAS sea mayor.

La configuración para medir RAS se ilustra en la Figura 7. Consiste en una lámpara de tungsteno (Hamamatsu Photonics K.K., flash lamp, Japón) que se dirigió a un monocromador (Princeton Instruments, Acton, New Jersey, USA), el cual permitió seleccionar la longitud de onda que se reflejó en la muestra. Esta longitud de onda se hace variar de 800 nm a 830 nm, para formar los espectros. La luz del monocromador se dirigió hacia un polarizador para obtener luz polarizada a 45° del plano de inciden-



■ Figura 7. Arreglo óptico para la medición de reflectancia diferencial (RAS).
Figure 7. Optical array for differential reflectance (RAS) measurement.

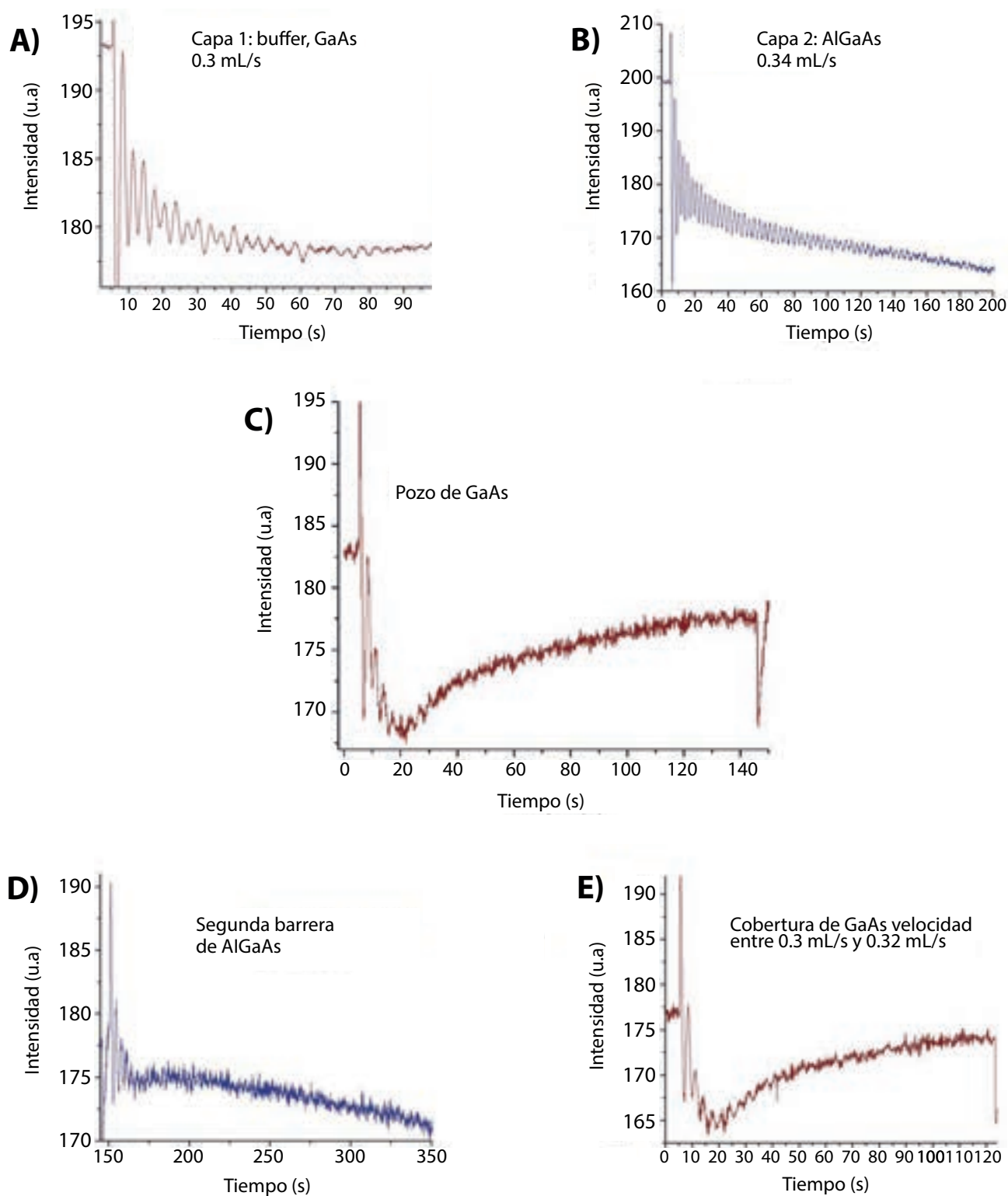
cia, que se hizo pasar por un modulador fotoelástico (PEM-90, HINDS Instruments, USA) ajustado a un retardo de $\lambda/2$. Finalmente, la luz llegó a la muestra, que también se encontraba rotada a 45° del plano de incidencia y que, además, se encontraba dentro de un criostato a 35 K (Advanced Research Systems, Closed cycle cryocooler, Pensilvania, USA). La luz reflejada de la muestra se colectó en un fotodetector, del cual se extrajo y se analizó la información en una computadora. Existe información detallada sobre el espectrómetro y la teoría de la RAS en la caracterización de semiconductores en la literatura (Lastras-Martínez y col., 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la muestra 1 (1 solo pozo, desacoplado, y barreras de $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$)

Las oscilaciones RHEED, obtenidas durante el crecimiento, se observan en la Figura 8, junto con el tiempo de deposición (eje X). Estos gráficos se utilizan para corroborar las velocidades de crecimiento previamente obtenidas en la calibración. Como se mencionó en la sección de Materiales y métodos, se debe ob-

servar que cada oscilación RHEED correspondía a la capa de material depositado. La rugosidad superficial varía dependiendo de las capas inferiores ya depositadas, por lo que, las oscilaciones RHEED son más claras al inicio del crecimiento, cuando no hay nada depositado debajo (Figuras 8A y 8B, donde muestran menor ruido), mientras que, una vez que inicia la deposición sobre AlGaAs , el ruido en RHEED aumenta, provocando que las oscilaciones en las gráficas C, D, y E, de la Figura 8, se vean menos claras. Este hecho corresponde con lo reportado en la literatura (Etienne, 1993; Braun y col., 1997) y por esta razón, el cálculo de la velocidad de deposición es más preciso al realizarse con la primera capa crecida, es decir, la capa buffer, que es donde se distinguen las oscilaciones con menor ruido. La fiabilidad de este método para calcular velocidades y concentraciones ya ha sido descrita (Harvey y col., 2003). La forma de las oscilaciones también corresponde con lo ya reportado (Braun, 1999), mostrando que, las diferencias, en la forma general de las oscilaciones, entre las imágenes de la deposición de GaAs (Figuras 8A, 8C y 8E), comparado con la de-



■ Figura 8. Resultados de oscilaciones RHEED para la muestra 1. Las mediciones corresponden a: A) Primeros 100 s de la capa buffer de GaAs; B) Primeros 140 s de la capa de $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$; C) Pozo completo de GaAs; D) Primeros 200 s de la segunda capa de $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$; y E) Cobertura final de GaAs.

Figure 8. RHEED oscillation results for sample 1. The measurements correspond to: A) First 100 s of the GaAs buffer layer; B) First 140 s of the $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ layer; C) Complete GaAs well; D) First 200 s of the second layer of $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$; and E) Final coverage of GaAs.

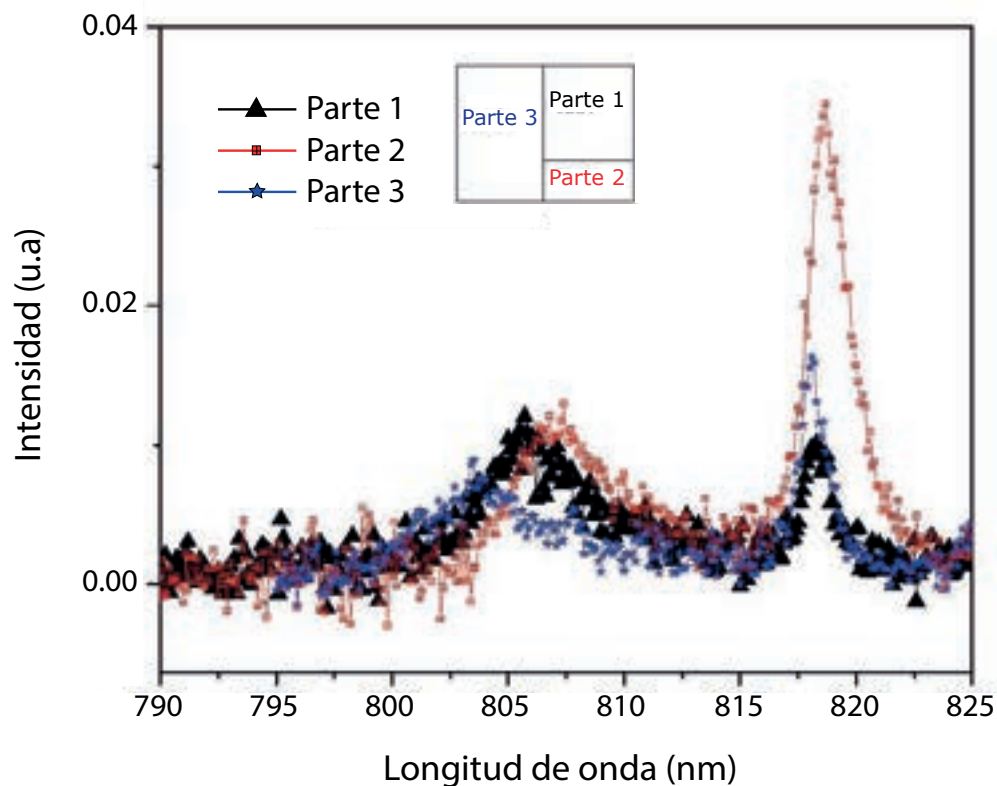
posición de AlGaAs (Figuras 8B y 8D), corresponden a la segregación de Ga esperada (Braun y col., 1997).

La PL de los 3 puntos analizados se observa en la Figura 9. Se presentaron dos picos en los tres análisis realizados. El más alto correspondió al sustrato de GaAs, mientras que el pico que se encuentra alrededor de 806 nm correspondió a la emisión del pozo cuántico crecido, el cual, solamente cambió alrededor de 2.5 nm (correspondiente a 5 meV en energía) de un extremo de la muestra al otro, lo cual significa que la uniformidad en el grosor no fue un problema mayor dentro de este crecimiento. En el presente estudio, el crecimiento fue monitoreado *in situ* únicamente a través de RHEED, por lo que se propone que, se debería utilizar en combinación con la técnica de reflectancia, lo que permitiría mejorar la uniformidad final (Biermann y col., 2021).

Los resultados de RAS se muestran en la Figura 10. La línea vertical indica la longitud de onda de la emisión del pozo, mientras que el pico que inicia alrededor de 820 nm corresponde al GaAs del sustrato. Este análisis corrobora la existencia del pozo y su emisión alrededor de 806 nm, como se observó previamente en PL. Al tratarse de un pozo individual, la señal obtenida en RAS indica el cambio de la simetría zinc-blenda (T_d) hacia la D_{2d} . Esta transformación es la que permite visualizar la señal del pozo en RAS.

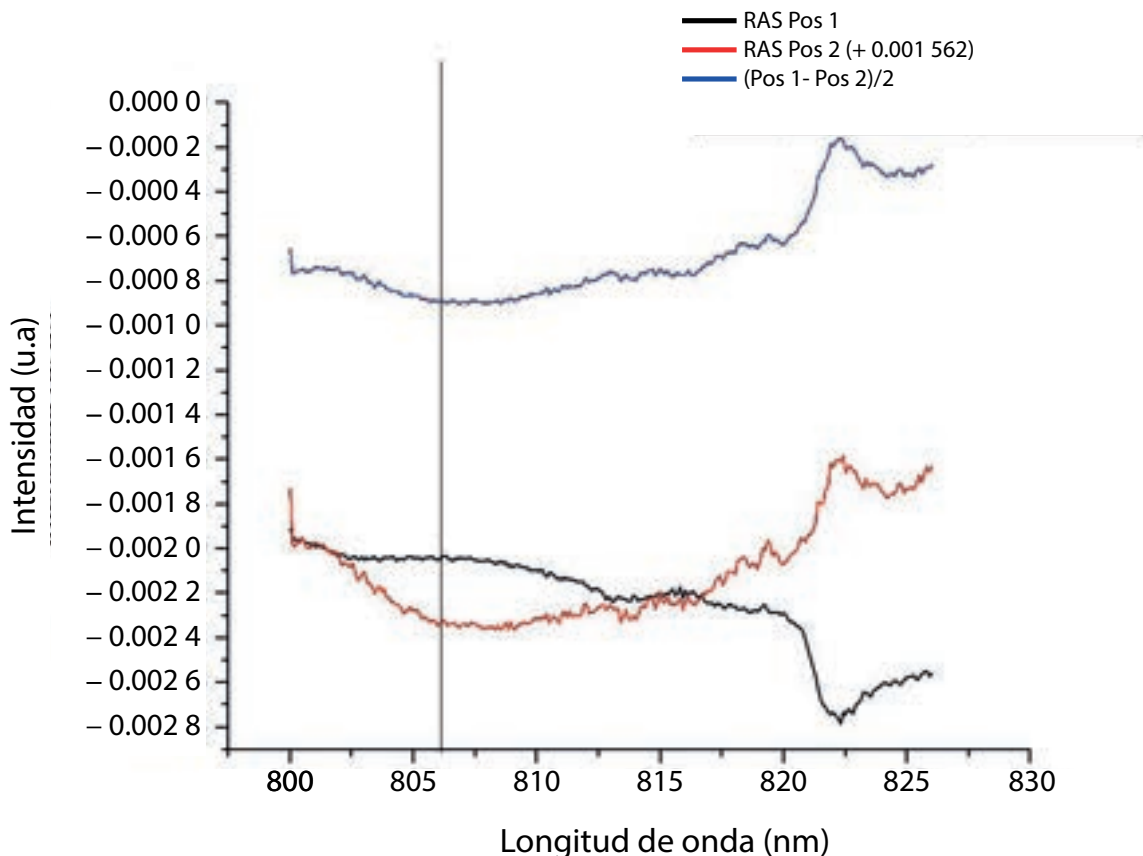
Caracterización de la muestra 2 (2 pozos acoplados, separados por barreras de $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$)

Se hicieron crecer 2 pozos acoplados, separados por una barrera de 5 nm de grosor. La estructura fabricada se muestra en la Figura 11. Al igual que en el crecimiento anterior, las velocidades de deposición obtenidas en la cali-



■ Figura 9. Resultados de fotoluminiscencia de la muestra 1. Se indica la forma en que se realizó la división de la muestra en 3 segmentos y su respectivo análisis.

Figure 9. Results of photoluminescence for sample 1. The way in which the division of the sample was carried out in 3 segments and their respective analysis is indicated.



■ Figura 10. Resultados de las mediciones de reflectancia diferencial en la muestra 1 (pozo individual; desacoplado). En negro y rojo se muestran los resultados de RAS de las dos direcciones ortogonales. En azul se muestra el valor resultante de la resta de las dos direcciones (RAS Pos 1 - RAS Pos 2) dividida entre dos. La línea vertical muestra la longitud de onda en la que se espera ver el pozo (de acuerdo a PL).

Figure 10. Results of differential reflectance measurements in sample 1 (individual well; uncoupled). In black and red the RAS results of the two orthogonal directions are shown. In blue, the subtraction of the two directions (RAS Pos 1 - RAS Pos 2) divided by two is shown. The vertical line shows the wavelength at which the well is expected to be seen (according to PL).

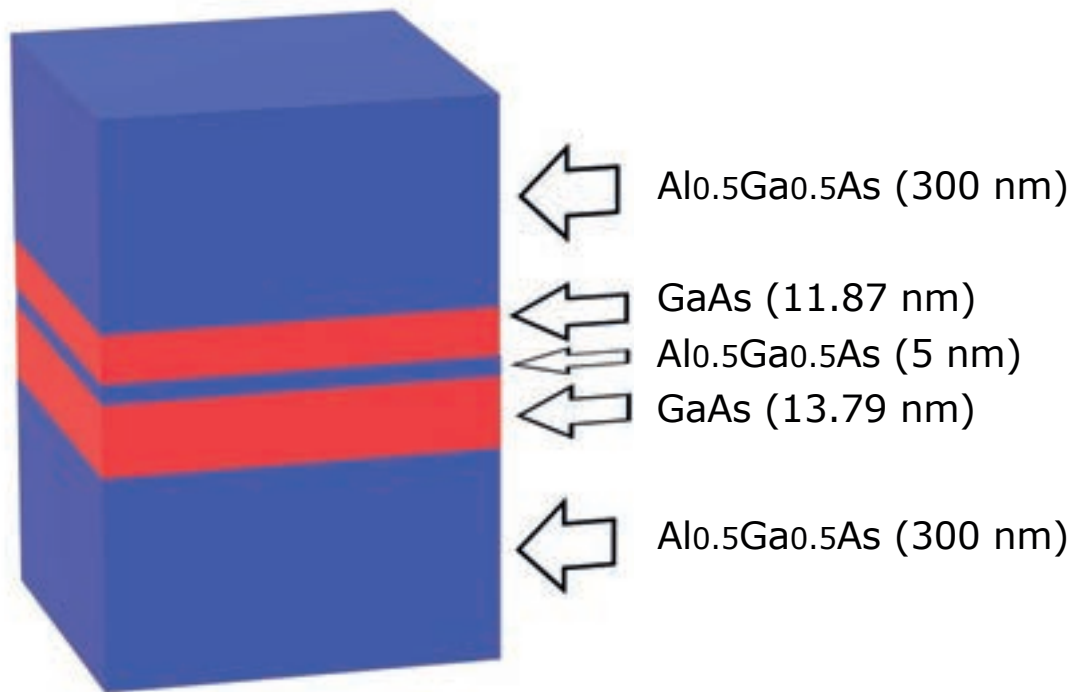
bración (0.3 mL/s para GaAs y 0.599 mL/s para AlGaAs) fueron corroboradas con las oscilaciones RHEED.

Los resultados de PL se muestran en la Figura 12. Se esperaba poder visualizar la existencia de tres picos, dos picos de emisión (en este caso se observa claramente solo un pico en 809 nm) y un segundo pico que corresponde al GaAs y que se observa en 819 nm.

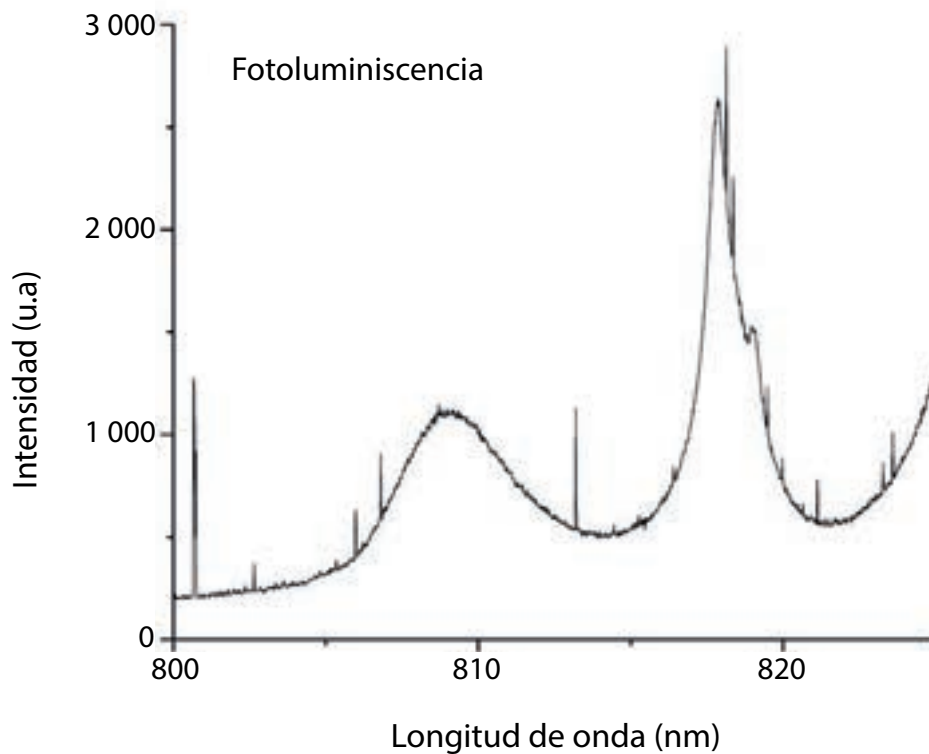
El análisis RAS se muestra en la Figura 13. Los cambios en las pendientes, señaladas por las líneas verticales, corresponden al pozo (verde) y al sustrato de GaAs (naranja). Es impor-

tante mencionar que, la señal no es tan clara (crestas y valles de mayor tamaño), como en la muestra 1 (Figura 10), lo que sugiere la existencia de algún defecto en el crecimiento.

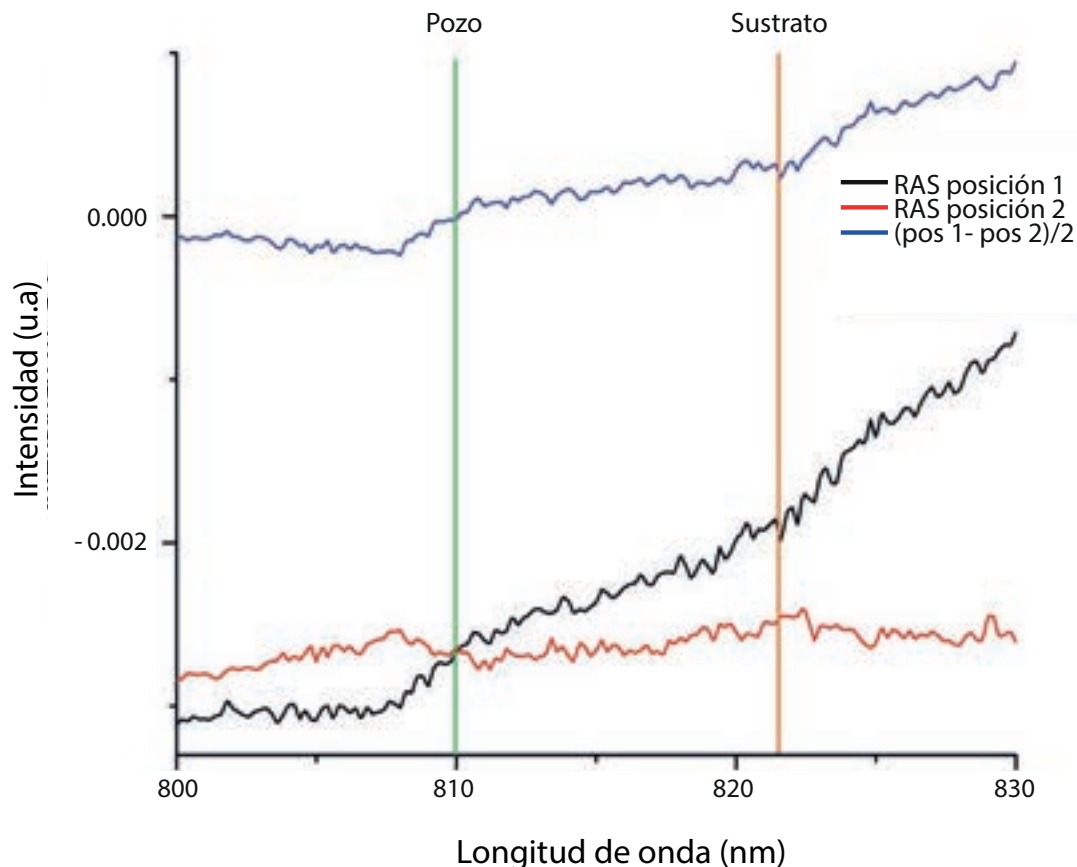
La causa por la que la señal de PL y RAS no hayan sido tan claras para la muestra 2 podría deberse a que, quizá, uno de los pozos no estaba emitiendo, lo que indicaría que no se formó correctamente durante el crecimiento. Sin embargo, al comparar ambos resultados, se observa que sí se logró la formación de los dos pozos cuánticos. En el caso de PL, parece ser que el segundo pozo sí se encontraba emitiendo, pero muy cerca de la longitud de



■ Figura 11. Estructura de la muestra 2. Se hicieron crecer dos pozos acoplados de GaAs (rojo), divididos por una barrera de Al_{0.5}Ga_{0.5}As de aproximadamente 5 nm de grosor.
Figure 11. Sample 2 structure. Two coupled GaAs (red) wells were grown, divided by an Al_{0.5}Ga_{0.5}As barrier approximately 5 nm thick.



■ Figura 12. Resultados de fotoluminiscencia a 30 K para la muestra 2 (pozos acoplados).
Figure 12. Results of photoluminiscence at 30 K for sample 2 (coupled wells).



■ Figura 13. Resultados de las mediciones de reflectancia diferencial en la muestra 2 (pozos acoplados). En negro y rojo se muestran los resultados de RAS de las dos direcciones ortogonales. En azul se muestra el valor resultante de la resta de las dos direcciones (RAS Pos 1 - RAS Pos 2) dividida entre dos.

Figure 13. Results of differential reflectance measurements on sample 2 (coupled wells). In black and red the RAS results of the two orthogonal directions are shown. In blue, the subtraction of the two directions (RAS Pos 1 - RAS Pos 2) divided by two is shown.

onda a la que emite el GaAs de la capa buffer (Chen y col., 1988), por lo que ambos picos se encuentran tan juntos que aparentan ser uno solo. Es por ello, que el pico en 809 nm, en PL, se muestra asimétrico (Figura 12). Por otro lado, los resultados de RAS pueden ser comparados con aquellos obtenidos por Bravo-Velázquez y col. (2022), con pozos dopados en los que se observa que, la señal reportada para la muestra 2 es menor que la de la referencia. Se especula que lo anterior puede deberse a problemas de defectos en el crecimiento. El crecimiento de los pozos puede mejorarse, es decir, es posible reducir la presencia de posibles defectos debido a la rugosidad, como los presentes en este estudio. Al respecto, Biermann y col. (2021) demostraron que, es posi-

ble hacer crecer estructuras de alta calidad, usando un monitoreo apoyado en reflectancia, combinado con cambios en la temperatura del manipulador durante el crecimiento (Morkoc, 1982), haciendo crecer el pozo de GaAs a 580 °C y las barreras de AlGaAs a 600 °C. Por otra parte, la señal de anisotropía (medida con RAS) fue mayor en los pozos acoplados que en los desacoplados, de acuerdo a lo reportado (Sivalertporn y col., 2012; Ruiz-Cigarrillo y col., 2021; Bravo-Velázquez y col., 2022), lo que indica el rompimiento de simetría esperado al crecer pozos acoplados.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta permitió obtener de manera satisfactoria, el crecimiento epitaxial

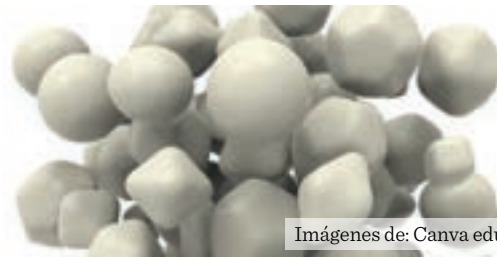
de un pozo cuántico individual (desacoplado) y un par de pozos cuánticos acoplados, así como, su caracterización, utilizando las técnicas ópticas de fotoluminiscencia (PL) y espectroscopía de reflectancia anisotrópica (RAS), que permitieron confirmar experimentalmente la presencia de excitones directos, tanto en pozos cuánticos acoplados, como desacoplados, así como, la observación del rompimiento de simetría presente en pozos acoplados y desacoplados, en la que RAS fue particularmente de gran utilidad. Se estableció la importancia del monitoreo *in situ* con difracción de electrones reflejados de alta energía (RHEED) para controlar la velocidad de crecimiento de ca-

da capa y se plantea la posibilidad de utilizarlo en forma combinada con RAS para hacer crecer pozos del ancho deseado. Se sugiere combinar RHEED con otras técnicas ópticas de monitoreo, para mejorar los resultados en cuanto a rugosidad superficial. A futuro, es necesario establecer la factibilidad de hacer crecer pozos acoplados con barreras de distintas concentraciones de aluminio, así como, variar el grosor de los pozos, buscando observar con mayor claridad los dos picos de emisión en PL. Se debe explorar el variar la temperatura del manipulador durante el crecimiento para establecer si permite reducir eficientemente los efectos de rugosidad en las interfaces.

REFERENCIAS

- Biermann, K., Helgers, P., Crespo-Poveda, A., Kuznetsov, A., Tahraoui, A., Röben, B., ..., and Grahn, H. (2021). *In situ* control of molecular beam epitaxial growth by spectral reflectivity analysis. *Journal of Crystal Growth*. 557(124):125993.
- Braun, W. (1999). *Applied RHEED reflection high energy electron diffraction during crystal growth*. Springer Tracts in Modern Physics 154. New York: Springer-Verlag W. Braun. 216 Pp.
- Braun, W., Trampert, A., Däweritz, L., and Ploog K. H. (1997). Nonuniform segregation of Ga at AlAs/GaAs heterointerfaces. *Physical Review B*. 55(3):1689-1695.
- Bravo-Velázquez, C. A., Lastras-Martínez, L. F., Ruiz-Cigarrillo, O., Flores-Rangel, G., Tapia-Rodríguez, L. E., Biermann, K., and Santos, P. V. (2022). Photoluminescence of double quantum wells: Asymmetry and excitation laser wavelength effects. *Physical Status Solidi B*. 259(4): 2100612.
- Chen, Y., Cingolani, R., Andreani, L. C., and Bassani, F. (1988). Photoluminescence in quantum well and bulk GaAs: a direct comparative study. *Il Nuovo Cimento D*. 10(7): 847-859.
- Downs, C. and Vandervelde, T. (2013). Progress in infrared photodetectors since 2000. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 13(4): 5054-5098.
- Esser, A., Runge, E., Zimmermann, R., and Langbein, W. (2000). Photoluminescence and radiative lifetime of trions in GaAs quantum wells. *Physical Review B*. 62(12): 8232-8239.
- Etienne, B. (1993). RHEED-based measurements of atomic segregation at GaAs/AlAs interfaces. *Journal of Crystal Growth*. 127(1-4): 1056-1058.
- Guerra, N., Guevara, M., Palacios, C., and Crupi, F. (2018). Operation and physics of photovoltaic solar cells: An overview. *Revista de I+D Tecnológico*. 14(2): 84-95.
- Hamaguchi, C. (2017). *Basic semiconductor physics*. Switzerland: Springer Nature. 426 Pp.
- Harrison, P. and Valavanis, A. (2016). *Numerical solutions. In: Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures*. United Kingdom: John Wiley and Sons. 624 Pp.
- Harvey, T. E., Bertness, K. A., Hickernell, R. K., Wang C. M., and Splett, J. D. (2003). Accuracy of AlGaAs growth rates and composition determination using RHEED oscillations. *Journal of Crystal Growth*. 251(1-4): 73-79.
- Henini, M. (1993). Semiconductor lasers: An overview part I. *III-Vs Review*. 6(5): 50-53.
- Hu, X., Li, G., and Yu, J. C. (2010). Design, fabrication, and modification of nanostructured semiconductor materials for environmental and energy applications. *Langmuir*. 26(5): 3031-3039.
- Kyriienko, O., Kavokin, A. V., and Shelykh, I. A. (2013). Superradiant terahertz emission by dipolaritons. *Physical Review Letters*. 111(17):176401.
- Lastras-Martínez, L. F., Lastras-Martínez, A., and Balderas-Navarro, R. E. (1993). A spectrometer for the measurement of reflectance-difference spectra. *Review of Scientific Instruments*. 64(8): 2147-2152.
- Miller, R. C. and Kleinman, D. A. (1985). Excitons

- in GaAs quantum wells. *Journal of Luminescence*. 30(1-4): 520-540.
- Mishurnyi, V. A. y Lastras-Martínez, A. (2009). *Láseres de Semiconductor*. México: Editorial Universitaria Potosina. 163 Pp.
- Moebs, W., Ling, S. J. y Sanny, J. (2021). Física Universitaria. 9.5 Teoría de bandas de los sólidos, en *openstax*. [En línea]. Disponible en: <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-3/pages/9-5-teoria-de-bandas-de-los-solidos>. Fecha de consulta: 1 de enero de 2023.
- Morkoc, H. (1982). Influence of MBE Growth conditions on the properties of Al_xGa_{1-x}As/GaAs heterostructures. *Journal de Physique Colloques*. 43(C5): 209-220.
- Ohring, M. (2002). *Materials science of thin films, deposition and structure*. California: Academic Press. 794 Pp.
- Ozturk, O., Ozturk, E., and Elagoz, S. (2018). The effect of barrier width on the electronic properties of double GaAlAs/GaAs and GaInAs/GaAs quantum wells. *Journal of Molecular Structure*. 40(2): 471-476.
- Rosenberg, I., Liran, D., Mazuz-Harpaz, Y., West, K., Pfeiffer, L., and Rapaport, R. (2018). Strongly interacting dipolar-polaritons. *Science Advances*. 4(10): eaat8880.
- Ruiz-Cigarrillo, O., Lastras-Martínez, L. F., Cerda-Méndez, E. A., Flores-Rangel, G., Bravo-Velazquez, C. A., Balderas-Navarro, R. E., ..., and Santos, P. V. (2021). Optical anisotropies of asymmetric double GaAs (001) quantum wells. *Physical Review B*. 103(3): 035309.
- Sands, D. E. (1993). *Introducción a la cristalografía*. España: Editorial Reverté. 176 Pp.
- Seedhouse, A., Wilkes, J., Kulakovskii, V. D., and Muljarov, E. A. (2019). Terahertz radiation of microcavity dipolaritons. *Optics Letters*. 44(17): 4339-4342.
- Serafin, P., Byrnes, T., and Kolmakov, G. V. (2020). Driven dipolariton transistors in Y-shaped channels. *Physics Letters A*. 384(34): 126855.
- Sivalertporn, K. (2016). Effect of barrier width on the exciton states in coupled quantum wells in an applied electric field. *Physics Letters A*. 380(22-23): 1990-1994.
- Sivalertporn, K., Mouchliadis, L., Ivanov, A. L., Philp, R., and Muljarov, E. A. (2012). Direct and indirect excitons in semiconductor coupled quantum wells in an applied electric field. *Physical Review B*. 85(4): 045207.
- Tapia, L. E. y Santiago-García J. G. (2022). ¿Cómo se fabrica un LED? *Universitarios Potosinos*. 268: 13-19.
- Tsao, J. Y. (2002). Light Emitting Diodes (LEDs) for General Illumination, OIDA Optoelectronics Industry Development Association. [En línea]. Disponible en: https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/report_led_november_2002a_1.pdf. Fecha de consulta: 8 de enero de 2023.
- Weightman, P., Martin, D. S., Cole, R. J., and Farrell, T. (2005). Reflection anisotropy spectroscopy. *Reports on Progress in Physics*. 68(6): 1251.
- Weisbuch, C., Nishioka, M., Ishikawa, A., and Arakawa, Y. (1992). Observation of the coupled exciton-photon mode splitting in a semiconductor quantum microcavity. *Physical Review Letters*. 69(23): 3314-3317.
- Wilkes, J. and Muljarov, E. A. (2017). Excitons and polaritons in planar heterostructures in external electric and magnetic fields: A multi-sub-level approach, *Superlattices and Microstructures*. 108: 32-41.
- Witham, O., Hunt, R. J., and Drummond, N. D. (2018). Stability of trions in coupled quantum wells modeled by two-dimensional bilayers. *Physical Review B*. 97(7): 075424.



Imágenes de: Canva educativo

Las nanoestructuras de ZnO y sus aplicaciones como sensor de gas H₂S

The ZnO nanostructures and their applications as a H₂S gas sensor

Claudio Martínez-Pacheco, Ebelia Del-Ángel-Meraz, Laura Lorena Díaz-Flores*

RESUMEN

Existe un interés global en la detección de gases tóxicos, para la protección del medio ambiente y los seres humanos. Se han desarrollado múltiples estudios enfocados en el uso de sensores de gases basados en óxidos metálicos, como es el óxido de zinc (ZnO), el cual presenta propiedades electrónicas específicas como sensor de gases por ser un semiconductor tipo n y bajo costo de producción. El objetivo de este trabajo fue analizar el uso de nanoestructuras de ZnO, para la fabricación de sensores del gas ácido sulfhídrico (H₂S), así como las técnicas de obtención más comunes de dichas estructuras. Las características de las nanoestructuras de óxido de zinc (NE's-ZnO) varían por efecto del método de obtención, generando diferentes morfologías y tamaño, que impactan en la capacidad de detección de gas (0.5 ppm a 600 ppm) y en el rango de temperatura que se requiere. Los avances en la generación de diversas NE's-ZnO facilitarán la posibilidad de generar sensores que puedan ser utilizados en detectores portátiles y operen a temperatura ambiente, lo cual es un reto actual.

PALABRAS CLAVE: detectores portátiles, sensor, gases tóxicos, nanopartículas.

ABSTRACT

There is a global interest in the detection of toxic gases for the protection of the environment and human beings, using low-cost and easy-to-use sensors. Multiple studies have focused on the use of gas detectors based on metal oxides, such as zinc oxide (ZnO), which has specific electronic properties as a gas detector because it is an n-type semiconductor and it has a low production cost. The objective of this work was to analyze the use of ZnO nanostructures for the manufacturing of hydrogen sulfide (H₂S) gas sensors, as well as the most common techniques for obtaining these structures. The characteristics of zinc oxide nanostructures (NE's-ZnO) vary due to the effect of the obtaining method, generating different morphologies and sizes, which impacts gas detection performance (0.5 ppm up to 600 ppm) and in the temperature range that is required. Advances in the design of various NE's-ZnO will have the possibility of generating sensors that can be used in portable detectors and operate at room temperature, which is a current challenge.

KEYWORDS: portable detectors, sensor, toxic gases, nanoparticles.

*Correspondencia: laura.diaz@ujat.mx/Fecha de recepción: 5 de octubre de 2021/Fecha de aceptación: 14 de septiembre de 2022/Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, avenida Universidad s/n, Zona de la Cultura, colonia Magisterial, Villahermosa, Tabasco, México, C. P. 86040.

INTRODUCCIÓN

La detección de gases contaminantes es importante para la protección del medio ambiente y la salud pública. Una forma económica y confiable de realizar esta actividad es utilizando sensores basados en óxidos metálicos (Dey, 2018). Los gases tóxicos, tales como el monóxido de carbono (CO), producido por la quema incompleta de combustibles fósiles; el amoníaco (NH_3), generado por actividades industriales y agrícolas (Viter y Iatsunskyi, 2019); y el ácido sulfhídrico (H_2S), resultado de actividades petroleras y tratamiento de aguas residuales (Galstyan y col., 2019), son medidos por sensores de gas basados en óxidos metálicos. De los óxidos conocidos, se puede mencionar el óxido de estaño (SnO_2), óxido de níquel (NiO), óxido de tungsteno (WO_3), óxido de cobre (CuO) y óxido de zinc (ZnO) (Duoc y col., 2019). Este último, es de interés comercial debido a su bajo costo de producción, baja toxicidad y a que sus propiedades electrónicas fundamentales hacen posible su uso en dispositivos electrónicos que son empleados como detectores de gases, fotodetectores y transistores de películas delgadas, entre otros (Nurfani y col., 2020; Soni y col., 2020).

El ZnO por sus propiedades semiconductoras, ópticas, eléctricas, morfológicas y estructurales, ha sido sintetizado utilizando diferentes estrategias, como la síntesis basada en soluciones o síntesis química (Gorup y col., 2020). Con estos métodos se obtienen diferentes morfologías de ZnO, incluidas las de dimensión cero (0D), unidimensional (1D), bidimensional (2D) y tridimensional (3D) (Kaya y col., 2020). Entre las nanoestructuras de óxido de zinc (NE's-ZnO) 1D se encuentran las nanovarillas, nanoalambres, nanoagujas, nanotubos, nanocintas, entre otras (Bhati y col., 2020). En el caso del ZnO, las nanoestructuras 1D son las más utilizadas para la construcción de sensores de gases tóxicos, debido a la gran relación área-volumen y alta sensibilidad en condiciones ambientales, depositadas sobre sustratos rígidos o flexibles en forma de películas nanoestructuradas, formando matrices de nanovarillas o nanoalambres (Nunes y col., 2019a).

El principio de operación de un sensor con NE's-ZnO se basa en la capacidad de reaccionar a la presencia de un gas oxidante o reductor y generar un cambio en las propiedades eléctricas, el cual está relacionado con un fenómeno de ionosorción, que consiste en la transferencia de portadores de carga libres desde las NE's-ZnO a las especies adsorbidas en la superficie o viceversa (Mirzaei y col., 2019).

El objetivo del presente trabajo fue analizar el uso de las nanoestructuras de ZnO, en la fabricación de sensores del gas ácido sulfhídrico (H_2S), así como las técnicas de obtención más comunes de dichas estructuras, ya sean por métodos físicos, biológicos o químicos.

Relevancia en la detección de gas H_2S

El gas H_2S se produce en actividades de la industria petrolera, papelera y de residuos sólidos, es muy tóxico y reactivo (Llobet y col., 2017). La inhalación de diferentes concentraciones de este gas puede causar los siguientes efectos en la salud humana: a) 50 ppm, irritación ocular y del tracto respiratorio; b) 100 ppm, parálisis del nervio olfatorio; c) 250 ppm, dificultad respiratoria; d) 1 000 ppm, paraliza el sistema respiratorio provocando la muerte (Mirzaei y col., 2018). Su elevada toxicidad y reactividad, así como su generación en procesos industriales, demanda el desarrollo de detectores portátiles, que permitan alertar de forma inmediata su presencia para proteger la salud humana, del personal involucrado en el proceso y al medio ambiente (Galstyan y col., 2019).

Técnicas de obtención de NE's-ZnO

Las técnicas usadas para fabricar nanomateriales se clasifican en métodos identificados como de enfoque arriba hacia abajo (Top-down), y de enfoque abajo hacia arriba (Bottom-up) (Nunes y col., 2019b). El enfoque Top-down implica reducir materiales en bulto (métodos físicos), mediante técnicas sustractivas o aditivas, para obtener estructuras de tamaño nanométrico. En el enfoque Bottom-up, las nanoestructuras se fabrican a partir de átomos o moléculas. En este método, la segregación controlada de átomos o moléculas ocurre cuan-

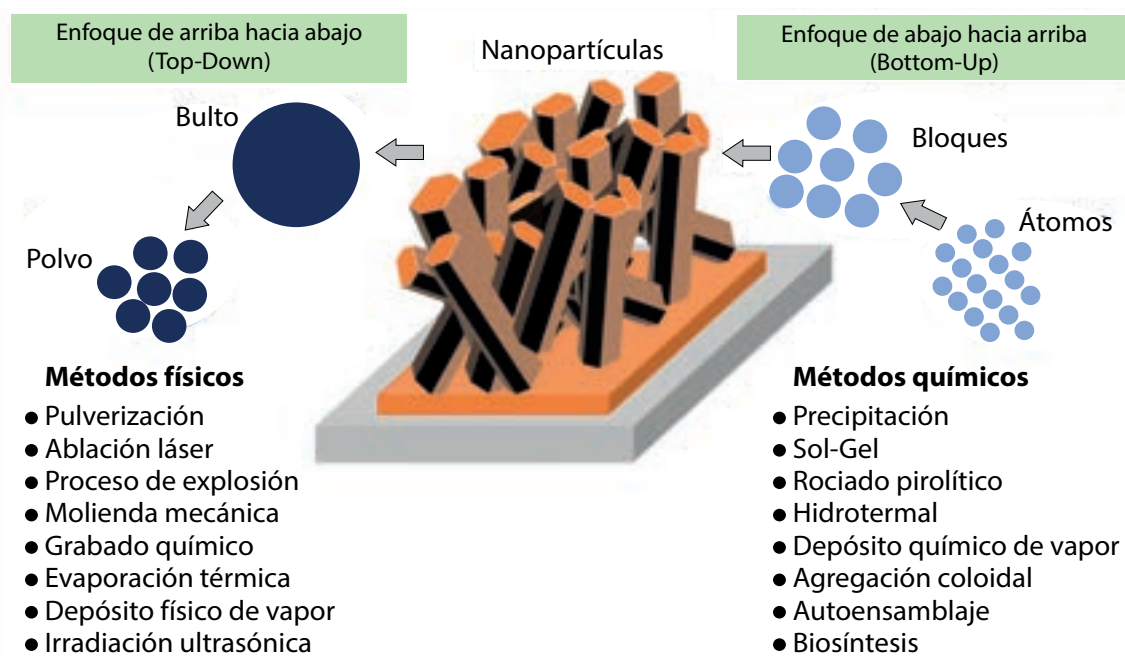
do se ensamblan en nanoestructuras deseadas (rango de tamaño de 2 nm a 10 nm) (Kumar y col., 2018). En ambos enfoques, se emplean técnicas que permitan la obtención de nanopartículas y se clasifican en métodos físicos, biológicos y químicos. En la Figura 1 se muestran los métodos físicos y químicos usados en cada tipo de enfoque. En la Tabla 1, se presentan ejemplos de los tres tipos de métodos con diferentes tipos de precursores, así como, las morfologías y tamaños de las estructuras formadas.

En el enfoque Top-Down se usan métodos físicos para producir nanopartículas (Figura 1). Sin embargo, la principal desventaja de estos métodos, es el desarrollo de imperfecciones en la superficie de las estructuras producidas (Dadkhah y Tulliani, 2022). En la Figura 2, se presentan nanopartículas granulares de ZnO, obtenidas por el método físico de molienda mecánica de alta energía, con un tamaño aproximado de 200 nm y formas irregulares.

En general, en el enfoque Bottom-up se emplea la síntesis en fase gaseosa y fase líquida (Kumar y col., 2018). Los métodos químicos a base de agua son más usados y tienen las siguientes ventajas: son respetuosos con el medio ambiente, utilizan reactivos económicos, así como equipos de síntesis sencillos, de bajo consumo energético, facilitando la adaptación de los parámetros durante la síntesis, lo que permite controlar la forma y el tamaño de las NE's-ZnO (Król y col., 2017). Un ejemplo de nanoforma regular, son las nanovarillas de ZnO (Figura 3) sintetizadas por el método químico de crecimiento hidrotérmal, que es un método simple, efectivo y amigable con el medio ambiente para la obtención de NE's-ZnO (Mazitova y col., 2019).

Características de las NE's-ZnO para su aplicación como sensor de gas

Los sensores de gas basados en óxidos metálicos semiconductores (SMOX, por sus siglas en inglés: semiconducting metal oxides) aparecieron

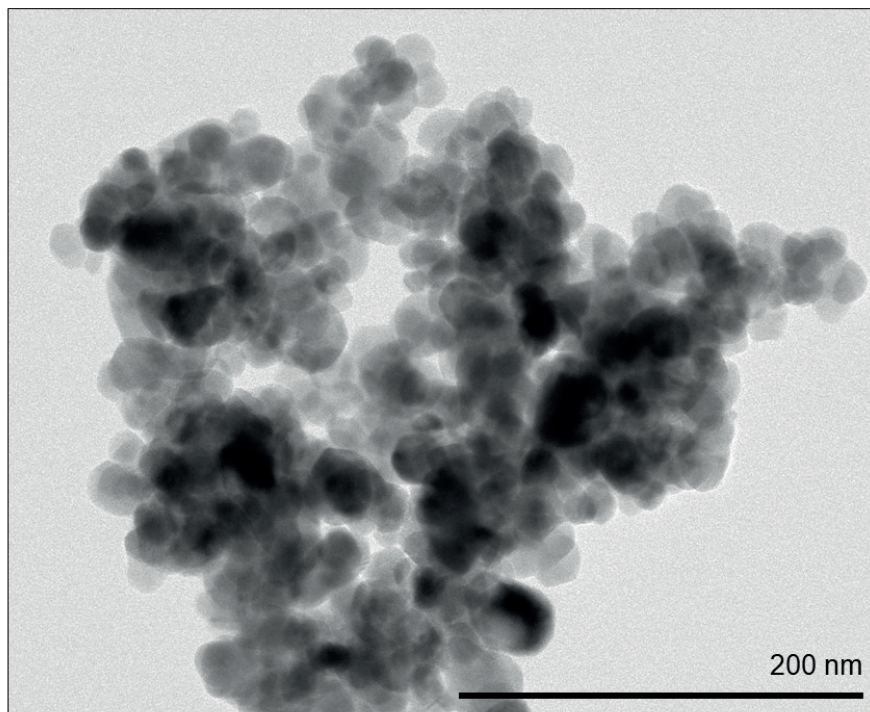


■ Figura 1. Clasificación de las técnicas de fabricación de nanoestructuras más comunes. Modificado a partir de Kumar y col. (2018); Nunes y col. (2019b).

Figure 1. Classification of the most common nanostructure manufacturing techniques. Adapted from Kumar y col. (2018); Nunes y col. (2019b).

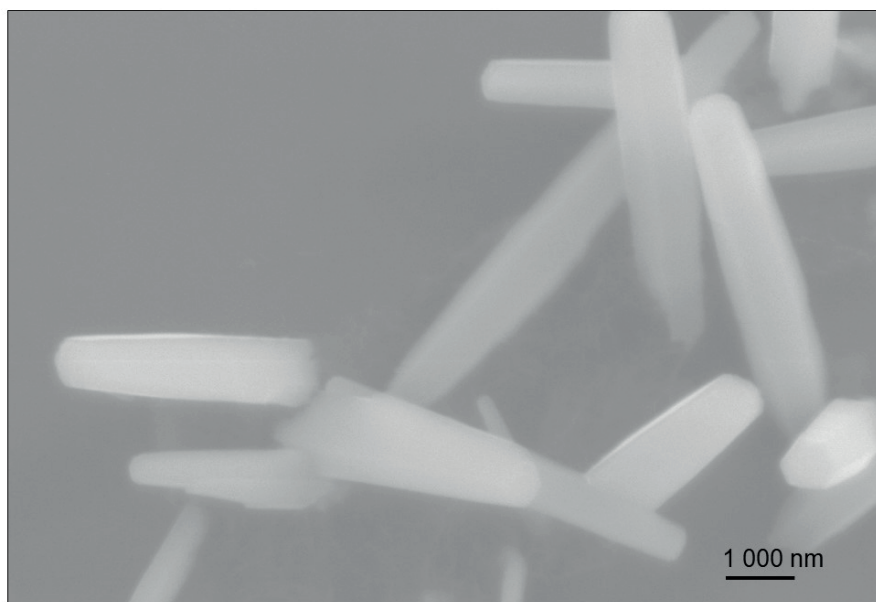
■ Tabla 1. Métodos físicos, biológicos y químicos para la fabricación de nanoestructuras de ZnO.
Table 1. Physical, biological and chemical methods for manufacturing ZnO nanostructures.

Método	Precursores	Morfología y tamaño	Referencias
Métodos físicos			
Molienda mecánica	Polvo de ZnO y CoO al 99.99 %, etanol	Nanocompositos (ZnO-Co) con diámetros de 5 nm a 43 nm	Akgul y Akgul (2022)
Grabado químico	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O, H ₂ O desionizada, HMTA, KCl	Nanotubos con diámetro de 200 nm y longitud de 1 500 nm	Rezaie y col. (2022)
Pulverizado	ZnO	Nanopartículas con diámetros de 45 nm a 123 nm	García-Salinas y col. (2021)
Evaporación térmica	Polvo de ZnO (99.99 %)	Nanotubos con diámetros de 27 nm a 39 nm	Abdallah y col. (2021)
Ablación con láser pulsado en líquido	ZnCl ₂ 100 mM, sustrato de Cu, H ₂ O desionizada	Nanocompositos (ZnO/CuO) con diámetros de 10 nm a 26 nm	Al-Baroot y col. (2022)
Depósito físico de vapor	ZnO 4 N cerámico	Nanopartículas granulares con diámetros de 50 nm a 100 nm	Skowronski y col. (2020)
Métodos biológicos			
Bacteria <i>Serratia nematodiphila</i> cepa ZTB15	Cepas de <i>Serratia nematodiphila</i> , ZnSO ₄ en solución	Nanopartículas con diámetros de 15 nm a 30 nm	Jain y col. (2020)
Hongo <i>Aspergillus niger</i> cepa PTCC 5012	Cepas de <i>Aspergillus niger</i> , Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	Nanopartículas con diámetros de 10 nm a 70 nm	Es-Haghi y col. (2021)
Levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O, NaOH, DDPH, etanol, cepas de la levadura	Nanopartículas esféricas con diámetros de 20 nm a 30 nm	Motazedi y col. (2020)
Alga <i>Chlorella vulgaris</i>	Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O, NH ₄ OH, alga cultivada	Nanovarillas con diámetro de 21 nm y longitud de 150 nm	Taghizadeh y col. (2020)
Métodos químicos			
Sol-Gel	Zn(NO ₃) ₂ ·H ₂ O ₂ , etanol, H ₂ O destilada	Nanopartículas esféricas con diámetro de 22 nm	Patel y col. (2022)
Hidrotermal	Zn(CH ₃ COO) ₂ ·H ₂ O, CTAB, NaOH, H ₂ O destilada	Nanovarillas con diámetro de 50 nm y longitud de 126 nm	Kashif y col. (2021)
Depósito químico de vapor asistido por aerosol	Dietilzinc, tolueno, metanol, trietilgalio	Nanoracimos redondos (ZnO-Ga) con diámetros de 100 nm a 500 nm	Ponja y col. (2020)



- **Figura 2.** Imagen de microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM) de nanopartículas granulares de ZnO obtenidas con 20 min de molienda en un molino de alta energía utilizando como precursores ZnCl_2 y NaCO_3 .

Figure 2. High resolution transmission electron microscopy (HRTEM) image of granular ZnO nanoparticles obtained with 20 min of grinding in a high energy mill using ZnCl_2 and NaCO_3 as precursors.



- **Figura 3.** Imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM) de nanovarillas de ZnO obtenidas por el método hidrotermal.

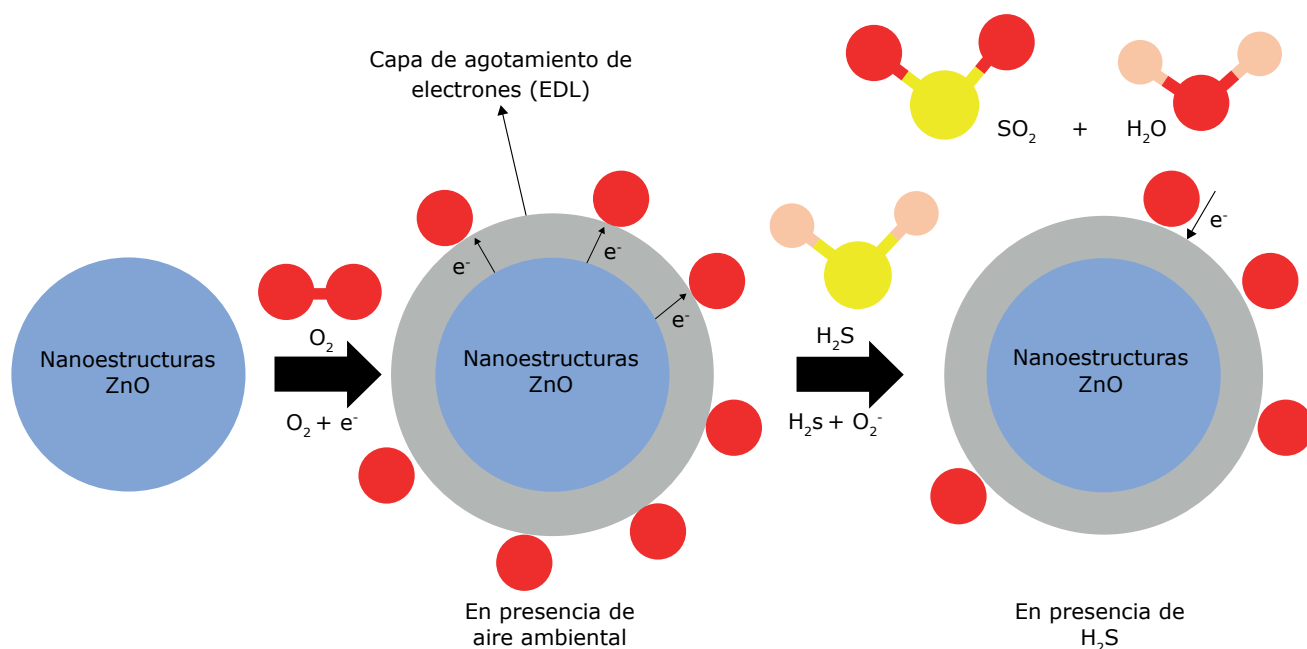
Figure 3. Scanning electron microscopy (SEM) image of ZnO nanorods obtained by the hydrothermal method.

en 1962, cuando se probó que las NE's-ZnO en forma de películas delgadas eran capaces de detectar gases, debido al cambio en la resistencia eléctrica en presencia de un gas (Izawa y col., 2018). Esto se debe a que el ZnO es un SMOX tipo n, en el que los electrones son los portadores de carga mayoritarios (Nunes y col., 2019a), y cuando interactúa con gases inflamables o reductores en el aire (H_2S , H_2 , CO , NH_3 , NO , CH_4 , propano, alcoholes, olores, entre otros), la resistencia eléctrica disminuye, mientras que aumenta con la exposición a gases oxidantes (NO_2 , ozono, N_2O) (Yamazoe y Shimano, 2019). Además de buena conductividad eléctrica, las NE's-ZnO tienen alta eficiencia catalítica, buena estabilidad química, alta resistencia a la corrosión y oxidación, y se pueden obtener con una alta cristalinidad y defectos estructurales mínimos a baja temperatura (Tripathy y Kim, 2018). Otras características deseables en las NE's-ZnO son: alta sensibilidad, una respuesta/recuperación rápida y una buena selectividad para el desarrollo de sensores de gas confiables y de bajo costo (Nikolic y col., 2020). En este sentido, las NE's-ZnO 1D cubren

los requerimientos antes mencionados, debido a su morfología bien definida y ordenada, alta cristalinidad, su gran relación área-volumen y un tamaño de grano pequeño. Siendo este último, un parámetro asociado con el rendimiento de las NE's-ZnO 1D, ya que, al disminuir el tamaño de grano, se incrementa la sensibilidad de los sensores, mejorando la adsorción de gases y los procesos de detección. Se asume que, un incremento en la relación área-volumen aumenta el número de átomos en la superficie de las NE's-ZnO 1D, los cuales se encuentran disponibles para reaccionar con las moléculas de gas, dando como resultado un material más sensible (Korotcenkov, 2020).

Mecanismo de detección de las NE's-ZnO en presencia de gas H_2S

El mecanismo de detección de un sensor de gas compuesto por NE's-ZnO se basa en los cambios en la resistencia eléctrica, causados por las interacciones químicas entre las moléculas del gas objetivo y la superficie del SMOX (Kaur y col., 2017). El esquema de este mecanismo se presenta en la Figura 4, donde las



■ Figura 4. Esquema del mecanismo de detección del ZnO para H_2S gas (gas reductor). Los círculos rojos representan el oxígeno, los círculos amarillos al azufre y los círculos cremas el hidrógeno. Modificado a partir de Li y col. (2019).

Figure 4. Scheme of the ZnO detection mechanism for H_2S gas (reducing gas). Red circles represent oxygen, yellow circles sulfur, and beige circles hydrogen. Adapted from Li y col. (2019).

moléculas de oxígeno provenientes del aire se adsorben en la superficie de las NE's-ZnO, capturan electrones y forman una capa de agotamiento de electrones (EDL, por sus siglas en inglés: electron depletion layer) que genera un incremento en la resistencia eléctrica de las NE's-ZnO. La interacción de la monocapa de oxígeno formada previamente con una concentración en ppm del H₂S, provoca que este se descomponga en dióxido de azufre (SO₂) y agua (H₂O), liberando electrones de vuelta a la superficie de las NE's-ZnO, disminuyendo la resistencia eléctrica del material (Yu y col., 2020).

Los sensores de gas operan tradicionalmente a altas temperaturas (300 °C a 500 °C), debido a la energía térmica requerida para superar la energía de activación y aumentar la cinética de reacción, logrando la detección del gas objetivo. Sin embargo, la alta temperatura de operación provoca inestabilidad en el sensor, causando que la detección de gas sea imprecisa (Zhu y Zeng, 2017). Además, la operación a temperaturas elevadas incrementa el consumo de energía, el tamaño y el costo del sensor de gas. También, genera cambios en la microestructura de las NE's-ZnO, originando una disminución del rendimiento de detección e incluso se aumenta el riesgo de explosiones cuando se trata de gases inflamables como el H₂S. Por lo anterior, los sensores operados a temperatura ambiente disminuyen tanto el consumo de energía como el costo del dispositivo e incrementan la seguridad y estabilidad en el uso. Es por ello, que se han utilizado nanoestructuras ramificadas (dendritas), microestructuras porosas y nanocompositos fotoactivados con luz UV para mejorar la sensibilidad, tiempo de respuesta y la selectividad de estos sensores (Li y col., 2019).

Estructura y clasificación de los detectores

De acuerdo con Yamazoe y Shimano (2019), de forma general, un detector está compuesto por un receptor y un transductor, donde el transductor transforma el efecto de un analito en una señal eléctrica. Por otro lado, Kaur y col. (2020) consideran que un detector de gases tiene tres componentes principales: 1) ma-

terial de detección activo depositado sobre un sustrato; 2) electrodos para la medición funcional; y 3) un calentador, para mantener el sensor en la temperatura de trabajo.

Independiente del diseño que puedan tener, los detectores de gas se clasifican con base en el principio de funcionamiento del transductor (un elemento adicional a los mencionados), y para ello, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés: International Union of Pure and Applied Chemistry), estableció la siguiente clasificación: a) ópticos; b) electroquímicos; c) eléctricos; d) sensibles a la masa; e) termométrico; f) magnéticos y; g) otras propiedades físicas (Fazio y col., 2021). En comparación con los transductores convencionales propuestos por la IUPAC, Comini y Zappa (2019) sugirieron nuevos principios de transducción para sensores químicos, que son los siguientes: 1) contacto Schottky; 2) transistor de efecto de campo (FET); y 3) superficie de ionización.

Parámetros de operación de los sensores

La respuesta de un sensor está dada por la relación entre los parámetros físicos y el cambio en las señales de los parámetros involucrados (resistencia, conductancia, reflectancia, entre otros), antes y después de estar en contacto con las moléculas del gas objetivo. En el caso de un detector de gas eléctrico, se calcula la respuesta con el parámetro físico de la resistencia eléctrica. De ahí que, la respuesta del sensor (S), se expresa como una relación de la resistencia en presencia de aire y la resistencia en presencia del gas (conductancia normalizada), ecuación (1) (Yamazoe y Shimano, 2019) o como un porcentaje, ecuación (2) (Hsu y col., 2021):

$$S = \frac{R_a}{R_g} \quad (1)$$

$$S = \frac{(R_a - R_g)}{(R_a)} * 100 \% \quad (2)$$

Donde:

R_a = Resistencia eléctrica en presencia de aire, su unidad es el Ohm.

R_g = Resistencia eléctrica del sensor en la presencia del gas objetivo, su unidad es el Ohm.

En los detectores ópticos y electroquímicos, se utiliza la misma ecuación para evaluar la tasa de cambio que se produce en la corriente, la capacitancia, la absorbancia óptica o la intensidad de emisión (Viter y Iatsunskyi, 2019).

En los detectores eléctricos es importante cuidar y medir su desempeño, en función de siete parámetros indicadores de la calidad de detección: sensibilidad (cambio de la señal medida por unidad de concentración del gas, ppm); selectividad (respuesta selectiva hacia un gas específico, y se calcula con la ecuación 1); tiempo de respuesta (segundos necesarios para que la señal del sensor alcance el 90 % en presencia del gas); tiempo de recuperación (segundos necesarios para que la señal del sensor alcance el 70 % del valor original en presencia de aire); estabilidad (resultados reproducibles en un período de tiempo); límite de detección (concentración mínima, ppm, que un sensor puede medir con una señal detectable); temperatura de operación óptima (cuando se obtiene la máxima respuesta al gas) (Kaur y col., 2020).

La respuesta de detección se puede optimizar mediante el dopaje de metales en la matriz de ZnO, la funcionalización del ZnO con metales nobles, la inclusión de nanoestructuras de carbono en la matriz de ZnO, la integración con otras nanoestructuras de SMOX, la activación por luz UV y la irradiación con haz electrónico (Bhati y col., 2020).

Aplicación de las NE's-ZnO como sensor de gas H₂S

El buen funcionamiento de las NE's-ZnO, como sensor de gas H₂S, estará influenciado por los métodos de obtención, tamaño y morfología de la nanoestructura, catalizadores, espesor de la película y la temperatura de operación. Las nanoestructuras deben tener un tamaño de grano menor a los 100 nm, ya que esto pro-

mueve una mayor área específica para la adsorción de moléculas de gas, lo que confiere una mayor respuesta del sensor (Mirzaei y col., 2018).

Los métodos hidrotermal y de rociado pirolítico permiten producir sensores de gas H₂S con NE's-ZnO que pueden alcanzar buena calidad y desempeño selectivo (Tabla 2). En el método hidrotermal, la respuesta del sensor dependerá del tipo de nanoestructura sintetizada, si son nanovarillas, nanoalambres, nanopartículas o nanoplatos (Mahajan y Jagtap, 2021). A este respecto, Ding y col. (2020), fabricaron un sensor a partir de la modificación de nanoalambres (NW) de ZnO (ZnO-NW) con nanopartículas de sulfuro de zinc (ZnS), formando una heterounión (ZnO/ZnS), que mejoró la conductividad con una respuesta de detección 50 % mayor que los sensores de ZnO-NW, al detectar una concentración de 1 ppm de gas H₂S a 300 °C. Kolhe y col. (2018) sintetizaron nanohojuelas de ZnO dopado con Aluminio (ZnO: Al), con la técnica de rociado pirolítico. Los sensores de ZnO: Al mejoraron su respuesta en 80 % con respecto al ZnO sin dopar, detectando una concentración de 600 ppm de gas H₂S a 200 °C. En la Tabla 2 se enlistan diversos sensores de gas H₂S basados en NE's-ZnO, clasificándolos por el método de obtención, morfología y la respuesta a diferentes concentraciones del gas H₂S, con valores de detección de 0.5 ppm a 600 ppm.

Se debe continuar con el desarrollo de estrategias en la producción de nanocompositos de ZnO con materiales de tendencia innovadora, combinando los métodos de obtención tradicionales con tecnologías verdes. De esta forma, se podrán generar mejores materiales con procesos amigables con el ambiente. También se debe buscar integrar la creciente tecnología 5G y el internet de las cosas, para ofrecer características como el control remoto de las posibles fugas de gases tóxicos y la toma de decisiones de forma oportuna. Del mismo modo, la interacción de este tipo de sensores con dispositivos electrónicos inteligentes, para salvaguardar la integridad física del usuario.

■ Tabla 2. Sensores de gas H₂S basados en nanoestructuras de ZnO.
Table 2. H₂S gas sensors based on ZnO nanostructures.

Método de obtención	Morfología	Respuesta del sensor		Referencias
		Conductancia normalizada	Concentración de gas H ₂ S (ppm)	
Con base en la ecuación (1)				
Electrodeposición	Nanovarillas	55	50	Wang y col. (2019a)
Precipitación	Nanohojas	22.5	100	Wang y col. (2019b)
Precipitación	Nanohojas (forma de flores)	10.2	100	Sun y col. (2020)
Electrohilado	Nanofibras	73.3	1	Hung y col. (2021)
Hidrotermal	Nanovarillas	70.0	100	Hieu y col. (2020)
Hidrotermal	Nanovarillas Nanohojas	15.9	5	Shao y col. (2020)
Hidrotermal	Nanolechugas Nanohojas	113.0	100	Yu y col. (2020)
Oxidación térmica	Nanoalambres	5.9	5	Yang y col. (2020)
Electrohilado	Nanofibras	31.4	50	Fan y col. (2020)
Rociado pirolítico ultrasónico	Nanoheteroestructuras granulares	113.0	5	Akbari-Saatlu y col. (2022)
Método de obtención	Morfología	Respuesta del sensor		Referencias
		%	Concentración de gas H ₂ S (ppm)	
Con base en la ecuación (2)				
Evaporación por haz de electrones	Nanoalambres	44.0	0.5	Chen y col. (2017)
Hidrotermal	Microdiscos hexaédricos	53.5	2 a 100	Zhang y col. (2019)
Depósito químico de vapor	Nanoalambres	94.0	400	Kamalianfar y col. (2019)
Pulverizado RF/Hidrotermal	Hojuelas/ Nanovarillas	0.9	250	Shewale y Yun (2020)
Precipitación	Nanovarillas	82.0	600	Patil y col. (2020)
Rociado pirolítico con baño químico	Nanotubos	42.0	20	Li y col. (2018)
Sol-Gel	Nanofibras	83.9	1	Hsu y col. (2021)

CONCLUSIONES

Las propiedades únicas del ZnO y su bajo costo permiten su utilización en la formación de nanoestructuras que se aplican en diferentes sustratos para la fabricación de sensores con alta capacidad de detección de gases tóxicos. Su obtención mediante enfoques Top-down o Bottom-up, con una gran variedad de métodos físicos o químicos permiten producir nanoestructuras con diferentes morfologías y tamaño, para proporcionar mayor área superficial de contacto con los iones disociados del H₂S. Dicha interacción genera la respuesta eléctrica que se utiliza para detectar la presen-

cia de incluso 0.5 ppm de H₂S en la atmósfera. Los sensores operan desde temperatura ambiente hasta 500 °C. Entre los retos a atender se encuentran el lograr que los equipos sean físicamente más pequeños para su portabilidad, resistentes al daño, de poco consumo energético, sensibles a bajas concentraciones de gases tóxicos, capaces de diferenciar entre tipos de gas y con tiempos de respuesta y recuperación rápidos. Se espera que incorporen los avances de la tecnología del internet de las cosas para desarrollar dispositivos inteligentes que amplíen la versatilidad a este tipo de detectores.

REFERENCIAS

- Abdallah, B., Kakhia, M., and Obaide, A. (2021). Morphological and Structural Studies of ZnO Nanotube Films Using Thermal Evaporation Technique. *Plasmonics*. 16(5): 1549-1556.
- Akbari-Saatlu, M., Procek, M., Mattsson, C., Thungröm, G., Törndahl, T., Li, B., ..., and Radamson, H. H. (2022). Nanometer-Thick ZnO/SnO₂ Heterostructures Grown on Alumina for H₂S Sensing. *ACS Applied Nano Materials*. 5(5): 6954-6963.
- Akgul, G. and Akgul, F. A. (2022). Impact of cobalt doping on structural and magnetic properties of zinc oxide nanocomposites synthesized by mechanical ball-milling method. *Colloids and Interface Science Communications*. 48: 100611.
- Al-Baroot, A., Alheshibri, M., Drmosh, Q. A., Akhtar, S., Kotb, E., and Elsayed, K. A. (2022). A novel approach for fabrication ZnO/CuO nanocomposite via laser ablation in liquid and its antibacterial activity: A novel approach for fabrication ZnO/CuO nanocomposite. *Arabian Journal of Chemistry*. 15(2): 103606.
- Bhati, V. S., Hojamberdiev, M., and Kumar, M. (2020). Enhanced sensing performance of ZnO nanostructures-based gas sensors: A review. *Energy Reports*. 6: 46-62.
- Chen, Y., Xu, P., Xu, T., Zheng, D., and Li, X. (2017). ZnO-nanowire size effect induced ultrahigh sensing response to ppb-level H₂S. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 240: 264-272.
- Comini, E. and Zappa, D. (2019). One- and two-dimensional metal oxide nanostructures for chemical sensing. In R. Jaaniso and O. K. Tan (Eds.), *Semiconductor Gas Sensors* (pp. 161-184). United States: Woodhead Publishing.
- Dadkhah, M. and Tulliani, J. M. (2022). Green Synthesis of Metal Oxides Semiconductors for Gas Sensing Applications. *Sensors*. 22: 4669.
- Dey, A. (2018). Semiconductor metal oxide gas sensors: A review. *Materials Science and Engineering: B*. 229: 206-217.
- Ding, P., Xu, D., Dong, N., Chen, Y., Xu, P., Zheng, D., and Li, X. (2020). A high-sensitivity H₂S gas sensor based on optimized ZnO-ZnS nano-heterojunction sensing material. *Chinese Chemical Letters*. 31(8): 2050-2054.
- Duoc, V. T., Le, D. T. T., Hoa, N. D., Van-Duy, N., Hung, C. M., Nguyen, H., and Van-Hieu, N. (2019). New Design of ZnO Nanorod-and Nanowire-Based NO₂ Room-Temperature Sensors Prepared by Hydrothermal Method. *Journal of Nanomaterials*. 2019: 6821937.
- Es-Haghi, A., Taghavizadeh-Yazdi, M. E., Sharifal-hoseini, M., Baghani, M., Yousefi, E., Rahdar, A., and Baino, F. (2021). Application of response surface methodology for optimizing the therapeutic activity of zno nanoparticles biosynthesized from aspergillus niger. *Biomimetics*. 6(2): 34.
- Fan, C., Sun, F., Wang, X., Majidi, M., Huang, Z., Kumar, P., and Liu, B. (2020). Enhanced H₂S gas sensing properties by the optimization of p-CuO/n-ZnO composite nanofibers. *Journal of Materials Science*. 55(18): 7702-7714.
- Fazio, E., Spadaro, S., Corsaro, C., Neri, G., Leonardi, S. G., Neri, F., ..., and Neri, G. (2021). Metal-oxide based

nanomaterials: Synthesis, characterization and their applications in electrical and electrochemical sensors. *Sensors*. 21(7): 2494.

Galstyan, V., Poli, N., and Comini, E. (2019). Highly Sensitive and Selective H₂S Chemical Sensor Based on ZnO Nanomaterial. *Applied Sciences*. 9(6): 1167.

García-Salinas, F., Vázquez-Durán, A., and Yáñez-Limón, J. M. (2021). Comparative study of Al-doped ZnO films deposited by sol-gel and by sputtering using a sintered target from ZnO nanoparticles synthesized by sol-gel. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 317: 11.

Gorup, L. F., Amorin, L. H., Camargo, E. R., Sequinel, T., Cincotto, F. H., Biasotto, G., ..., and La-Porta, F. de A. (2020). Methods for design and fabrication of nanosensors: the case of ZnO-based nanosensor. In B. Han, T. A. Nguyen, P. K. Singh, V. K. Tomer, and A. Farmani (Eds.), *Nanosensors for Smart Cities* (pp. 9-30). United Kingdom: Elsevier.

Hieu, N. M., Van-Lam, D., Hien, T. T., Chinh, N. D., Quang, N. D., Hung, N. M., ..., and Kim, D. (2020). ZnTe-coated ZnO nanorods: Hydrogen sulfide nano-sensor purely controlled by pn junction. *Materials and Design*. 191: 108628.

Hsu, K. C., Fang, T. H., Hsiao, Y. J., and Li, Z. J. (2021). Rapid detection of low concentrations of H₂S using CuO-doped ZnO nanofibers. *Journal of Alloys and Compounds*. 852: 157014.

Hung, C. M., Phuong, H. V., Van-Thinh, V., Hong, L. T., Thang, N. T., Hanh, N. H., ..., and Hoa, N. D. (2021). Au doped ZnO/SnO₂ composite nanofibers for enhanced H₂S gas sensing performance. *Sensors and Actuators, A: Physical*. 317: 112454.

Izawa, K., Ulmer, H., Staerz, A., Weimar, U., and Barsan, N. (2018). Application of SMOX-based sensors. In N. Barsan and K. Schierbaum (Eds.), *Gas Sensors Based on Conducting Metal Oxides: Basic Understanding, Technology and Applications* (pp. 217-257). United Kingdom: Elsevier.

Jain, D., Bhojiya, A. A., Singh, H., Daima, H. K., Singh, M., Mohanty, S. R., ..., and Singh, A. (2020). Microbial Fabrication of Zinc Oxide Nanoparticles and Evaluation of Their Antimicrobial and Photocatalytic Properties. *Frontiers in Chemistry*. 8: 778.

Kamalianfar, A., Naseri, M. G., and Jahromi, S. P. (2019). Preparation and gas-sensing performances of Cr₂O₃-decorated ZnO nanostructures grown in a boundary layer of non-uniform thickness for low-working temperature H₂S detection. *Chemical Physics*

Letters. 732: 136648.

Kashif, M., Fiaz, M., and Athar, M. (2021). One-step hydrothermal synthesis of ZnO nanorods as efficient oxygen evolution reaction catalyst. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*. 52(1): 101-107.

Kaur, M., Kailasaganapathi, S., Ramgir, N., Datta, N., Kumar, S., Debnath, A. K., ..., and Gupta, S. K. (2017). Gas dependent sensing mechanism in ZnO nanobelt sensor. *Applied Surface Science*. 394: 258-266.

Kaur, N., Singh, M., and Comini, E. (2020). 1-D Nanostructured Oxide Chemoresistive Sensors. *Langmuir*. 36(23): 6326-6344.

Kaya, S., Ozturk, O., and Arda, L. (2020). Roughness and bearing analysis of ZnO nanorods. *Ceramics International*. 46(10): 15183-15196.

Kolhe, P. S., Shinde, A. B., Kulkarni, S. G., Maiti, N., Koinkar, P. M., and Sonawane, K. M. (2018). Gas sensing performance of Al doped ZnO thin film for H₂S detection. *Journal of Alloys and Compounds*. 748: 6-11.

Korotcenkov, G. (2020). Current trends in nanomaterials for metal oxide-based conductometric gas sensors: Advantages and limitations. part 1: 1D and 2D nanostructures. *Nanomaterials*. 10(7): 1392.

Król, A., Pomastowski, P., Rafińska, K., Railean-Plugaru, V., and Buszewski, B. (2017). Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Advances in Colloid and Interface Science*. 249: 37-52.

Kumar, S., Bhushan, P., and Bhattacharya, S. (2018). Fabrication of Nanostructures with Bottom-up Approach and Their Utility in Diagnostics, Therapeutics, and Others. In S. Bhattacharya, A. K. Agarwal, N. Chanda, A. Pandey, and A. K. Sen (Eds.), *Environmental, Chemical and Medical Sensors* (pp. 167-198). Singapore: Springer.

Li, D., Qin, L., Zhao, P., Zhang, Y., Liu, D., Liu, F., ..., and Lu, G. (2018). Preparation and gas-sensing performances of ZnO/CuO rough nanotubular arrays for low-working temperature H₂S detection. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 254: 834-841.

Li, Z., Li, H., Wu, Z., Wang, M., Luo, J., Torun, H., ..., and Fu, Y. (2019). Advances in designs and mechanisms of semiconducting metal oxide nanostructures for high-precision gas sensors operated at room temperature. *Materials Horizons*. 6(3): 470-506.

Llobet, E., Brunet, J., Pauly, A., Ndiaye, A., and Varrenne, C. (2017). Nanomaterials for the Selective Detection of Hydrogen Sulfide in Air. *Sensors*. 17(2): 391.

- Mahajan, S. and Jagtap, S. (2021). Nanomaterials-Based Resistive Sensors for Detection of Environmentally Hazardous H₂S Gas. *Journal of Electronic Materials*. 50(5): 2531-2555.
- Mazitova, G. T., Kienskaya, K. I., Ivanova, D. A., Belova, I. A., Butorova, I. A., and Sardushkin, M. V. (2019). Synthesis and Properties of Zinc Oxide Nanoparticles: Advances and Prospects. *Review Journal of Chemistry*. 9(2):127-152.
- Mirzaei, A., Kim, S. S., and Kim, H. W. (2018). Resistance-based H₂S gas sensors using metal oxide nanostructures: A review of recent advances. *Journal of Hazardous Materials*. 357: 314-331.
- Mirzaei, A., Lee, J. H., Majhi, S. M., Weber, M., Bechelany, M., Kim, H. W., and Kim, S. S. (2019). Resistive gas sensors based on metal-oxide nanowires. *Journal of Applied Physics*. 126(24):241102.
- Motazed, R., Rahaiee, S., and Zare, M. (2020). Efficient biogenesis of ZnO nanoparticles using extracellular extract of *Saccharomyces cerevisiae*: Evaluation of photocatalytic, cytotoxic and other biological activities. *Bioorganic Chemistry*. 101: 103998.
- Nikolic, M. V., Milovanovic, V., Vasiljevic, Z. Z., and Stamenkovic, Z. (2020). Semiconductor gas sensors: Materials, technology, design, and application. *Sensors*. 20(22): 1-31.
- Nunes, D., Pimentel, A., Santos, L., Barquinha, P., Pereira, L., Fortunato, E., and Martins, R. (2019a). Structural, optical, and electronic properties of metal oxide nanostructures. In G. Korotcenkov (Ed.), *Metal Oxide Nanostructures* (pp. 59-102). United Kingdom: Elsevier.
- Nunes, D., Pimentel, A., Santos, L., Barquinha, P., Pereira, L., Fortunato, E., and Martins, R. (2019b). Synthesis, design, and morphology of metal oxide nanostructures. In G. Korotcenkov (Ed.), *Metal Oxide Nanostructures* (pp. 21-57). United Kingdom: Elsevier.
- Nurfani, E., Kadja, G. T. M., Purbayanto, M. A. K., and Darma, Y. (2020). The role of substrate temperature on defects, electronic transitions, and dark current behavior of ZnO films fabricated by spray technique. *Materials Chemistry and Physics*. 239: 122065.
- Patel, M., Mishra, S., Verma, R., and Shikha, D. (2022). Synthesis of ZnO and CuO nanoparticles via Sol gel method and its characterization by using various techniques. *Discover Materials*. 2(1):1.
- Patil, Y., Pedhekar, R. B., Patil, S., and Raghuvanshi, F. C. (2020). Thick film gas sensors made from Mn doped zinc oxide nanorods for H₂S gas. *Materials Today: Proceedings*. 28: 1865-1871.
- Ponja, S. D., Sathasivam, S., Parkin, I. P., and Carmalt, C. J. (2020). Highly conductive and transparent gallium doped zinc oxide thin films via chemical vapor deposition. *Scientific Reports*. 10(1): 1-7.
- Rezaie, M. N., Mohammadnejad, S., and Ahadzadeh, S. (2022). The impact of ZnO nanotube on the performance of hybrid inorganic/organic light-emitting diode as a single-mode ring-core UV waveguide. *Surfaces and Interfaces*. 28: 101666.
- Shao, S., Chen, X., Chen, Y., Zhang, L., Kim, H. W., and Kim, S. S. (2020). ZnO Nanosheets Modified with Graphene Quantum Dots and SnO₂ Quantum Nanoparticles for Room-Temperature H₂S Sensing. *ACS Applied Nano Materials*. 3(6): 5220-5230.
- Shewale, P. S. and Yun, K. S. (2020). Synthesis and characterization of Cu-doped ZnO/RGO nanocomposites for room-temperature H₂S gas sensor. *Journal of Alloys and Compounds*. 837: 155527.
- Skowronski, L., Ciesielski, A., Olszewska, A., Szczesny, R., Naparty, M., Trzcinski, M., and Bukaluk, A. (2020). Microstructure and optical properties of E-beam evaporated zinc oxide films-effects of decomposition and surface desorption. *Materials*. 13(16): 3510.
- Soni, A., Mulchandani, K., and Mavani, K. R. (2020). Effects of substrates on the crystalline growth and UV photosensitivity of glancing angle deposited porous ZnO nanostructures. *Sensors and Actuators, A: Physical*. 313: 112140.
- Sun, M., Yu, H., Dong, X., Xia, L., and Yang, Y. (2020). Sedum linear flower-like ordered mesoporous In₂O₃/ZnO gas sensing materials with high sensitive response to H₂S at room temperature prepared by self-assembled of 2D nanosheets. *Journal of Alloys and Compounds*. 844: 156170.
- Taghizadeh, S. M., Lal, N., Ebrahiminezhad, A., Moeini, F., Seifan, M., Ghasemi, Y., and Berenjian, A. (2020). Green and Economic Fabrication of Zinc Oxide (ZnO) Nanorods as a Broadband UV Blocker and Antimicrobial Agent. *Nanomaterials*. 10(3): 530.
- Tripathy, N. and Kim, D. H. (2018). Metal oxide modified ZnO nanomaterials for biosensor applications. *Nano Convergence*. 5(1): 1-10.
- Viter, R. and Iatsunskyi, I. (2019). Metal Oxide Nanostructures in Sensing. In O. V. Zenkina (Ed.), *Nanomaterials Design for Sensing Applications*

tions (pp. 41-91). Netherlands: Elsevier.

Wang, C., Wang, L. J., Zhang, L., Xi, R., Huang, H., Zhang, S. H., and Pan, G. B. (2019a). Electrodeposition of ZnO nanorods onto GaN towards enhanced H₂S sensing. *Journal of Alloys and Compounds*. 790: 363-369.

Wang, M., Luo, Q., Hussain, S., Liu, G., Qiao, G., and Kim, E. J. (2019b). Sharply-precipitated spherical assembly of ZnO nanosheets for low temperature H₂S gas sensing performances. *Materials science in Semiconductor Processing*. 100: 283-289.

Yamazoe, N. and Shimanoe, K. (2019). Fundamentals of semiconductor gas sensors. In R. Jaaniso and O. K. Tan (Eds.), *Semiconductor Gas Sensors* (pp. 3-38). United States: Woodhead Publishing.

Yang, J. H., Yuan, K. P., Zhu, L. Y., Hang, C. Z., Li, X. X., Tao, J. J., ..., and Lu, H. L. (2020). Facile synthesis of α -Fe₂O₃/ZnO core-shell nanowires for enhanced H₂S sensing. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 307: 127617.

Yu, Z., Gao, J., Xu, L., Liu, T., Liu, Y., Wang, X., ..., and Zhao, C. (2020). Fabrication of Lettuce-Like ZnO Gas Sensor with Enhanced H₂S Gas Sensitivity. *Crystals*. 10(3): 145.

Zhang, D., Fan, X., Hao, X., and Dong, G. (2019). Facile Fabrication of Polyaniline Nanocapsule Modified Zinc Oxide Hexagonal Microdiscs for H₂S Gas Sensing Applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 58(5): 1906-1913.

Zhu, L. and Zeng, W. (2017). Room-temperature gas sensing of ZnO-based gas sensor: A review. *In Sensors and Actuators, A: Physical*. 267: 242-261.



Imágenes de: Ramiro Velázquez Rincón

Composición de especies vegetales en un matorral desértico rosetófilo del norte de Coahuila, México

Plant species composition in a rosetophyllous desert scrub of northern Coahuila, Mexico

Ramiro Velázquez-Rincón¹, Eduardo Alanís-Rodríguez², Ana María Patiño-Flores², Arturo Mora-Olivo^{3*}, Jonás Adán Delgadillo-Villalobos⁴

RESUMEN

El Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Maderas del Carmen, ubicada en el estado de Coahuila, se considera un reservorio natural para el matorral rosetófilo, el cual ha sido afectado por el cambio de uso de suelo en el norte de México. El objetivo del presente trabajo fue describir el estado actual del matorral desértico rosetófilo del Área Protegida de Flora y Fauna Maderas del Carmen, con base en su estructura, composición florística y diversidad. Se evaluó la vegetación mediante 35 parcelas de 5 m x 5 m en 7 transectos lineales. Se midió altura (m), diámetro (cm) y área de copa (m²). Se determinó abundancia, dominancia y frecuencia de cada especie para obtener el índice de valor de importancia (IVI), además del índice de entropía de Shannon (H') para conocer la diversidad, y la diversidad verdadera de Shannon (¹D). Se registraron 31 familias, 61 géneros y 70 especies de plantas vasculares, incluyendo una endémica de México (*Galactia brachystachys*) y a 20 bajo estatus de protección, como *Agave havardiana*, que además, es especie vulnerable. Las familias con mayor riqueza fueron Fabaceae, Asteraceae, Asparagaceae y Cactaceae. Las formas biológicas y de vida fueron árboles y arbustos (48 %), hierbas (36 %), suculentas (13 %) y trepadoras (3 %). El H' fue de 3.13 y la ¹D de 22.87. El matorral rosetófilo del APFF Maderas del Carmen tiene una diversidad media-alta, está dominado por *Agave lechuguilla* Torr., con mayor abundancia e IVI. La composición florística y la diversidad encontrada permite una línea base para estudios posteriores que determinen el estatus ecológico de la zona. Especialmente para conocer con mayor detalle la dinámica poblacional de las especies endémicas y bajo estatus de protección, además del hábitat para la fauna silvestre presente en el APFF Maderas del Carmen.

PALABRAS CLAVE: *Agave lechuguilla*, área de protección, Desierto Chihuahuense, diversidad.

ABSTRACT

The Maderas del Carmen Flora and Fauna Protection Area (APFF), located in the state of Coahuila, is considered a natural reservoir for rosetophyllous scrub, which has been affected by land use change in northern Mexico. The objective of this work was to describe the current state of the rosetophilous desert scrub in the Maderas del Carmen Flora and Fauna Protection Area, based on its structure, floristic composition, and diversity. Vegetation was evaluated using 35 plots of 5 m x 5 m in 7 linear transects. Height (m), diameter (cm) and crown area (m²) were measured. Abundance, dominance and frequency of each species were determined to obtain the importance value index (IVI), in addition to the Shannon entropy index (H') to know the diversity, and the true diversity of Shannon (¹D). 31 families, 61 genera and 70 species of vascular plants were recorded, including one endemic to Mexico (*Galactia brachystachys*) and 20 under protection status, such as *Agave havardiana*, which is also a vulnerable species. The richest families were Fabaceae, Asteraceae, Asparagaceae and Cactaceae. Biological and life forms were trees and shrubs (48 %), herbs (36 %), succulents (13 %), and climbers (3 %). The H' was 3.13 and the ¹D was 22.87. The rosetophilous scrub of the APFF Maderas del Carmen has a medium-high diversity, it is dominated by *Agave lechuguilla* Torr., with greater abundance and IVI. The floristic composition and the diversity found allow a baseline for subsequent studies that determine the ecological status of the area. Especially, they allow us to know in greater detail the population dynamics of endemic species and under protection status, in addition to the habitat for wildlife present in the APFF Maderas del Carmen.

KEYWORDS: *Agave lechuguilla*, protected area, Chihuahuan Desert, diversity.

*Correspondencia: amorao@docentes.uat.edu.mx/ Fecha de recepción: 31 de enero de 2022/ Fecha de aceptación: 24 de enero de 2023/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

¹Geoprospect S.A. de C.V., Departamento Ambiental, Linares, Nuevo León, México. ²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México. ³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, División del Golfo núm. 356, colonia Libertad, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87019. ⁴Proyecto El Carmen-CEMEX, Monterrey, Nuevo León, México.

INTRODUCCIÓN

Los matorrales xerófilos o semidesérticos son considerados las comunidades vegetales dominantes en las zonas áridas de México (Rzedowski, 2006). Una de las regiones más conocidas, por su importancia ecológica y biológica en el norte del país, es el Desierto Chihuahuense, el cual incluye diversos tipos de matorrales xerófilos, entre los que destaca el llamado matorral desértico chihuahuense (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). De acuerdo con Encina-Domínguez y col. (2018), este matorral se conforma de variantes, como los matorrales halófilos y gipsófilos, los matorrales micrófilos y los matorrales rosetófilos.

Usualmente, los matorrales rosetófilos se distribuyen sobre rocas calizas, en terrenos con buen drenaje y se caracterizan por la dominancia de especies arbustivas y suculentas con hojas alargadas en forma de roseta (Granados-Sánchez y col., 2011). Esta forma de distribución concéntrica de las hojas, alrededor de los tallos, favorece la captación de humedad de la niebla que se produce en zonas cercanas a las zonas montañosas (Martorell y Ezcurra, 2002). Es posible que, por esta u otras razones, los matorrales rosetófilos puedan contener una alta riqueza de especies, a pesar de las extremas condiciones de aridez presentes (Huerta-Martínez y García-Moya, 2004; Alanís-Rodríguez y col., 2015).

Al igual que otros matorrales xerófilos, las comunidades rosetófilas se han visto afectadas por acciones antropocéntricas, como son el cambio de uso de suelo, los incendios forestales y la sobreexplotación de ciertas especies de interés, como *Agave lechuguilla* Torr. (Reyes-Agüero y col., 2000). Particularmente, en el norte de México los matorrales rosetófilos han sido seriamente afectados, por lo que se requieren esfuerzos encaminados a su rehabilitación (Medina-Guillén y col., 2017). Afortunadamente, desde hace décadas, el gobierno mexicano ha implementado diversas estrategias para conservar y manejar adecuadamente los matorrales rosetófilos del Desierto Chihuahuense. Un ejemplo de ello es la creación de reservas naturales, dentro de esta región desértica, como el Área de Protección de Flora y Fauna

Maderas del Carmen (ubicada en el noroeste de Coahuila, México), la cual tiene una buena representación de matorrales desérticos rosetófilos de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT-CONANP, 2013).

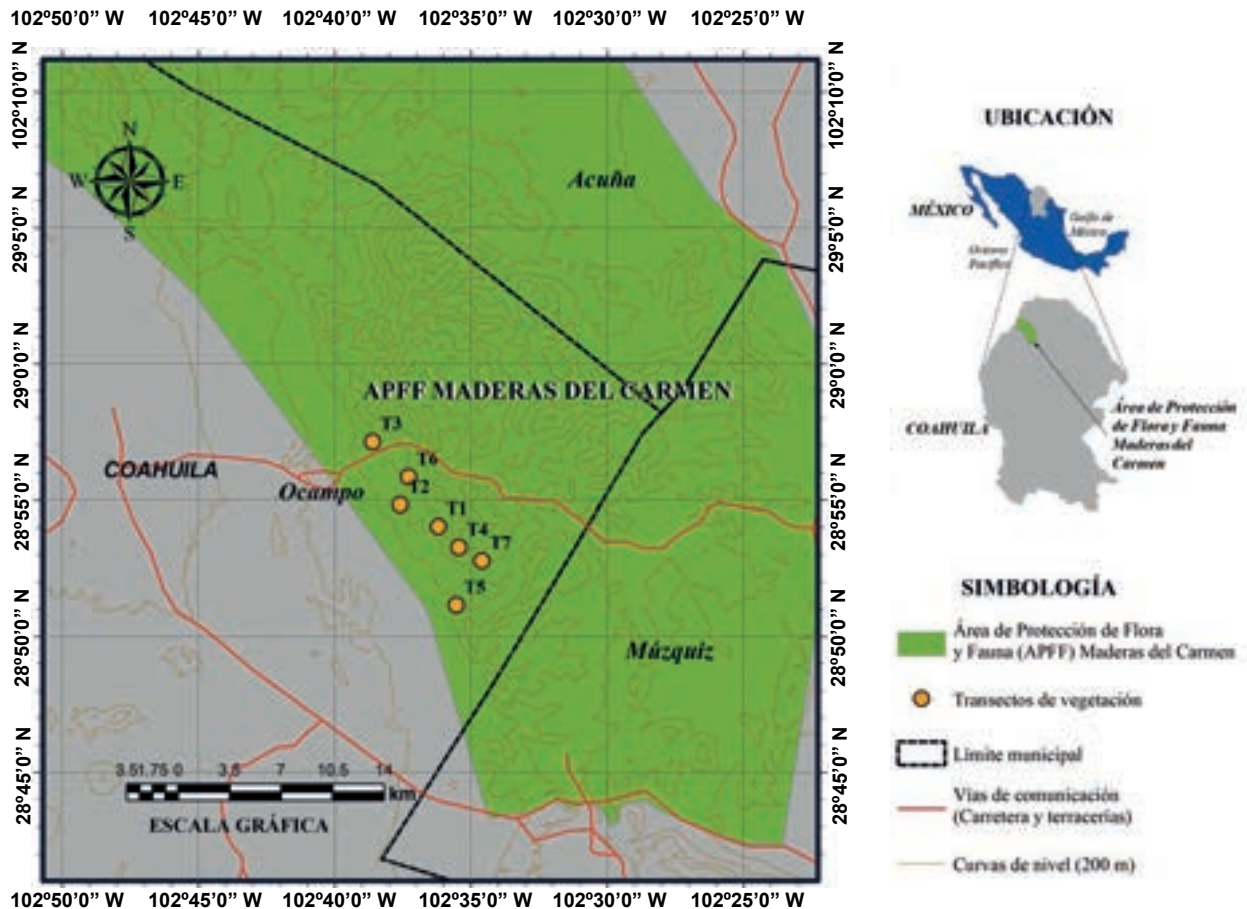
Aunque se han estudiado algunos matorrales rosetófilos en el noreste de México, como en Nuevo León (Alanís-Rodríguez y col., 2015; Mata-Balderas y col., 2015) y Coahuila (Encina-Domínguez y col., 2013), la vegetación de la reserva Maderas del Carmen ha tenido relativamente poca atención, con excepción de los trabajos de Zúñiga-Ramos (1991) y Medina-Guillén y col. (2017), sobre un matorral rehabilitado y más recientemente de García-Aranda y col. (2022). En la actualidad existe un marcado interés en conocer el estado de estos matorrales, dado que constituyen el hábitat y alimento para especies de fauna silvestre, como el borrego cimarrón, el cual se encuentra bajo protección por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés: International Union for Conservation of Nature) y fue reintroducido en la zona (Velázquez, 2012; IUCN, 2022).

El objetivo de este trabajo fue conocer el estado actual del matorral desértico rosetófilo en una porción del Área de Protección de Flora y Fauna de la sierra Maderas del Carmen con base en su estructura de tamaño (altura y diámetro de copa) y de distribución espacial, composición florística y diversidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo entre 2012 y 2017 en las laderas del sur-poniente de la sierra Maderas del Carmen, dentro del Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) del mismo nombre, en una comunidad vegetal de matorral desértico rosetófilo. El APFF se ubica en el extremo noroeste del estado de Coahuila, entre las coordenadas 28°42'18.28" N y 29°21'29.42" N, y entre 102°22'04.58" W y 102°55'04.03" W (Figura 1). Forma parte de los municipios de



■ Figura 1. Ubicación del área de estudio. La imagen superior derecha muestra la ubicación del estado de Coahuila en el contexto nacional, la inferior derecha es la ubicación del APFF Maderas del Carmen en el contexto estatal y el recuadro izquierdo es la ubicación de los transectos dentro del APFF. Figure 1. Location of the study area. The upper left image shows the location of the state of Coahuila in the National context, the lower left is the location of the APFF Maderas del Carmen in the State context, and the right box is the location of the transects within the APFF.

Ocampo, Acuña y Múzquiz. Pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, que consta de sierras de calizas, plegadas y escarpadas con zonas interserranas de amplias bajadas, lomeríos y llanuras aluviales. El trabajo de campo se realizó en altitudes de entre 1 400 m y 2 000 m debido a la accesibilidad. La zona de muestreo que incluye zonas bajas y laderas de montaña posee suelos profundos de tipo xerosoles háplicos, de un color pardo claro y con textura media; además de regosoles calcáricos que se asocian a regosoles éutricos, suelos que tienen un horizonte A ócrico en la superficie, con textura media y usualmente asociados a litosoles de textura

media con fase litofítica. El clima presente es de tipo seco y subtipo seco semicálido. La temperatura media anual es de 18 °C a 20 °C. Se presentan lluvias en verano, con una precipitación media que va de los 300 mm a los 400 mm (SEMARNAT-CONANP, 2013).

Tamaño de muestra

Para la determinación del tamaño de muestra se llevó a cabo un pre-muestreo aleatorio estratificado (Huising y col., 2012). Se seleccionaron 3 transectos al azar, con una dirección norte-sur, en zonas que forman parte del hábitat de especies de fauna silvestre. En cada transecto se ubicaron 5 parcelas de 5 m x 5 m, con una separación de 25 m entre ellas. Se

registró el número de individuos de cada especie vegetal presentes por parcela, además de tomarles la altura (m) y los diámetros (cm) de copa (mayor y menor). Para el tamaño de muestra, se consideró un nivel de confianza de 90 %. El número final de parcelas se definió con base en los datos obtenidos del número total de especies por parcela, mediante la siguiente fórmula (Alanís-Rodríguez y col., 2020):

$$N = \frac{C^2 * t^2}{\alpha^2}$$

Donde:

N = Tamaño de muestra (número de parcelas)

C = Coeficiente de variación (desviación estándar/media * 100)

t = t de student (valor tabular)

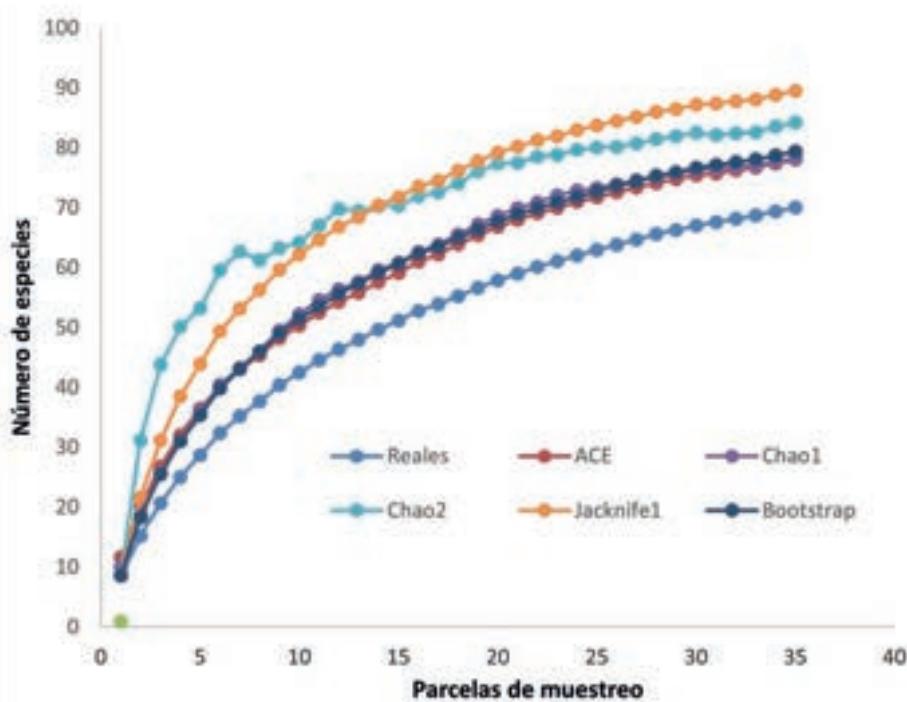
α = error (%)

En el pre-muestreo se registraron 39 especies, con una media del número de especies por parcela de 7.86 y una desviación estándar (DS) de

2.58 y un valor de $t = 1.345$ para 14° de libertad a 0.1 de significancia. Se obtuvo que $N = 19.57$.

El muestreo se completó con 20 parcelas adicionales, repartidas en 4 transectos que sumaron un total de 35 parcelas distribuidas en 7 transectos. Se mantuvieron las dimensiones de las parcelas y la separación entre estas en cada transecto.

La pertinencia de la cantidad de parcelas muestreadas se evaluó analizando el esfuerzo de muestreo con curvas de acumulación (Figura 2), basadas en el número de especies por sitio de muestreo. La riqueza esperada (número de especies) fue generada con el estimador de cobertura basado en promedio (ACE) y estimadores basados en incidencia (Chao1, Chao2, Jackknife1 y Bootstrap) (Moreno, 2001). Se calculó la media y la DS de los cinco estimadores, así como el porcentaje de especies registradas (reales/media del estimador x 100). Para



■ Figura 2. Curva de acumulación de especies para la obtención del número de parcelas. En el eje X se muestra el esfuerzo de muestreo efectuado (n, parcelas de muestreo). El eje Y representa el número de especies registradas en el estudio.

Figure 2. Species accumulation curve to obtain the number of plots. The X axis shows the sampling effort made (n, sampling plots). The Y axis represents the number of species recorded in the study.

las estimaciones se utilizó programa EstimateS 9.1, que calcula una variedad de funciones, estimadores e índices de biodiversidad basados en datos de muestreo biótico (Gotelli y Colwell, 2011).

Chao1 es un estimador del número de especies en una comunidad basado en el número de especies raras en la muestra, y se calcula mediante la fórmula:

$$Chao\ 1 = S + \frac{a^2}{2b}$$

Donde

S = número de especies en una muestra

a = número de especies que están representadas solamente por un único individuo en esa muestra (número de “single-tons”)

b = número de especies representadas por exactamente dos individuos en la muestra

Chao2 es un estimador no-paramétrico en el sentido estadístico, ya que no asume el tipo de distribución del conjunto de datos y no los ajusta a un modelo determinado, requiere únicamente datos de presencia-ausencia. La fórmula es:

$$Chao\ 2 = S + \frac{L^2}{2M}$$

Donde:

L = número de especies que ocurren solamente en una muestra (especies “únicas”)

M = número de especies que ocurren en exactamente dos muestras

Jackknife, de primer orden se basa en el número de especies que ocurren solamente en una muestra (L). Es una técnica para reducir el sesgo de los valores estimados y se calcula mediante la fórmula:

$$Jack\ 1 = S + L \frac{m - 1}{m}$$

Donde:

S = número de especies en una muestra

L = número de especies que ocurren solamente en una muestra (especies “únicas”)

m = número de muestras

Bootstrap es un estimador de la riqueza de especies basado en la proporción de unidades de muestreo que contienen a cada especie. La fórmula es:

$$Bootstrap = S + \sum (1 - pj)^n$$

Donde:

S = número de especies en una muestra

pj = proporción de unidades de muestreo que contienen a cada especie j

n = tamaño de la muestra estandarizado

Abundancia relativa

Se obtuvo mediante la siguiente fórmula (Magurran, 2004):

$$ARi = \left(\frac{n_i}{\sum_1^n n_i} \right) * 100$$

Donde:

ARi = abundancia relativa de la especie i

n_i = número total de individuos de la especie i colectada.

$\sum n_i$ = número total de individuos de todas las especies

Dominancia relativa

Se determinó mediante (Magurran, 2004):

$$DRi = \left(\frac{D_i}{\sum_1^n D_i} \right) * 100$$

Donde:

DRi = dominancia relativa de la especie i

D_i = suma de las áreas de copa (m^2) para la especie i (área total de las parcelas cubierta por la especie i)

$\sum D_i$ = totalidad de coberturas.

Frecuencia relativa

Se calculó con la siguiente ecuación (Magurran, 2004):

$$FRi = \left(\frac{f_i}{\sum_1^n f_i} \right) * 100$$

$$f_i = \frac{j_i}{k}$$

Donde:

FRi = frecuencia relativa de la especie i .

f_i = frecuencia de la especie i .

j_i = número de parcelas en la que está presente la especie i .

k = número total de parcelas.

Índice de Valor de Importancia

Utilizando los valores de abundancia relativa (de acuerdo al número de individuos presentes en la parcela), la dominancia relativa (en función al espacio ocupado por la copa de los individuos) y la frecuencia relativa (con base en la presencia), se obtuvo el valor ponderado al nivel de especie, el cual se conoce como índice de valor de importancia (IVI) y que adquiere valores que van del 0 % al 100 %. Se calculó mediante (Alanís-Rodríguez y col., 2020):

$$IVI_i = \frac{\sum_1^n i(AR_i, DR_i, FR_i)}{3}$$

IVI_i = Valor de Importancia de la especie i .

Índice de entropía de Shannon (H')

Permite determinar la diversidad. Se basa en la distribución proporcional de la abundancia de cada una de las especies (Magurran, 2004).

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln(p_i)$$

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Weiner.

S = número de especies presentes.

N = número total de individuos.

p_i = abundancia proporcional de la i ésima especie.

n_i = número de individuos de la especie i .

Índice de diversidad verdadera de Shannon (1D)

A partir del H' se genera el índice de diversidad verdadera de Shannon (1D) (Jost, 2006):

$${}^1D = \exp(H')$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Weiner.

1D = índice de diversidad verdadera de Shannon.

Identificación de las especies

Se tomaron muestras botánicas, las cuales se examinaron en laboratorio con la ayuda de claves taxonómicas, como las de Arias y Aquino (2019). La lista obtenida se contrastó con la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2022), para verificar la presencia de especies endémicas o bajo estatus de protección.

RESULTADOS

Se registraron 31 familias, 61 géneros y 70 especies de plantas vasculares, incluyendo un pasto introducido (*Setaria viridis* (L.) P. Beauv.) (Tabla 1).

La mayoría de las especies son de amplia distribución, en general, aunque una especie (*Galactia brachystachys* Benth.) es endémica de México (EM). Un número importante de especies (20) se encuentran bajo algún estatus de protección de acuerdo con la lista roja de especies amenazadas de la IUCN (2022): *Agave havardiana* Trel. con la categoría de vulnerable (VU) y 19 más catalogadas como de preocupación menor (LC), entre las que destacan 5 cactáceas (Tabla 1).

La familia con mayor número de especies fue Fabaceae con 11, seguida por Asteraceae con 10 y Asparagaceae y Cactaceae con 5. El género con mayor número de especies fue *Acacia* con 5 especies, mientras que *Agave*, *Bouteloua*, *Opuntia*, *Salvia* y *Viguiera* contaron con 2 especies cada uno. De acuerdo con la forma biológica y de vida, 34 son árboles o arbustos (48 %), 25 hierbas (36 %), 9 suculentas (13 %) y 2 trepadoras (3 %) (Tabla 1).

Las Figuras 3 y 4 muestran la distribución de los 1 611 individuos evaluados, de acuerdo con las clases de altura y su distribución por clases diamétricas de copa, respectivamente. En ambos casos, se observa una línea de tendencia exponencial negativa en el número de individuos, conforme aumentan los valores de la altura y diámetros de copa, respectivamente. Los individuos con mayor representación (aproximadamente un 64 % de los individuos)

■ **Tabla 1. Lista florística, forma biológica o de vida, estatus de protección y endemismo.**
 Table 1. Floristic list, biological or life form, protection status and endemism.

Especie	Familia	Forma biológica/ de vida	Estatus de protección y endemismo
<i>Abutilon malacum</i> S. Watson	Malvaceae	Hierba	
<i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze	Fabaceae	Arbusto	
<i>Acacia constricta</i> Benth.	Fabaceae	Arbusto	
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Fabaceae	Arbusto	
<i>Acacia greggii</i> A. Gray	Fabaceae	Árbol	
<i>Acacia roemeriana</i> Scheele	Fabaceae	Arbusto	
<i>Acourtia wrightii</i> (A. Gray) Reveal & R.M. King	Asteraceae	Hierba	
<i>Agave havardiana</i> Trel.	Asparagaceae	Suculenta	VU
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Asparagaceae	Suculenta	LC
<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook.) Tronc.	Verbenaceae	Arbusto	
<i>Artemisia ludoviciana</i> Nutt.	Asteraceae	Hierba	
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.	Amaranthaceae	Hierba	
<i>Bidens</i> sp.	Asteraceae	Hierba	
<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	Poaceae	Hierba	
<i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Griffiths	Poaceae	Hierba	LC
<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltldl.	Rubiaceae	Hierba	
<i>Carlwrightia linearifolia</i> (Torr.) A. Gray	Acanthaceae	Hierba	
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Cannabaceae	Arbusto	
<i>Commelina dianthifolia</i> Delile	Commelinaceae	Hierba	
<i>Condalia ericoides</i> (A. Gray) M.C. Johnst.	Rhamnaceae	Arbusto	
<i>Croton pottsii</i> (Klotzsch) Müll. Arg.	Euphorbiaceae	Hierba	
<i>Cynanchum barbigerum</i> (Scheele) Shinnery	Apocynaceae	Trepadora	
<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Fabaceae	Arbusto	LC
<i>Dasylirion texanum</i> Scheele	Asparagaceae	Arbusto	
<i>Diospyros texana</i> Scheele	Ebenaceae	Árbol	
<i>Echinocactus texensis</i> Hopffer	Cactaceae	Suculenta	LC
<i>Echinocereus pectinatus</i> (Scheidw.) Engelm.	Cactaceae	Suculenta	LC
<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc.	Euphorbiaceae	Suculenta	LC
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele	Fabaceae	Arbusto	LC
<i>Flourensia cernua</i> DC.	Asteraceae	Arbusto	
<i>Fouquieria splendens</i> Engelm.	Fouquieriaceae	Arbusto	
<i>Galactia brachystachys</i> Benth.	Fabaceae	Trepadora	EM
<i>Pseudognaphalium canescens</i> (DC.) Anderb.	Asteraceae	Hierba	
<i>Guaiacum angustifolium</i> Engelm.	Zygophyllaceae	Arbusto	
<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less.	Asteraceae	Hierba	
<i>Hechtia texensis</i> S. Watson	Bromeliaceae	Suculenta	
<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray ex Hemsl.) Benth.	Rutaceae	Arbusto	LC
<i>Heteropogon contortus</i> (L.) P. Beauv.	Poaceae	Hierba	
<i>Jatropha dioica</i> Sessé ex Cerv.	Euphorbiaceae	Arbusto	LC
<i>Jefea brevifolia</i> (A. Gray) Strother	Asteraceae	Hierba	
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Rhamnaceae	Arbusto	LC

continúa...

<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	Koeberliniaceae	Arbusto	LC
<i>Krameria lanceolata</i> Torr.	Krameriaceae	Arbusto	
<i>Lantana macropoda</i> Torr.	Verbenaceae	Arbusto	
<i>Larrea tridentata</i> (DC.) Coville	Zygophyllaceae	Arbusto	
<i>Lespedeza virginica</i> (L.) Britton	Fabaceae	Arbusto	
<i>Leucaena retusa</i> Benth.	Fabaceae	Árbol	LC
<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	Scrophulariaceae	Arbusto	
<i>Mammillaria heyderi</i> Muehlenpf.	Cactaceae	Suculenta	LC
<i>Mimosa aculeaticarpa</i> Ortega	Fabaceae	Arbusto	LC
<i>Mirabilis multiflora</i> (Torr.) A. Gray	Nyctaginaceae	Hierba	
<i>Nolina</i> sp.	Asparagaceae	Arbusto	
<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck ex Engelm.	Cactaceae	Suculenta	LC
<i>Opuntia rufida</i> Engelm.	Cactaceae	Suculenta	LC
<i>Parthenium incanum</i> Kunth	Asteraceae	Arbusto	
<i>Pennellia longifolia</i> (Benth.) Rollins	Brassicaceae	Hierba	
<i>Quercus pungens</i> Liebm.	Fagaceae	Árbol	LC
<i>Rhus virens</i> Lindh. ex A. Gray	Anacardiaceae	Arbusto	LC
<i>Salvia hispanica</i> L.	Lamiaceae	Hierba	
<i>Salvia</i> sp.	Lamiaceae	Hierba	
<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.*	Poaceae	Hierba	
<i>Siphonoglossa pilosella</i> (Nees) Torr.	Acanthaceae	Hierba	
<i>Sphaeralcea coccinea</i> (Nutt.) Rydb.	Malvaceae	Hierba	
<i>Talinum paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn.	Talinaceae	Hierba	
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Bignoniaceae	Arbusto	LC
<i>Tiquilia greggii</i> (Torr. & A. Gray) A.T. Richardson	Ehretiaceae	Hierba	
<i>Viguiera annua</i> (M.E. Jones) S.F. Blake	Asteraceae	Hierba	
<i>Viguiera stenoloba</i> S.F. Blake	Asteraceae	Arbusto	
<i>Yucca</i> sp.	Asparagaceae	Arbusto	
<i>Ziziphus obtusifolia</i> (Hook. ex Torr. & A. Gray) A. Gray	Rhamnaceae	Arbusto	

*Especie introducida, EM = Endémica de México, LC = Preocupación menor, VU = Vulnerable.

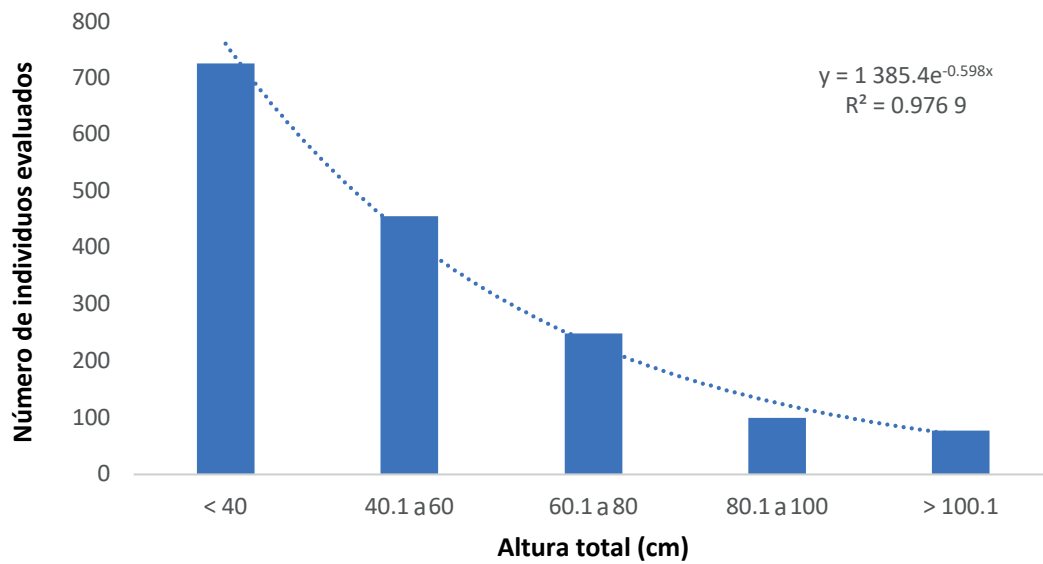
registraron dimensiones inferiores a los 40 cm y diámetro de copa menores a 50 cm. En la Tabla 2 se muestra la altura promedio de cada especie.

Las 5 especies con mayores valores de importancia fueron la suculenta *Agave lechuguilla*, el arbusto *Viguiera stenoloba* S.F. Blake, la suculenta *Opuntia engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm. y los arbustos *Fouquieria splendens* Engelm. y *Parthenium incanum* Kunth (Figura 5), las cuales en conjunto sumaron el 39.31 % (Tabla 2). *Agave lechuguilla* destaca por su alta abundancia relativa, tendiendo la presencia de casi una cuarta parte de los individuos en la comunidad vegetal (24.11 %).

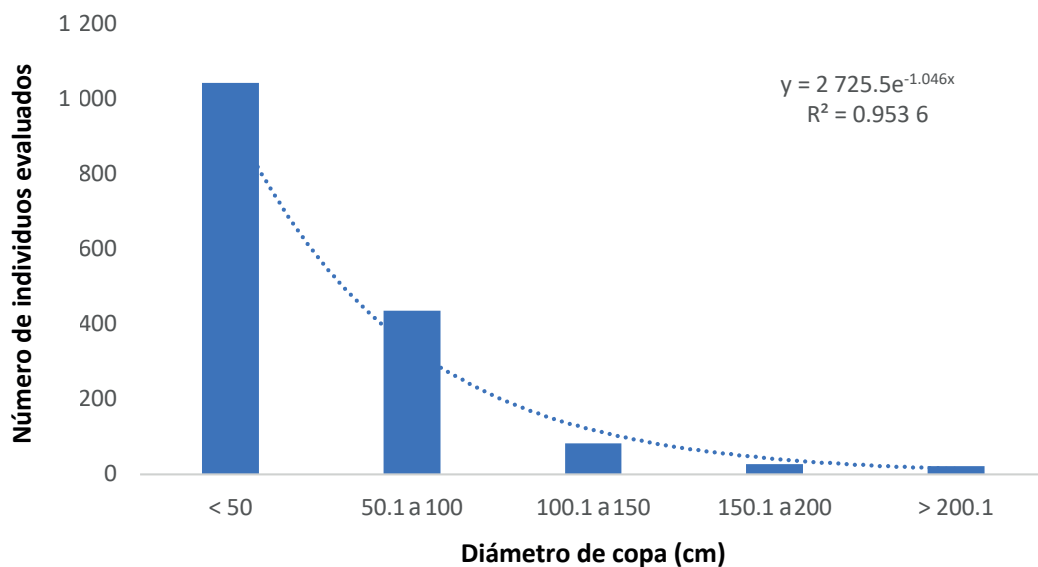
De acuerdo con el análisis de diversidad, la comunidad vegetal analizada presentó una riqueza de 70 especies, un índice de entropía de Shannon (H') de 3.13 y un índice de diversidad verdadera de Shannon (1D) de 22.87.

DISCUSIÓN

El APFF Maderas del Carmen constituye, desde su creación, un reservorio de flora endémica o bajo estatus de protección en Coahuila, además, se considera una región importante para la conservación y reproducción del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana* Merriam, 1901), especie de fauna silvestre que ha sido reintroducida (Velázquez, 2012; SEMARNAT-CONANP, 2013). El matorral rosetófilo estudia-



■ **Figura 3. Distribución de clases de altura.**
 Figure 3. Distribution of height classes.



■ **Figura 4. Distribución de clases diamétricas de copa.**
 Figure 4. Distribution of crown diameter classes.

do abarca el 2.2 % de la flora reportada para el estado de Coahuila (Villarreal-Quintanilla y Encina-Domínguez, 2018). La lista florística registrada indica que, con excepción de una especie, el resto son nativas y el 28.57 % son de interés para la conservación, ya que se incluyen plantas vulnerables y de preocupación menor (IUCN, 2022). Entre estas especies es importante mencionar a los magüeyes *Agave lechu-*

guilla (con alta abundancia) y *A. havardiana* (con baja abundancia), además de cactáceas de los géneros *Echinocactus*, *Echinocereus*, *Mammillaria* y *Opuntia*, que son propios del Desierto Chihuahuense (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). La relevancia de la vegetación de esa área, radica en que los arbustos dominantes en los matorrales presentes, representan un buen hábitat y la base de la dieta del borrego cima-

■ **Tabla 2.** Altura, abundancia, cobertura, frecuencia e índice de valor de importancia (IVI) de las especies registradas en el área de estudio.

Table 2. Height, abundance, dominance, frequency, and importance value index (IVI) of the species recorded in the study area.

Especie	Altura media (m)	Abundancia relativa (%)	Dominancia relativa (%)	Frecuencia relativa (%)	Índice de valor de importancia (%)
<i>Agave lechuguilla</i>	0.32	24.11	5.63	7.48	12.41
<i>Viguiera stenoloba</i>	0.66	7.51	6.71	9.35	7.86
<i>Opuntia engelmannii</i>	0.51	2.21	13.07	5.30	6.86
<i>Fouquieria splendens</i>	1.48	1.34	15.51	3.43	6.76
<i>Parthenium incanum</i>	0.64	6.06	5.83	4.36	5.42
<i>Bouteloua gracilis</i>	0.38	6.12	3.99	3.12	4.41
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	0.51	8.50	1.31	1.87	3.89
<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	0.50	4.48	3.31	3.12	3.64
<i>Krameria lanceolata</i>	0.51	2.45	2.77	4.05	3.09
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	0.81	1.11	4.89	2.18	2.72
<i>Acacia constricta</i>	1.44	0.47	5.79	1.56	2.61
<i>Hechtia texensis</i>	0.23	4.37	1.24	1.25	2.28
<i>Acacia roemeriana</i>	0.48	2.33	1.42	2.80	2.19
<i>Dasylirion texanum</i>	0.84	0.99	1.97	3.12	2.03
<i>Salvia hispanica</i>	0.71	1.46	1.23	3.12	1.93
<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.50	2.39	1.44	1.87	1.90
<i>Galactia brachystachys</i>	0.38	2.45	0.79	2.18	1.80
<i>Opuntia rufida</i>	0.72	0.76	1.18	2.49	1.48
<i>Lantana macropoda</i>	0.45	1.28	2.15	0.93	1.46
<i>Acacia greggii</i>	0.54	1.16	1.64	1.56	1.45
<i>Acacia angustissima</i>	0.29	1.69	0.64	1.56	1.30
<i>Leucaena retusa</i>	0.83	0.93	1.30	1.25	1.16
<i>Leucophyllum frutescens</i>	0.59	1.34	1.17	0.93	1.15
<i>Jatropha dioica</i>	0.44	1.28	0.15	1.56	1.00
<i>Acacia farnesiana</i>	1.53	0.17	2.07	0.62	0.96
<i>Rhus virens</i>	1.71	0.12	2.09	0.62	0.94
<i>Heteropogon contortus</i>	0.41	1.28	0.23	1.25	0.92
<i>Guaiacum angustifolium</i>	0.54	0.76	0.72	1.25	0.91
<i>Talinum paniculatum</i>	0.41	1.11	0.30	1.25	0.88
<i>Setaria viridis</i>	0.34	1.16	0.47	0.93	0.86
<i>Atriplex canescens</i>	0.89	0.35	1.16	0.93	0.81
<i>Eysenhardtia texana</i>	1.09	0.41	1.10	0.93	0.81
<i>Cynanchum barbigerum</i>	0.45	0.35	0.11	1.87	0.78
<i>Aloysia gratissima</i>	1.33	0.23	1.24	0.62	0.70
<i>Echinocactus texensis</i>	0.28	0.58	0.22	1.25	0.68
<i>Abutilon malacum</i>	0.47	0.52	0.21	1.25	0.66
<i>Acourtia wrightii</i>	0.42	0.64	0.13	0.93	0.57
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	0.78	0.23	0.27	0.93	0.48
<i>Commelina dianthifolia</i>	0.20	0.41	0.04	0.93	0.46

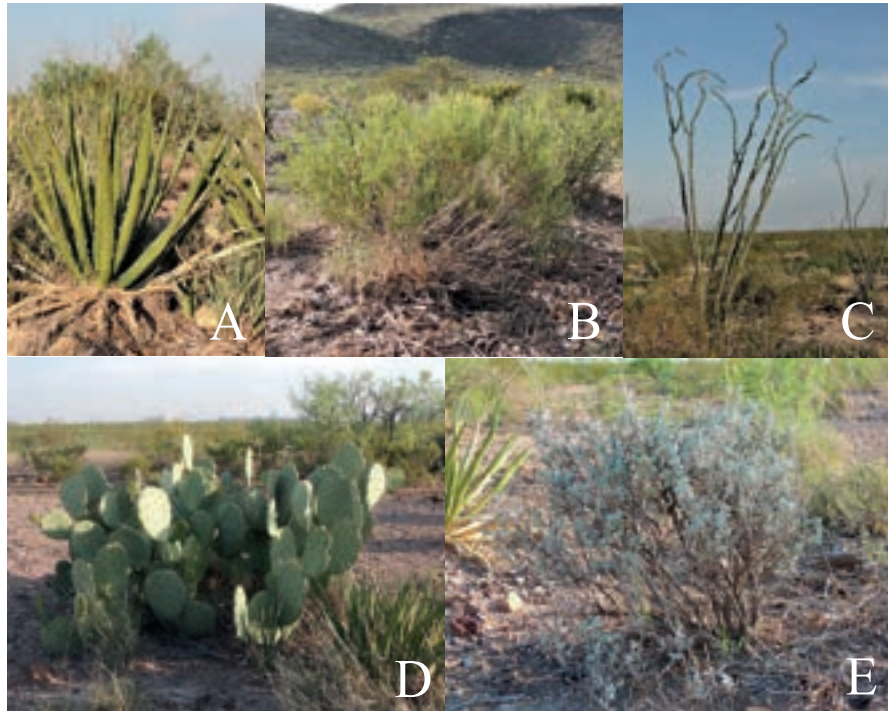
continúa...

<i>Tecoma stans</i>	0.59	0.23	0.19	0.93	0.45
<i>Koerberlinia spinosa</i>	0.76	0.29	0.42	0.62	0.44
<i>Condalia ericoides</i>	0.93	0.23	0.43	0.62	0.43
<i>Bouvardia ternifolia</i>	0.44	0.23	0.09	0.93	0.42
<i>Carlowrightia linearifolia</i>	0.25	0.52	0.06	0.62	0.40
<i>Bidens</i> sp.	0.54	0.17	0.36	0.62	0.39
<i>Celtis pallida</i>	1.19	0.12	0.65	0.31	0.36
<i>Yucca</i> sp.	1.44	0.23	0.23	0.62	0.36
<i>Mirabilis multiflora</i>	0.36	0.29	0.12	0.62	0.34
<i>Pseudognaphalium canescens</i>	0.32	0.35	0.01	0.62	0.33
<i>Agave havardiana</i>	0.41	0.17	0.08	0.62	0.29
<i>Nolina</i> sp.	1.32	0.06	0.51	0.31	0.29
<i>Helietta parvifolia</i>	2.77	0.06	0.45	0.31	0.27
<i>Sphaeralcea coccinea</i>	0.52	0.17	0.02	0.62	0.27
<i>Artemisia ludoviciana</i>	0.36	0.12	0.02	0.62	0.25
<i>Diospyros texana</i>	0.56	0.29	0.12	0.31	0.24
<i>Ziziphus obtusifolia</i>	0.93	0.17	0.23	0.31	0.24
<i>Jefea brevifolia</i>	0.66	0.23	0.14	0.31	0.23
<i>Quercus pungens</i>	0.72	0.12	0.19	0.31	0.21
<i>Viguiera annua</i>	0.59	0.12	0.03	0.31	0.15
<i>Siphonoglossa pilosella</i>	0.18	0.12	0.01	0.31	0.14
<i>Lespedeza virginica</i>	0.55	0.06	0.05	0.31	0.14
<i>Flourensia cernua</i>	0.64	0.06	0.04	0.31	0.14
<i>Tiquilia greggii</i>	0.48	0.06	0.04	0.31	0.14
<i>Salvia</i> sp.	0.40	0.06	0.03	0.31	0.13
<i>Dalea bicolor</i>	0.22	0.06	0.01	0.31	0.13
<i>Larrea tridentata</i>	0.27	0.06	0.01	0.31	0.13
<i>Croton pottsii</i>	0.27	0.06	0.00	0.31	0.12
<i>Pennellia longifolia</i>	0.37	0.06	0.01	0.31	0.12
<i>Echinocereus pectinatus</i>	0.14	0.06	0.00	0.31	0.12
<i>Mammillaria heyderi</i>	0.15	0.06	0.00	0.31	0.12
Promedio/Suma	0.64	100	100	100	100

rrón como lo indica una investigación realizada para la misma ecorregión (Desierto Chihuahuense), en el estado de Texas, EEUU (Brewer y Harveson, 2007). De hecho, las especies de plantas más importantes reportadas por dichos autores coinciden con algunas de las citadas en este trabajo como *Sphaeralcea coccinea* (Nutt.) Rydb., *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., *Krameria lanceolata* Torr., *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, *Opuntia* sp. y *Euphorbia* sp.

Las familias mejor representadas fueron Fabaceae, Asteraceae, Asparagaceae y Cactaceae,

lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Medina-Guillén y col. (2017) y Encina-Domínguez y col. (2020). Estas familias son las que registran mayor riqueza de géneros y especies en el norte de México (González-Elizondo y col., 2017), además de las representativas del matorral xerófilo (Rzedowski, 2006). Se ha documentado que, tanto *Acacia* como *Agave* y *Opuntia* son géneros característicos de los matorrales de zonas áridas del país (Mata-Balderas y col., 2014; Hernández y col., 2020; Reyna-González y col., 2021). Por otra parte, fue evidente que los elementos leñosos (es-



■ Figura 5. Especies con mayor índice de valor de importancia: A = *Agave lechuguilla*, B = *Viguiera stenoloba*, C = *Fouquieria splendens*, D = *Opuntia engelmannii* y E = *Parthenium incanum*.

Figure 5. Species with higher importance value: A = *Agave lechuguilla*, B = *Viguiera stenoloba*, C = *Fouquieria splendens*, D = *Opuntia engelmannii* and E = *Parthenium incanum*.

pecialmente los arbustos) son más abundantes que otras formas biológicas o de vida, como ya antes se ha mencionado para el Desierto Chihuahuense (Granados-Sánchez y col., 2011).

La tendencia exponencial negativa en el número de individuos que se observan en las Figuras 3 y 4, ha sido documentada en otros matorrales xerófilos del noreste de México (Jiménez-Pérez y col., 2012; Pequeño-Ledezma y col., 2012; Mora-Donjuán y col., 2013) y puede deberse a que los matorrales están compuestos por un alto número de individuos de dimensiones bajas, muchos de ellos de tipo rosetófilo como *Agave lechuguilla*. De hecho, esta especie sobresale del resto de las reportadas, con valores de IVI más altos, debido principalmente a su abundancia.

Se han documentado las características fisiológicas de *Agave lechuguilla* que le permiten dominar grandes áreas, entre las que destacan

ser una planta monocárpica polianual con alta competencia intraespecífica (llega alcanzar densidades que van de los 21 000 individuos/ha a 28 000 individuos/ha), así como, interespecífica, lo que la hace sobresalir entre las especies dominantes en el matorral desértico rosetófilo (Reyes-Agüero y col., 2000). Esta especie ha sido reportada por otros autores como la más representativa de matorral rosetófilo del norte de Coahuila (Granados-Sánchez y col., 2011). *Fouquieria splendens*, la de mayor dominancia en el área evaluada, es una especie característica de las zonas áridas de México. Presenta una gran variedad morfológica dependiendo las características del hábitat donde se encuentre (Molina-Guerra y col., 2017). *Viguiera stenoloba* fue la segunda especie con mayor IVI y la de mayor frecuencia en los sitios de muestreo. Es un arbusto de importancia ecológica en la comunidad y su valor de importancia fue similar al registrado en el estudio de Mata-Balderas y col. (2014).

El valor de riqueza de las especies en este estudio es alto, comparado con el de Mata-Balderas y col. (2014) y Alanís-Rodríguez y col. (2015), quienes registraron solo 53 especies en matorrales rosetófilos del norte de Nuevo León.

Alanís-Rodríguez y col. (2020) mencionaron que, el índice de Shannon adquiere valores cercanos a cero cuando las comunidades vegetales están conformadas por un número reducido de especies y de 6.00 cuando estas son muy abundantes (> 130). También indicaron que la diversidad es baja si es inferior a 2.00 y media-alta cuando es superior a 3.00. En esta investigación el valor de H' fue de 3.13, por lo que se ubica en la categoría media-alta, similar a los datos registrados por Mata-Balderas y col. (2014) y Alanís-Rodríguez y col. (2015) para este mismo tipo de ecosistema. Sin embargo, los valores son mayores a los registrados en comunidades vegetales maduras de tres matorrales del noreste de México, desértico micrófilo, desértico rosetófilo y submontano, que reportaron valores de entropía de Shannon de 1.90, 1.89 y 1.88, respectivamente, y de 1D de 6.68, 6.61 y 6.55, respectivamente (Mata-Balderas y col., 2014). La diferencia con esos estudios puede deberse a ser diferentes ecosistemas, ya que este trabajo está ubicado en una latitud y altitud mayores (1 400 m a 2 000 m), con temperaturas más bajas y laderas pronunciadas, con suelos de tipo xerosol y regosol (SEMARNAT-CONANP, 2013).

Es conveniente destacar que, se encontraron diferencias importantes entre los resultados de este estudio con el de Medina-Guillén y col. (2017), realizado en la misma área natural pro-

tegida y para el mismo tipo de vegetación. En dicha investigación, los autores reportaron haber encontrado solo 21 especies y valores H' entre 1.305 y 1.903. La diferencia entre ambos estudios puede obedecer a las condiciones ecológicas presentes en los sitios estudiados al momento de realizar el trabajo de campo, asociadas en este último con actividades antropogénicas, debido a que se tiene un historial de incendios y sobrepastoreo en el área, lo cual probablemente influyó en la riqueza y composición de las especies presentes.

CONCLUSIONES

El matorral rosetófilo del Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) de Maderas del Carmen estudiado tiene una diversidad media-alta. Los valores obtenidos de composición florística y diversidad reflejan el estado ecológico del área, lo que servirá como línea base para futuros estudios en materia de conservación y manejo, especialmente para conocer con mayor detalle la dinámica poblacional de las especies endémicas y bajo estatus de protección, además del hábitat para la fauna silvestre presente el APFF Maderas del Carmen. El trabajo reveló uno de los matorrales rosetófilos mejor representados por *Agave lechuguilla* en el APFF Maderas del Carmen, la cual es un refugio para una especie vegetal vulnerable, para 19 de preocupación menor y para una catalogada como endémica de México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CEMEX-Reserva Natural El Carmen, por todo el apoyo brindado durante la realización de este estudio.

REFERENCIAS

- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Yerena-Yamallel, J. I., Martínez-Avalos, J. G. y González-Rodríguez, L. E. (2015). Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Botanica Mexicana*. 110: 105-117.
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A. y Marroquín-de-la-Fuente, J. S. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Monterrey: Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 249 Pp.
- Arias, S. y D. Aquino. (2019). *Familia Cactaceae I. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 209*. Pátzcuaro: Instituto de Ecología, A.C. 243 Pp.
- Brewer, C. E. and Harveson, L. A. (2007). Diets of

bighorn sheep in the Chihuahuan desert, Texas. *The Southwestern Naturalist*. 52(1):97-103.

Encina-Domínguez, J. A., Arévalo-Sierra, J. R., Villarreal-Quintanilla, J. A. y Estrada-Castillón, E. (2020). Composición, estructura y riqueza de plantas vasculares del matorral xerófilo en el norte de Coahuila, México. *Botanical Sciences*. 98(1): 1-15.

Encina-Domínguez, J. A., Meave, J. A., and Zárate-Lupercio, A. (2013). Structure and woody species diversity of the *Dasyliirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of central and southern Coahuila State, Mexico. *Botanical Sciences*. 91(3): 335-347.

Encina-Domínguez, J. A., Valdés-Reyna, J. y Villarreal-Quintanilla, J. A. (2018). Tipos de vegetación y comunidades vegetales. En A. Cruz-Angón, K. C. Nájera-Cordero y E. Canales-Gutiérrez (Eds.), *La biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado* (pp. 89-110). México: CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza.

García-Aranda, M. A., Moreno-Talamantes, A., Sánchez-Salas, J., Muro-Pérez, G., González-Urbe, D. U. y Delgadillo-Villalobos, J. A. (2022). Conservación de la cobertura vegetal en Maderas del Carmen Coahuila, análisis multitemporal con índice SAVI. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 13(71): 53-75.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., López-Enríquez, I. L., Tena-Flores, J. A., González-Gallegos, J. G., Ruacho-González, L., ... y Estrada-Castillón, A. E. (2017). Diagnóstico del conocimiento taxonómico y florístico de las plantas vasculares del norte de México. *Botanical Sciences*. 95(4): 760-779.

Gotelli, N. J. and Colwell, R. K. (2011). Biological diversity: frontiers in measurement and assessment. In A. E. Magurran and B. J. McGill (Eds.), *Estimating species richness* (pp. 39-54). Oxford: OUP.

Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R. L. y Borja-de-la-Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17: 111-130.

Hernández, H. M., Ricker, M., Rodríguez-Rivera, S., Castillo-Santiago, M. A., Hernández-Juárez, R. A. y Hernández, D. (2020). *Atlas de las leguminosas arbóreas de México: clado mimosoide*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Petróleos Mexicanos. 417 Pp.

Huerta-Martínez, F. M. y García-Moya, E. (2004). Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México: implicaciones para la conservación. *Interciencia*. 29(8): 431-441.

Huisling, E. J., Coe, R., Cares, J. E., Louzada, J. N., Zanetti, R., Moreira, F. M. S., ... y Huang, S., P. (2012). Diseño y estrategias de muestreo para la evaluación de la biodiversidad del suelo. En F. Moreira, E. J. Huisling y D. E. Bignell (Eds). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. México: Instituto Nacional de Ecología. 337 Pp.

IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. [En línea]. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org>. Fecha de consulta: 4 de junio de 2022.

Jiménez-Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., Ruiz-González, J. L., González-Tagle, M. A., Yerena-Yamallel, J. I. y Alanís-Flores, G. J. (2012). Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*. 15(2): 66-71.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*. 113(2): 363-375.

Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell, Oxford. 215 Pp.

Martorell, C. and Ezcurra, E. (2002). Rosette scrub occurrence and fog availability in arid mountains of Mexico. *Journal of Vegetation Science*. 13: 651-662.

Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E. y Mora-Olivo A. (2015). Estructura y composición florística del matorral desértico rosetófilo del Noreste de México. *Ciencia UANL*. 18(75): 67-74.

Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., Valdecantos, A., Jiménez, J., Aguirre, O. A., Alanís, E. y Foroughbackhch, R. (2014). Diversidad y composición vegetal de matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1(3): 3-15.

Medina-Guillén, R., Cantú-Silva, I., Estrada-Castillón, E., González-Rodríguez, H. y Delgadillo-Villalobos, J. A. (2017). Estructura y diversidad del matorral desértico rosetófilo rehabilitado con rodillo aireador, Coahuila, México. *Polibotánica*. (44): 95-107.

Molina-Guerra, V. M., Cervantes-Balderas, J. M., Soto-Mata, B., Alanís-Rodríguez, E., Marroquín-Castillo, J. J. y Sarmiento-Muñoz, T. I. (2017). Composición y estructura del matorral desértico rosetófilo del sureste de Coahuila, México. *Polibotánica*. (44): 67-77.

Mora-Donjuán, C. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Yerena-Yamallel, J. I. y Cuellar-Rodríguez, L. G. (2013). Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada* 12(1): 29-34.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 84(922495): 2.

Pequeño-Ledezma, M. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Yerena-Yamallel, J. I., Cuellar-Rodríguez, L. G. y Mora-Olivo, A. (2012). Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Ciencia UAT*. 24(2): 48-53.

Reyes-Agüero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R. y Peña-Valdivia, C. B. (2000). Biología y aprovechamiento de Agave lechuguilla Torrey. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 67: 75-88.

Reyna-González, Á. M., Soto-Borrego, P. S., Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V. M. y Collantes-Chávez-Costa, A. (2021). Estructura y diversidad del matorral xerófilo en el noreste de México. *Polibotánica*. (51):107-122.

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1era. Edición digital. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad 7. [En línea]. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxPort.pdf>. Fecha de consulta: 12 de octubre de 2021.

SEMARNAT-CONANP, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2013). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 151 Pp.

Velázquez, R. (2012). Evaluación poblacional y del hábitat de un grupo de borregos cimarrones (*Ovis canadensis mexicana* Merriam, 1901), translocado en la Sierra Maderas del Carmen, Coahuila, México. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/3405/1/1080224746.pdf>. Fecha de consulta: 11 de diciembre de 2021.

Villarreal-Quintanilla, J. A. y Encina-Domínguez, J. (2018). Plantas endémicas y listadas en categorías de protección. En A. Cruz-Angón, K. C. Nájera-Cordero y E. Canales-Gutiérrez (Eds.), *La biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado* (pp. 199-204). México: CONABIO /Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza.

Zavala-Hurtado, J. A. y Jiménez, M. (2020). Diversity and uniqueness at its best: Vegetation of the Chihuahuan Desert. In M. C. Mandujano, I. Pisanty, and L. E. Eguiarte (Eds.), *Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert* (pp. 1-17). Cham: Springer.

Zúñiga-Ramos, M. (1991). Caracterización biológica de sierra maderas del carmen, Coahuila, México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. México Ser. Zool.* 62(2): 373-382.



Imágenes de: Canva educativo

Inequidades en el acceso a la atención de la salud materna: una mirada con perspectiva de género

Inequities in access to maternal health care: a look with a gender perspective

Elsa María Rodríguez-Angulo*, Yolanda Oliva-Peña, Guadalupe Andueza-Pech

RESUMEN

Las inequidades de género y de salud, como la violencia en el embarazo y la falta de acceso a cuidados médicos, ponen en riesgo a las mujeres cuando buscan ayuda en sus comunidades y tienen que ser trasladadas hasta llegar al hospital. Los motivos por los que esto sucede pueden ser estudiados bajo el modelo de las tres demoras, que implican el tiempo requerido para, a) tomar una decisión de búsqueda de atención, b) acceder a un sitio donde obtenerla, y c) conseguir la asistencia médica requerida. El objetivo de este trabajo fue describir inequidades de género y de acceso a la atención de la salud de las mujeres embarazadas de comunidades rurales de Yucatán, México. Se realizó un estudio descriptivo, retrospectivo, transversal. Se entrevistaron 247 embarazadas, de las cuales, 29.2 % presentaron la primera demora, 17.8 % la segunda y 53.0 % la tercera. Se refirieron 421 obstáculos como barreras que llevaron a demoras. El mayor número de obstáculos (253) correspondieron a la tercera demora, donde destacaron el tratamiento médico inadecuado e inoportuno y la falta de criterios médicos para ingreso (52.7 % y 43.5 %, respectivamente). La primera y segunda demora registraron incidencias de morbilidad de 61.1 % y 59.1 %, respectivamente. La incidencia de la tercera fue de 76.3 % y fue significativamente ($P < 0.05$) superior a las otras dos. La violencia económica estuvo presente en 53 % de los casos. Es fundamental reorganizar el sistema de salud materna para reducir las barreras que causan demoras en la atención, sobre todo en la tercera demora, que está relacionada con la calidad del servicio.

PALABRAS CLAVE: inequidad, acceso, género, demoras, salud materna.

ABSTRACT

Gender and health inequities, such as violence during pregnancy and lack of access to health care, put women at risk when they seek help in their communities and must be transferred to hospitals. The reasons why this happens can be studied under the three delays model, which implies the time required to a) make a decision to seek care, b) access a place to get it, and c) obtain the required medical attention. The objective of this study was to describe gender and health care access inequities observed in the maternal care process for women in rural communities of Yucatan, Mexico. A descriptive, retrospective, cross-sectional study was carried out. 247 pregnant women were interviewed, of which 29.2 % presented the first delay, 17.8 % the second and 53.0 % the third. 421 obstacles were referred to as barriers that led to delays. The highest percentage of obstacles (253) corresponded to the third delay, where inadequate and untimely medical treatment, and the lack of medical criteria for admission played a prominent role (52.7 % and 43.5 %, respectively). The first and second delay registered morbidity incidences of 61.1 % and 59.1 %, respectively. The incidence of the third was 76.3 % and was significantly ($P < 0.05$) higher than the other two. Economic violence was present in 53 % of the cases. The reorganization of the maternal health system is essential to reduce the barriers that cause delays in health care, specially the third delay, which is related to the quality of care.

KEYWORDS: inequality, access, gender, delays, maternal health.

*Correspondencia: rangulo@correo.uady.mx/Fecha de recepción: 8 de agosto de 2021/Fecha de aceptación: 20 de enero de 2023/Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Universidad Autónoma de Yucatán, Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", calle 59 núm. 490 por Av. Itzaes, colonia Centro, Mérida, Yucatán, México, C. P. 97219.

INTRODUCCIÓN

Las inequidades en salud son diferencias sistemáticas, evitables e injustas, entre las poblaciones (Churchill y col., 2021), que persisten en la mayoría de los países de Latinoamérica y afectan significativamente a personas que viven en condiciones de mayor vulnerabilidad, como las que se encuentran en situaciones de pobreza, aquellas que pertenecen a un grupo étnico y mujeres embarazadas, particularmente, quienes habitan en comunidades rurales. Marginalizan a las mujeres con menos poder social, e incrementan las oportunidades de grupos con mayor poder social (PAHO, 2017a). Adicionalmente, las mujeres se enfrentan a diversas inequidades de género, entre ellas, la violencia intrafamiliar, que se vuelve crítica en el embarazo (Nievas y col., 2021).

Entre las inequidades de salud que contribuyen a la mortalidad materna se encuentran las de tipo estructural, que tienen que ver con el sistema de salud, sus recursos y su correcta distribución (PAHO, 2017b); y que se exacerban por la falta de capacidad para resolver las acciones, incluso básicas, de atención a la salud materna. Estas inequidades conducen a barreras que causan demoras en la prestación del servicio médico de la mujer embarazada, así como en la calidad de la misma con un consecuente incremento en el riesgo de complicaciones y/o morbilidades y de la tasa de mortalidad (PAHO, 2020; Churchill y col., 2021).

Las inequidades de salud en las embarazadas pueden ser estudiadas a través del modelo de las tres demoras, desarrollado por Thaddeus y Maine (1994), en decidir buscar ayuda, cuando se requiere la atención (demora 1); en alcanzar un servicio de salud (demora 2) y; en recibir una atención oportuna y de calidad al llegar al hospital (demora 3).

Se han encontrado barreras que causan demoras o retrasos cuando las mujeres buscan ayuda para su atención, así como, bajo poder de las mujeres para la toma de decisiones, por estar expuestas a violencia en el embarazo. La mayoría de estos estudios, realizados en emba-

razadas, siguiendo la metodología del modelo de las tres demoras, han sido de corte cualitativo, y han podido proporcionar información de las barreras que se presentan durante el proceso de búsqueda de asistencia médica de las mujeres, cuando tienen alguna complicación durante el embarazo y/o morbilidad (Globevnik y col., 2018; Actis y col., 2020; Dickson, 2021). Entre las barreras que causan demoras en la atención, están la falta de reconocimiento a tiempo de la complicación y la falta de apoyo del esposo o familiar al ser trasladadas desde su comunidad a una clínica u hospital, incluso durante un proceso de parto normal (Kaiser y col., 2019). Estas situaciones se relacionan con la primera y segunda demora, respectivamente. Sin embargo, la tercera demora, que tiene que ver con cómo es atendida la mujer cuando llega al hospital, ha sido muy poco estudiada; y son escasas las investigaciones sobre magnitud de asociaciones de demoras en las embarazadas. Se requiere todavía redoblar esfuerzos para cerrar lagunas persistentes que se empeoran por las inequidades histórico-sociales y la mala distribución de los recursos para la salud (Gutierrez y col., 2020; CEPAL, 2022).

Aunque América Latina ha visto descender sus tasas de mortalidad en los últimos 50 años, México no logró disminuir en más del 25 % la mortalidad materna de 1990 a 2015. Entre 2000 y 2017, ésta se redujo 26 %, pero fue menor que la que reportó la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés: Organization for Economic Cooperation Development) de 40 % (OECD/Banco Mundial, 2020).

El estado de Yucatán, que se encuentra localizado al sureste de la República Mexicana, y tiene una población de 2 102 259 habitantes, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019), presenta una razón de mortalidad materna estimada de 11.9 por 100 000 nacidos vivos, reportada por el Observatorio de Mortalidad Materna en México (OMM, 2022), la cual se considera baja, comparada con la del promedio nacional, según informes de la Secretaría de Salud de Yucatán

(SS, 2019). Sin embargo, el que los servicios especializados de atención a la salud materna se concentren en las 2 ciudades con mayor población en el estado, Mérida y Valladolid, así como, la alta proporción de personas maya-hablantes (25.6 %) (INEGI, 2019), son factores que influyen en el acceso a la atención y aumentan el riesgo de muerte de las mujeres durante el embarazo en comunidades rurales, sobre todo cuando presentan complicaciones y/o morbilidades durante el mismo, o durante el parto o puerperio (Angulo y col., 2018; Rodríguez y col., 2018).

El objetivo de este estudio fue describir inequidades de género y de salud que vivieron las mujeres embarazadas de comunidades rurales de Yucatán, México, y analizar las barreras que enfrentaron durante la búsqueda de atención médica para atender su parto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población de estudio

Se realizó un estudio descriptivo, retrospectivo y transversal. La población incluida fueron 247 mujeres embarazadas, procedentes de 47 comunidades rurales del estado de Yucatán, México, que acudieron a control prenatal a 11 centros de salud, donde estaban registradas, correspondientes a los municipios de Akil, Hachó, Tecoh, Tekax, Ticul, Santa Elena, Yaxcabá, Yaxkukul, Chankom, Tizimín y Tahdziú. Las 47 comunidades rurales pertenecían a 11 cabeceras municipales. Se trabajó también con 33 comisarías de la cabecera municipal de Yaxcabá, 2 de Yaxkukul y 1 de Chankom.

Se recabó el nombre y dirección de las mujeres, a quienes se visitó en su domicilio o se les entrevistó durante la consulta prenatal (trabajo de campo). Se les explicó el interés del estudio y se les pidió que firmaran un consentimiento informado. A quienes aceptaron se les aplicaron tres cuestionarios, el primero relacionado con datos sociodemográficos y ginecoobstétricos, el segundo sobre demoras en el acceso a la atención, y el tercero, con respecto a los tipos de violencia sufrida en el embarazo. Esta información se complementó mediante una entrevista para conocer sobre el

tiempo que tardó para recibir atención y las dinámicas de la toma de decisiones sobre su atención y cuidados de la salud.

Datos sociodemográficos y ginecoobstétricos

Las 5 preguntas dirigidas a datos sociodemográficos, en el primer cuestionario aplicado, fueron sobre residencia, edad, estado civil, nivel de educación y ocupación. Para el nivel de educación, se consideró si sabían leer y escribir, si habían terminado la primaria, la secundaria y si tenían estudios de preparatoria o bachillerato. Se clasificaron en nivel bajo (analfabetas y primaria incompleta), medio (primaria completa y secundaria completa) y alto (preparatoria o bachillerato). Respecto a la ocupación, se preguntó si solo trabajaban en el hogar como amas de casa o tenían alguna actividad remunerada. Se les cuestionó sobre si habían seguido alguna estrategia de planificación familiar, aspectos de morbilidad y complicaciones maternas, así como, la frecuencia con la que acudían a consulta para dar seguimiento a su embarazo.

Demoras en el acceso a la atención

Se siguió la metodología del modelo de las tres demoras (Thaddeus y Maine, 1994) utilizando el análisis narrativo (Álvarez-Gayou, 2005) para establecer el proceso de reconocimiento de la necesidad de atención médica de las embarazadas, así como de la búsqueda de ayuda que siguieron las mismas. Se pidió a cada mujer describir lo que le sucedió a partir de que se sintió mal, fue al centro de salud, la trasladaron y llegó al hospital. Las preguntas orientadoras incluían los siguientes aspectos: ¿Cuándo se dio cuenta que tenía algo que no estaba bien? ¿Cuánto tiempo tardó en buscar ayuda desde que se dio cuenta de la complicación? ¿Cuánto tiempo tardó desde que salió a buscar ayuda? ¿Qué le dijeron en el centro de salud? ¿Cuánto tiempo tardó el traslado? ¿Qué atención recibió cuando llegó al hospital? ¿Qué medicamentos le dieron? ¿Cuánto tiempo tardaron en atenderla desde que llegó al hospital?

El procedimiento utilizado fue la lectura de las narraciones después de su transcripción.

Se analizó la información proporcionada de las mujeres y se elaboró un listado de las respuestas obtenidas en las entrevistas, lo que permitió identificar algunas barreras que se les presentaron durante la ruta crítica que siguió cada una, desde su domicilio hasta alcanzar el sitio de atención, y otras surgieron porque se profundizó en la entrevista, con preguntas adicionales que permitieron responder algunas dudas sobre la narración. Las barreras fueron señaladas mediante códigos y posteriormente categorizadas, de acuerdo a los diferentes aspectos mencionados por las mujeres, en barreras relacionadas con la primera demora, segunda demora y tercera demora. También se complementó la información con la lectura del expediente clínico y con los datos que proporcionaron las embarazadas sobre la falta de tratamiento o medicamentos y tratamientos inoportunos.

Las mujeres de las comunidades en Yucatán, después de una primera valoración, pueden ser referidas a clínicas de segundo nivel o a un hospital de tercer nivel, ubicados en diversas rutas, en donde deben ser atendidas cuando no se puede resolver la complicación materna en su centro de salud. Tiempos de espera igual o mayores a 1 h se consideraron demoras.

Tipos de violencia sufrida

Se utilizó la encuesta de las mujeres usuarias de los servicios de salud 2006 (Valdez-Santiago y col., 2006; Olaiz y col., 2009), la cual es una adaptación de la Encuesta Nacional Sobre Violencia contra la Mujer (ENVIM). El instrumento fue validado en población mexicana y cuenta con una confiabilidad del 0.99 alpha de Cronbach. Se centra en 19 reactivos referentes a violencia psicológica, física, física severa y sexual; y 2 reactivos para reportar ausencia o presencia de violencia económica, mismos que se muestran en la Tabla 1, con sus cargas factoriales reportadas. La información se obtuvo mediante entrevista personalizada a cada mujer incluida en el estudio, con duración promedio de 30 min a 40 min. La encuesta aplicada llevaba el orden numérico de

los ítems, pero para una mejor comprensión se muestran los mismos agrupados por tipo de violencia, su valor ponderado asignado según la respuesta proporcionada y el rango de puntuación por categoría y total. En el caso de violencia económica se consideró como existente si dieron respuesta afirmativa incluso a solo una de las 2 preguntas.

El nivel de violencia sufrido, por cada una de las encuestadas, se obtuvo sumando el valor ponderado para la respuesta proporcionada a cada ítem, según fuera “nunca”, “alguna vez”, “varias veces” o “muchas veces”. Se sumaron los valores de los ítems y se estableció el rango correspondiente para cada mujer por tipo de violencia, clasificándolas finalmente en cuatro niveles: ninguno, bajo, medio y alto que correspondieron a los rangos de las respuestas por categoría. Se determinó el número y porcentaje de mujeres que había sufrido cada tipo de violencia, en los cuatro niveles mencionados.

Aspectos éticos del estudio

El estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Bioética del Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”, de la Universidad Autónoma de Yucatán, México y cumplió con lo establecido en la Declaración de Helsinki sobre investigación en sujetos humanos.

Análisis estadístico

La información se capturó en una base de datos en Excel 2010 y se determinó la frecuencia para cada variable. Se calcularon porcentajes para la primera, segunda y tercera demora, así como, por barrera mencionada y por tipo de violencia. Se estableció el promedio de barreras por persona, para la primera, segunda y tercera demora, sus combinaciones.

Se exploró si existía asociación significativa entre las tres demoras y tener complicaciones maternas y/o morbilidades, que indicaran el riesgo de la salud materna.

Se estableció la frecuencia en la que cada demora estuvo asociada con complicaciones ma-

■ Tabla 1. Encuesta relacionada con el tipo de violencia sufrida por las mujeres durante el embarazo. Modificada de Valdez Santiago y col. (2006).

Table 1. Survey related to the type of violence suffered by women during pregnancy. Modified from Valdez-Santiago y col. (2006).

Núm. ítem	Pregunta	Nunca	Alguna vez	Varias veces	Muchas veces	Alfa de Cronbach
Factor 1. Violencia psicológica						
8	¿Le ha dicho que es poco atractiva o fea?	0	4	8	12	0.692
9	¿Se ha puesto celoso o ha sospechado de sus amistades?	0	4	8	12	0.682
12	¿Le ha rebajado o menospreciado?	0	5	10	15	0.787
15	¿Le ha insultado?	0	4	8	12	0.791
17	¿Le ha rebajado o menospreciado frente a otras personas?	0	5	10	15	0.782
Rango		0	4 a 22	23 a 44	45 a 66	
Factor 2. Violencia física						
3	¿Le ha pateado?	0	8	16	24	0.690
5	¿Le ha empujado intencionalmente?	0	5	10	15	0.669
6	¿Le ha golpeado con el puño o la mano?	0	7	14	21	0.731
13	¿Le ha torcido el brazo?	0	6	12	18	0.693
19	¿Le ha sacudido, zarandeado, jaloneado?	0	5	10	15	0.721
Rango		0	5 a 31	32 a 62	63 a 93	
Factor 3. Violencia física severa						
2	¿Le ha quemado con cigarro u otra sustancia?	0	6	12	18	0.727
4	¿Le ha amenazado con pistola o rifle?	0	6	12	18	0.632
7	¿Le ha disparado con una pistola o rifle?	0	9	18	27	0.810
10	¿Le ha amenazado con arma, con alguna navaja, cuchillo o machete?	0	7	14	21	0.598
11	¿Le ha intentado ahorcar o asfixiar?	0	9	18	27	0.535
16	¿Le ha agredido con navaja, cuchillo o machete?	0	9	18	27	0.738
Rango		0	6 a 46	47 a 92	93 a 138	
Factor 4. Violencia sexual						
1	¿Le ha exigido tener relaciones sexuales?	0	6	12	18	0.723

continúa...

14	¿Ha usado la fuerza física para tener relaciones sexuales?	0	9	18	27	0.688
18	¿Le ha amenazado con irse con otras mujeres si no accede a tener relaciones sexuales?	0	4	8	12	0.665
	Rango	0	4 a 19	20 a 38	39 a 57	
	Rango total	0	19 a 118	119 a 236	237 a 354	
Factor 5. Violencia económica						
No	Pregunta	Si		No		Alfa de Cronbach
1	¿La ha controlado con no darle dinero o quitándoselo?	1		1		0.581
2	¿Le ha quitado o ha hecho uso de sus pertenencias en contra de su voluntad?	1		1		0.550
	Rango	0 a 2		0 a 2		

ternas y/o morbilidades y se determinó si existía asociación significativa entre las tres diferentes demoras y tener complicaciones maternas y/o morbilidades, que indicaran el riesgo de la salud materna con un nivel de confianza del 95 %.

RESULTADOS

Datos sociodemográficos y ginecoobstétricos

La distribución de las mujeres por municipio se muestra en la Tabla 2. El 74.1 % de la población se encontraba entre los 18 años y los 35 años de edad. Mientras la edad promedio fue de 27.6 años. El estado civil predominante fue casada (81.0 %). El nivel educativo que prevaleció fue medio (51.4 %) seguido de bajo (39.7 %). Se dedicaban principalmente al hogar (89.1 %).

El 28.3 % de las entrevistadas manifestó no tener control de planificación familiar. El 27.9 % presentó algún tipo de complicación materna y 40.9 % cursó el embarazo con morbilidades. La mayoría de las mujeres (67.6 %) asistieron a entre 4 y 6 consultas prenatales (Tabla 3).

Tipos de demoras y barreras

La narrativa de las entrevistadas permitió establecer que, en conjunto se enfrentaron a 421 obstáculos (Tabla 4), que fueron distribuidos

en 17 categorías o barreras y agrupadas por tipo de demora. En la primera demora, se analizan las causas por las cuales las embarazadas tardaron en darse cuenta que requerían atención médica, el 19.7 % de esas razones se agruparon en 5 barreras, que incluyen los aspectos de reconocimiento de signos de alarma, derechos sexuales y reproductivos y red de apoyo.

En la segunda demora, se identificaron el 20.2 % de los obstáculos, lo cuales se agruparon en 7 barreras asociadas a la problemática de obtener ayuda y conseguir medio de transporte. En la tercera demora, relacionada con el tiempo que pasó a partir de su arribo al hospital hasta el momento en que la atendieron, se presentaron el 60.1 % de las causas que ocasionaron retrasos de atención, las cuales se categorizaron en 5 barreras, que incluyen tratamiento inadecuado e inoportuno y problemas para ingresar o tener acceso a un especialista.

Al considerar el número de barreras enfrentadas por las mujeres por tipo de demora, se puede establecer que algunas sortearon más de una barrera, resultando en un promedio de 1.1, 1.9 y 1.9 barreras por embarazada para la primera, segunda y tercera demora, respectivamente.

■ **Tabla 2. Características sociodemográficas de las mujeres.**
 Table 2. Sociodemographic characteristics of women.

Característica	Número	Porcentaje
Municipio de residencia		
Akil	1	0.4
Halachó	2	0.8
Tecoh	1	0.4
Tekax	3	1.2
Ticul	1	0.4
Santa Elena	1	0.4
Yaxcabá	67	27.1
Yaxkukul	35	14.2
Chankom	33	13.4
Tizimín	3	1.2
Tahdziú	100	40.5
Edad		
< 18 años	40	16.2
18 a 25 años	72	29.1
26 a 35 años	111	45.0
> 36 años	24	9.7
Estado civil		
Unión libre	47	19.0
Casada	200	81.0
Nivel de educación		
Bajo	98	39.7 %
Medio	127	51.4 %
Alto	22	8.9 %
Ocupación		
Hogar	220	89.1 %
Actividad remunerada	27	10.9 %

■ **Tabla 3. Características ginecoobstétricas.**
 Table 3. Gynecobstetric characteristics.

Característica	Sí		No					
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje				
Planificación familiar	177	71.7 %	70	28.3 %				
Complicaciones maternas	69	27.9 %	178	72.1 %				
Morbilidad	101	40.9 %	146	59.1 %				
Frecuencia de consultas								
	0		1 a 3		4 a 6		7 a 10	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Consultas prenatales	-	-	-	-	167	67.6 %	80	32.4 %

La totalidad de la población estudiada presentó barreras para las 3 demoras: 29.2 % la primera, 17.8 % la segunda y 53.0 % la tercera (Ta-

bla 4). Es importante destacar que el 20.0 % de las mujeres se enfrentaron a dos tipos de demoras y el 8.6 % a las tres demoras.

■ **Tabla 4. Barreras por tipo de demora en el acceso a la atención de la embarazada.**
 Table 4. Barriers by type of delay in access to care for pregnant women.

Barreras que se presentaron	Número de obstáculos	Porcentaje
Primera demora (n = 72 embarazadas; 29.2 %)		
Falta de reconocimiento de signos de alarma	32	44.4
Desconocimiento de derechos sexuales y reproductivos	21	29.2
Falta de acuerdo familiar para pedir ayuda	15	20.8
Automedicación	10	13.9
Acude antes a sobada	5	6.9
Total	83	
Segunda demora (n = 44 embarazadas; 17.8 %)		
Traslado por falta de equipo	23	52.3
No hay ambulancia	18	40.9
Retraso en conseguir transporte	13	29.5
Sin referencia	10	22.7
No hay apoyo familiar	8	18.2
Costo elevado de traslado	7	15.9
Falta de apoyo municipal	6	13.6
Total	85	
Tercera demora (n = 131 embarazadas; 53.0 %)		
Tratamiento médico inadecuado e inoportuno	69	52.7
Falta de criterios médicos para ingreso	57	43.5
Tiempo de espera largo	44	33.6
Muchos pacientes en espera	43	32.8
Ausencia de médico especialista	40	30.5
Total	253	

El total de obstáculos por demora es mayor al número de participantes, ya que algunas encuestadas presentaron más de una barrera, en una, dos o tres demoras.

Impacto en la morbilidad y complicaciones

La presencia de demoras estuvo asociada con la existencia de complicaciones o morbilidad materna ($P = 0.046$) (Tabla 5). La primera y segunda demora no mostraron diferencia en la tasa de complicaciones o morbilidad (61.1 % y 59.1 %, respectivamente). En tanto que, la tercera demora mostró una tasa de asociación con la morbilidad (76.3 %) que fue significativamente superior a la primera demora ($P = 0.022$) y a la segunda demora ($P = 0.041$) (Tabla 5).

Tiempo transcurrido para la atención

Respecto a los tiempos destinados a la ruta de búsqueda de atención, los mayores tiempos se dieron para el traslado, ya que 90 % de las mujeres tardaron más de 1 h, desde que ini-

ciaron su traslado de la comunidad hasta llegar a una clínica u hospital (Tabla 6). Al ser trasladadas a un hospital o clínica, 74 % fueron referidas a una clínica de segundo nivel y 26 % a un hospital de tercer nivel.

Toma de decisiones

Con relación a su atención y cuidados, la mayoría no decidió por ella misma sobre su embarazo, parto y puerperio (83.8 %, 81.4 % y 97.2 %, respectivamente). El 100 % no solventó gastos de embarazo, por ser atendidas dentro del sistema de salud con cobertura para la población sin recursos económicos (Tabla 7).

Tipo de violencia

La violencia psicológica y física severa regis-

■ **Tabla 5. Análisis de asociación de demoras en embarazadas con y sin complicación obstétrica.**
 Table 5. Association analysis of delays between pregnant women with and without obstetric complications.

Demora	Complicaciones y/o morbilidad		Chi-cuadrada	P
	Si	No		
Primera vs. segunda	44	28	0.047	0.829
	26	18		
Primera vs. tercera	44	28	5.224	0.022
	100	31		
Segunda vs. tercera	26	18	4.170	0.041
	100	31		

Resumen de tabla: $X^2 = 3.97$, $P = 0.046$.

■ **Tabla 6. Tiempos de atención de la embarazada durante la ruta de búsqueda de ayuda.**
 Table 6. Health-care timing of the pregnant woman during the help-seeking route.

Acción realizada para la búsqueda de ayuda	Tiempo < 1 h		Tiempo > 1 h	
	n	%	n	%
Reconoció signos de alarma y decidió buscar ayuda	190	77	57	23
Salió a buscar ayuda y consiguió vehículo	232	94	15	6
Inició traslado por su propia cuenta hasta llegar a una clínica u hospital (por falta de ambulancia)	25	10	222	90
Llegó al hospital y recibió atención	200	81	47	19

Total de casos (n = 247).

■ **Tabla 7. Toma de decisiones de la embarazada sobre su atención y cuidados de la salud.**
 Table 7. Decision-making of the pregnant woman regarding her care and health care.

Toma de decisiones	Número	Porcentaje
No decidió sobre su atención de embarazo	207	83.8
No decidió sobre la atención del parto	201	81.4
No decidió sobre la atención del puerperio	240	97.2
No decidió sobre el número de hijos	47	19.0
No decidió intervalos entre embarazos	168	68.0
No decidió ser transferida	168	68.0
No decidió a dónde ser transferida	128	51.8
No solventó gastos de embarazo	247	100
No tuvo compañía del esposo en el traslado	104	42.1
No juzgó mal la ausencia del esposo en el parto	183	74.1

traron nivel alto de violencia (24.3 % y 20.6 %, respectivamente) en las encuestadas. Mientras que la violencia física y sexual reportaron principalmente niveles medios de violencia (8.9 % y 11.3 %). La violencia económica estuvo presente en 53 % de la población (Tabla 8).

DISCUSIÓN

La población de estudio, mujeres que habitaban en comunidades rurales de Yucatán, México, fueron principalmente adultas, menores de 36 años, casadas, con nivel educativo medio y bajo, dedicadas mayoritariamente al ho-

■ **Tabla 8. Tipo de violencia en mujeres embarazadas por nivel.**

Table 8. Types of violence in pregnant women by level.

Tipo de violencia	Ninguno		Bajo		Medio		Alto	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Psicológica	179	72.5	2	0.8	6	2.4	60	24.3
Física	222	89.9	1	0.4	22	8.9	2	0.8
Física severa	158	64.0	19	7.7	19	7.7	51	20.6
Sexual	211	85.4	2	0.8	28	11.3	6	2.4
	No				Si			
	n		%		n		%	
Económica	116		47.0		131		53.0	

gar (Tabla 2). Las costumbres de dichas comunidades donde el nivel educativo sigue bajo continúan arraigadas a sus tradiciones y a los saberes ancestrales sobre los cuidados en la reproducción. Estos se han transmitido de generación en generación, y en ellos, predominan creencias, hábitos y riesgos que ponen en peligro la vida de la embarazada. Es importante promover en esas comunidades oportunidades para realizar estudios de nivel superior, ya que actualmente se ven limitadas por falta de acceso y recursos económicos (Rodríguez y col., 2006).

Respecto a la planificación familiar, casi un tercio de la población se encontró desprotegida por no llevar algún método de control; más de la cuarta parte de las mujeres presentaron complicaciones maternas; y un porcentaje más alto, enfermedades que acompañaron el embarazo. Sobre el control prenatal, la mayoría de las mujeres tuvieron entre 4 a 6 consultas y no se reportaron inasistencias ni mujeres con menos de 4 consultas (Tabla 3), lo que indica el interés por su salud materna y reproductiva.

El modelo de las tres demoras permitió observar que, la tercera demora fue más frecuente (53.0 % de las encuestadas la manifestaron) comparada con la primera y segunda (29.2 % y 17.8 %, respectivamente). El tratamiento médico inadecuado e inoportuno y la falta de cri-

terios médicos para ingreso (52.7 % y 43.5 %, respectivamente) fueron las principales barreras que provocaron la tercera demora y están relacionados con la calidad de los servicios de salud al llegar al hospital (Tabla 4).

Se demostró que las 3 demoras se asociaron con complicaciones o morbilidad materna (Tabla 5), por lo que su existencia contribuyó a incrementar la manifestación de problemas de salud. Es importante considerar que, la tercera demora, asociada directamente con el servicio que presta el sector salud, presentó tasas de incidencia significativamente mayor que las primeras. Otros estudios también han reportado la tercera demora como la más frecuente (Mgawadere y col., 2017; Mo'men y col., 2020), pero son pocos los que han demostrado significancia estadística de la asociación de demoras con complicaciones y/o morbilidades maternas (Pacagnella y col., 2014).

Es importante hacer notar que, entre las barreras que causaron la primera demora, que fue la que se reportó en segundo lugar en orden de frecuencia (29.2 %), estuvieron presentes factores atribuidos a las pacientes, como fue la falta de reconocimiento de signos de alarma (44.4 %) que iniciaban una complicación (Tabla 4). Este desconocimiento de los signos de alarma, por parte de la mujer, fue mayor a los resultados reportados por Conza y col. (2021) (21 %).

Respecto a la segunda demora, es innegable que el acceso oportuno a los servicios de salud se complica por la lejanía de las clínicas y hospitales a donde son referidas las mujeres desde su comunidad, como sucede con las mujeres del presente trabajo que residían en las áreas rurales, como comisarías y rancherías lejanas. Incluso, los centros de salud pueden estar retirados de la zona donde viven y, por lo tanto, las oportunidades de decidir y tener acceso pronto al servicio de salud se hacen difíciles. Lo anterior tiene que ver con los tiempos destinados a la búsqueda de ayuda una vez que se ha identificado la complicación, así como el medio de transporte para el traslado. Lo cual es un factor de riesgo, ya que, cuando existe una complicación materna, el tratamiento debe ser inmediato, para salvaguardar la vida de la madre y el feto (WHO/UNFPA/UNICEF/AMDD, 2009).

En el presente estudio, la mayoría de las mujeres tardaron más de una hora desde que iniciaron su traslado hasta llegar a una clínica u hospital de referencia para su atención. Estos tiempos prolongados también fueron observados por Rodríguez y col. (2020a), en otras comunidades de Yucatán, lo que sugiere que se debe evaluar la eficiencia del sistema de referencia de las embarazadas. Los resultados coinciden con lo que señala Torres y col. (2020), respecto al efecto negativo que tiene la lejanía de los servicios de salud de las comunidades.

Es importante destacar que, el trabajo de campo realizado permitió constatar que en las 11 comunidades existen vehículos destinados al traslado de pacientes. Sin embargo, aunque los vehículos de traslado son llamados ambulancias, la mayoría son camionetas con las características de un vehículo particular, que no se encuentran equipados con lo indispensable para tratar una emergencia, en tanto la mujer llega a otro hospital a donde ha sido referida. Adicionalmente, no siempre se encuentran vehículos disponibles cuando hay que trasladar a la embarazada al hospital, por lo que las embarazadas tienen que conseguir

un vehículo particular por su cuenta, en su comunidad, para que pueda llevarlas. Esta situación pone en riesgo su vida, por falta de vehículo especializado y la presencia de personal no capacitado en emergencias obstétricas que pueda resolver alguna complicación, como fue demostrado por Rodríguez y col. (2018), en un estudio llevado a cabo en Yucatán, donde el riesgo global de muerte de las embarazadas con complicaciones obstétricas y que sufren demoras en la atención fue de 54 %.

En México la norma establece que los partos deben ser atendidos en todos los establecimientos de salud con respeto a la cultura local y con calidad, y los traslados deben ser oportunos y con los cuidados correspondientes (DOF, 2016). Sin embargo, el trabajo de campo permitió establecer que en Yucatán aún no se dan, de forma generalizada, las condiciones para que esto se haga efectivo, ya que, en la mayoría de los centros de salud, de las comisarías y rancherías que se visitaron, el servicio médico era brindado por médicos pasantes. Son claros los contrastes que reflejan la inequidad de las mujeres rurales respecto a las que residen en áreas urbanas mexicanas, donde se reducen las distancias para buscar la ayuda y tienen acceso a los servicios especializados de la atención del parto habilitado, que son indispensables para atender las complicaciones (Gutierrez y col., 2020).

La falta de apoyo para el traslado y el retraso en la regulación para el ingreso a los hospitales también son determinantes sociales e institucionales que tendrán que ser analizados en Yucatán, si realmente se desea reducir las inequidades en la atención a las mujeres, como se ha demostrado en otros estudios (Rodríguez y col., 2020a; Torres y col., 2020).

Un factor importante a considerar es la falta de apoyo familiar, pues la mayoría de los esposos de estas mujeres trabajaban fuera de la comunidad durante toda la semana o por semanas o meses, como una forma de obtener ingresos, de acuerdo a lo expresado por las en-

cuestadas, lo que disminuyó las posibilidades de que fueran acompañadas a las consultas prenatales. En el presente trabajo se pudo observar que esta situación es muy común e incluso, no tuvieron compañía del esposo en el traslado (42.1 %) ni juzgaron mal la ausencia en el parto (74.1 %) (Tabla 7) y, aunque reconocen que el esposo debe acompañarlas en el parto, justifican su ausencia, porque ellos tienen que trabajar. Dichos datos coinciden con los resultados encontrados en otro estudio realizado en Yucatán por Rodríguez y col. (2012), en el que el común denominador fue la ausencia del esposo. Es necesario empoderar a las mujeres e involucrar más al esposo en los problemas de salud materna (Dickson, 2021).

La toma de decisiones acerca de la atención durante el embarazo, parto y puerperio es otro campo de oportunidades para trabajar con las mujeres del área rural, para proveerlas de información al respecto para empoderarlas (Dickson, 2021). En el presente trabajo, la mayoría de las entrevistadas (81.4 % al 97.2 %) manifestaron que es el esposo, la mamá, la suegra o un familiar cercano quien decide sobre los cuidados durante el embarazo, si debe ser transferida o no al momento del parto. El 68 % de ellas no decidió los intervalos entre embarazos, ni ser transferida. Y más de la mitad (51.8 %) tampoco decidió el lugar a donde la transfirieran. La influencia que los esposos, las suegras y las madres tienen sobre su toma de decisiones, también se ha encontrado en otros estudios en comunidades alejadas de Yucatán, como es el caso de las mujeres del municipio de Chemax, que después de casarse, es costumbre que sean llevadas a vivir con ellos a casa de la suegra y, en caso de la ausencia de esta última, la madre de la mujer es quien influye en las decisiones (Rodríguez y col., 2006). Dichos aspectos sobre la toma de decisiones tienen impacto en la salud de la mujer; el hecho de tener la posibilidad de restringir el número de hijos, como se registró en el 19 % de la población de este estudio, y espaciar sus embarazos (68 %), les abre la oportunidad de cuidar su propia salud y al mismo tiempo tener hijos saludables (Gutiérrez, 2013).

En investigaciones realizadas para conocer a qué se deben las inequidades en salud materna, se menciona que las relaciones de poder entre los géneros para la toma de decisiones, desempeña un papel importante en las consecuencias de la salud materna y la de su futuro hijo. Generalmente los hombres tienen más poder, porque tienen un ingreso económico derivado del trabajo que realizan, mientras que ellas, principalmente las rurales, no perciben remuneración y están dedicadas a las tareas domésticas, sometidas a lo que la pareja quiera aportar para el pago de sus servicios de salud (Cornish, 2021). En las mujeres mexicanas, las tareas domésticas representan un factor social determinante de la desigualdad de género que las ponen en desventaja frente a los varones (Szasz, 1998). Genéricamente, se ha conferido a la mujer el cuidado de su salud y la de sus hijos. Esta concepción de la salud materno-infantil ha desvalorizado el papel del varón en el cuidado de la pareja durante el embarazo, parto y posparto, como fue el caso de las mujeres del estudio.

Se ha visto que el embarazo es una condición, en la vida reproductiva de las mujeres, que no queda exenta de situaciones de violencia, provocando graves repercusiones no solo en la salud física y mental de la madre sino también en la del futuro ser. Entre las causas de violencia durante el embarazo está el arraigo a las costumbres machistas que aún persiste en la cultura de las poblaciones rurales, la sumisión de ellas, la dependencia económica, la falta de información y de apoyo (Moral-de-la-Rubia y Ramos, 2016). Román y col. (2021) reportaron que, la prevalencia de violencia del esposo hacia la embarazada varía entre países, pero la sufre en promedio el 25 % de las mujeres durante esa etapa; y concluyen que esta prevalencia debe ser considerada de manera global. Dicho porcentaje fue superado por las participantes de este estudio, destacando la violencia psicológica y violencia física severa (27.5 % y 36 %, respectivamente). Por su parte, Biffu y Guracho (2022) reportaron que, en mujeres etíopes, se registró el siguiente orden de frecuencia: psicológica, sexual y física.

La violencia económica que sufrió el 53 % de las participantes del presente trabajo supera las cifras reportadas para las mujeres mexicanas en la Encuesta Nacional sobre la Dinámica de las Relaciones en los Hogares (INEGI, 2017), que fue del 29 % en las mayores de 15 años. En dicha encuesta no se especifica el porcentaje de violencia para el grupo de embarazadas, lo que será tarea importante para futuras investigaciones, al igual que establecer la violencia ejercida por el personal que atiende partos en Yucatán, que a nivel nacional registra una incidencia del 33.4 %.

La incidencia de violencia en las participantes del presente trabajo supera los porcentajes reportados para las mujeres en Yucatán (30.5 %), que eran mayores de 15 años y que vivían en pareja, de acuerdo al Instituto de Equidad y Género en Yucatán (IEGY, 2008). En el mismo estudio, se registraron cifras menores a las de esta investigación, por cada tipo de violencia, que fueron 16.8 % para la económica, 21.8 % para la psicológica, 8.7 % para la física y 5.6 % para la sexual. También para la violencia física severa, en su nivel alto, que fue el más frecuente en este grupo estudiado, superaron los porcentajes del trabajo del instituto (20.6 % vs. 6.6 %).

El grado de severidad alto encontrado en dos tipos de violencia, sugiere la existencia de conflictos graves de pareja en las participantes del presente estudio, que deben ser atendidos a la brevedad, porque son “focos rojos” de expresiones de violencia que suelen ser reiterativas y que ponen en peligro la vida de las mujeres. Aunque la mayoría de las encuestadas estuvieron en el nivel de “Ninguno”, un alto porcentaje de ellas (36.0 %) respondieron haber tenido experiencias de violencia física severa, similar a lo encontrado por Méndez y col. (2022). La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) menciona que la violencia física es la más visible, porque deja huellas. En este estudio tuvo muy baja incidencia (10.1 %) en su forma no grave, pero se hizo muy evidente cuando se analizó en su forma severa. La violencia ejercida por el esposo puede va-

riar de intensidad durante las etapas del embarazo (Mella y col., 2021), situación que será muy importante estudiar a futuro con las embarazadas. Se requiere trabajar especialmente con las mujeres para reflexionar sobre las causas que provocan la violencia de la pareja en el embarazo y construir en conjunto estrategias que puedan reducir las inequidades en salud que las llevan a situaciones que ponen en riesgo su vida y la del futuro ser.

La pandemia de COVID-19 vino a exacerbar las barreras que causan demoras en la atención de las embarazadas, porque resaltó las inequidades en el acceso a la salud materna, así como el aumento de la violencia doméstica. El impacto social y económico al que ha llevado es muy marcado, ya que las defunciones maternas, debidas a complicaciones en el embarazo, aumentaron, porque las mujeres se quedaron en casa y demoraron en solicitar la atención oportuna de las mismas, principalmente por el miedo a salir de sus casas y ser contagiadas; viviendo además situaciones de violencia de pareja que tuvo un repunte (Kotlar y col., 2021). En Yucatán, en 2020, se tuvo el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno de México, para realizar acciones que llaman “de rescate de las embarazadas”, utilizando la tecnología móvil e infografías, que fueron difundidas por redes sociales (Rodríguez y col., 2020b). Sin embargo, la tecnología por internet, que ya está muy desarrollada en otros países, no logra llegar a todos los grupos de embarazadas y deja ver otra de las inequidades en salud, porque en la mayoría de las comunidades no hay señal para recibir la información que puede salvar vidas, sobre todo en momentos de complicaciones maternas, que requieren atención de inmediato (Rodríguez y col., 2020b).

La visión holística del problema de las inequidades en salud de las mujeres embarazadas de las comunidades, de acuerdo a los resultados de este trabajo, refuerza la idea de continuar, a través de grupos interdisciplinarios comprometidos con la lucha contra la inequidad, con estudios que puedan fortalecer ac-

ciones estratégicas que disminuyan o erradiquen esas desigualdades de acceso y de género, como fueron las barreras que originaron la tercera demora, que se relaciona con la calidad de atención de los servicios de salud que reciben las embarazadas, que fue el hallazgo más importante en este trabajo y que reflejan inequidades.

CONCLUSIONES

Las mujeres participantes del presente estudio se caracterizaron por ser en su mayoría adultas menores de 36 años, con medio y bajo nivel educativo, dedicadas al hogar, y por ello dependientes económicamente, lo cual pareció influir en que muchas de ellas tuvieran poca capacidad en la toma de decisiones para su atención médica durante el embarazo, parto y puerperio. La tercera demora presentó la mayor incidencia y estuvo asociada con mayor tasa de morbilidad y complicaciones de salud; las barreras más frecuentes, en esta demora, a las que se enfrentaron las mujeres fueron el tratamiento médico inadecuado e inoportuno y la falta de criterios médicos para ingreso. La

lejanía de los sitios donde habitan, con respecto a los centros de salud y de atención médica para el parto provocaron retrasos importantes en su traslado que incrementaron su morbilidad y complicaciones médicas. La falta de vehículos equipados para el traslado de los pacientes hacia las clínicas y hospitales sigue siendo un tema que debe atender el sistema de salud en dicha región. La violencia familiar se manifestó como un problema importante en la zona analizada, con alta incidencia de violencia económica, física severa y psicológica. La elaboración y propuestas de políticas de salud deben encaminarse a lograr una mayor apertura por parte de los servicios de salud para el estudio de los procesos internos en centros de salud, clínicas y hospitales que permitan proponer acciones de mejora en un trabajo colaborativo con el personal de salud y autoridades. Por otro lado, es necesario continuar con investigaciones sobre la violencia que viven las mujeres durante el embarazo para disminuir daños e inequidades hacia la salud materna.

REFERENCIAS

- Actis, V., Bedwell, C., Wakasiaka, S., and Lavender, T. (2020). Utility of the three-delays model and its potential for supporting a solution-based approach to accessing intrapartum care in low- and middle-income countries. A qualitative evidence synthesis. *Glob Health Action*. 13(1):1819052.
- Álvarez-Gayou, J. L. (2005). *Cómo hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología*. México: Ed. Paidós. 222 Pp.
- Angulo, E. M. R., Andueza-Pech, M. G., and Peña, Y. O. (2018). Characteristics of maternal death among mayan women in Yucatan, Mexico. In D. Schwartz (Ed.), *Maternal death and pregnancy-related morbidity among indigenous women of Mexico and Central America. Global Maternal and Child Health* (pp. 249-270). USA: Springer Ed.
- Biftu, B. and Guracho, Y. D. (2022). Determinants of Intimate Partner Violence against Pregnant Women in Ethiopia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BioMed Research International*. 26:4641343.
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2022). Mortalidad y Salud, en *Naciones Unidas*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/subtemas/mortalidad-salud#>. Fecha de consulta: 10 de junio de 2022.
- Conza, B., Mejia, K. y Aguilar, M. (2021). Nivel de conocimiento sobre signos de alarma en gestantes atendidas en un Hospital Público de El Oro. *Polo del Conocimiento*. 6(7): 895-913.
- Cornish, H., Walls, H., Ndirangu, R., Ogbureke, N., Bah, O. M., Tom-Kargbo, J. F., ..., and Ranganathan, M. (2021). Women's economic empowerment and health related decision-making in rural Sierra Leone. *Cult, Health & Sexuality*. 23(1):19-36.
- Churchill, E. Shankardass, K., Perrella, A. M. L., Lofthers, A., Quiñonez, C., Brooks, L., ..., and Kirst, M. (2021). Effectiveness of narrative messaging styles about the social determinants of health and health inequities in Ontario, Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(20):10881.
- Dickson, K. S. (2021). Women empowerment and skilled birth attendants among women in Rural Ghana. *BioMed Research International*. 24: 9914027.

DOF, Diario Oficial de la Federación (2016). Norma Oficial Mexicana NOM-007-SSA2-2016. Para la atención de la mujer durante el embarazo, parto y puerperio, y de la persona recién nacida. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5432289&fecha=07/04/2016#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2022.

Globevnik, V., Lučovnik, M., Premru, T., Leskošek, V., Krajnc, M., Pavše, L., ..., and Blickstein, I. (2018). Violence before pregnancy and the risk of violence during pregnancy. *Journal of Perinatal Medicine*. 46(1): 29-33.

Gutierrez, J. P., Agudelo-Botero, M., Garcia-Saiso, S., Zepeda-Tena, C., Davila-Cervantes, C., Gonzalez-Robledo, M., ..., and Lozano, R. (2020). Advances and challenges on the path toward the SDGs: subnational inequalities in Mexico, 1990–2017. *BMJ Global Health*. 5(10): e002382.

Gutiérrez, M. (2013). La planificación familiar como herramienta básica para el desarrollo. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 30(3): 465-470.

IEGY, Instituto para la Equidad de Género en Yucatán (2008). Análisis de la violencia contra las mujeres en Yucatán, 2006. [En línea]. Disponible en: http://cedoc.inmujeres.gob.mx/insp/analisis_violencia.pdf. Fecha de consulta: 14 de diciembre de 2022.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). Encuesta Nacional sobre la Dinámica de las Relaciones en los Hogares, en *ENDIREH*, 2016. Principales Resultados. México. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/endireh/2016/doc/endireh2016_presentacion_ejecutiva.pdf. Fecha de consulta: 13 de julio de 2022.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Censo Nacional de Población y Vivienda. 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2022.

Kaiser, J.L., Fong, R.M., Hamer, D.H., Biemba, G., Ngoma, T., Tusing, B., and Scott, N. A. (2019). How a woman's interpersonal relationships can delay care-seeking and access during the maternity period in rural Zambia: An intersection of the Social Ecological Model with the Three Delays Framework. *Social Science & Medicine*. 220: 312-321.

Kotlar, B., Gerson, E., Petrillo, S., Langer, A., and Tie-meier, H. (2021). The impact of the COVID-19 pandemic on maternal and perinatal health: a scoping review. *Reproductive Health*. 18(1): 1-39.

Mella, M., Binfa, L., Carrasco, A., Cornejo, C., Cavada, G. y Pantoja, L. (2021). Violencia contra la mujer durante la gestación y postparto infligida por su pareja en

Centros de Atención Primaria de la zona norte de Santiago, Chile. *Revista Médica de Chile*. 149(4): 543-553.

Méndez, M., Barragán, A., Peñaloza, R. y García, M. (2022). Severidad de la violencia de pareja y reacciones emocionales en mujeres, en *Psicumex*. [En línea]. Disponible en: <https://psicumex.unison.mx/index.php/psicumex/article/view/400>. Fecha de consulta: 14 de diciembre de 2022.

Mgawadere, F., Unkels, R., Kazembe, A., and van-den-Broek, N. (2017). Factors associated with maternal mortality in Malawi: application of the three delays model. *BMC Pregnancy Childbirth*. 17(1): 1-9.

Mo'men, M., Saad, E. G., Eladwy, A. R., Essam, A. I., Gadelrab, M. T., Emad, M. I., ..., and Ameirr, A. A. (2020). A ten year analysis of maternal deaths in a tertiary hospital using the three delays model. *BMC Pregnancy Childbirth*. 20(1): 585.

Moral-de-la-Rubia, J. y Ramos, S. (2016). Machismo, victimización y perpetración en mujeres y hombres mexicanos. *Estudios sobre las Culturas Contemporáneas*. 22 (43): 37-66.

Nievas, C. M., Moyano, D. L. y Gandini, J. B. (2021). Determinantes sociales y de género relacionados a las inequidades de salud en una comunidad de Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*. 78(2): 103-109.

OECD/The World Bank, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico/Banco Mundial (2020). Panorama de la Salud: Latinoamérica y el Caribe 2020, OECD Publishing, Paris. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/740f9640-es>. Fecha de consulta: 10 de julio de 2022.

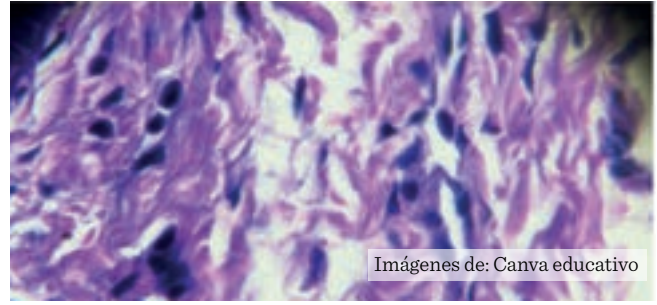
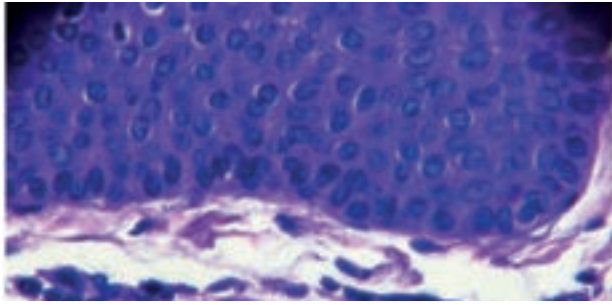
Olaiz, G., Uribe, P. y Rio, A. (2009). Encuesta Nacional sobre Violencia Contra las Mujeres 2006 ENVIM. México, D.F.: Centro Nacional de Equidad de Género y Salud reproductiva, en *Secretaría de Salud*. [En línea]. Disponible en: http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/ENVIM_2006.pdf. Fecha de consulta: 12 de julio de 2022.

OMM, Observatorio de la Mortalidad Materna en México (2022). Gobierno de México. Informe Semanal de Notificación Inmediata de Muertes Maternas, en *Semana Epidemiológica 25*. [En línea]. Disponible en: <https://omm.org.mx/sistema-de-indicadores/boletines/>. Fecha de consulta: 29 de noviembre de 2022.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2019). Respect women: Preventing violence against women. UN-W. [En línea]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/312261/WHO-RHR-18.19-eng.pdf>. Fecha de consulta: 14 de diciembre de 2022.

Pacagnella, R. C., Cecatti, J. G., Parpinelli, M. A., Sousa,

- M. H., Haddad, S. M., Costa, M. L., ..., and Abdallah, A. A. (2014). Delays in receiving obstetric care and poor maternal outcomes: results from a national multicentre cross-sectional study. *BMC Pregnancy Childbirth*. 14(1): 1-15.
- PAHO, Pan American Health Organization (2017a). Sustainable Health Agenda for the Americas 2018 2030, 29th Pan American Sanitary Conference, 69th Session of the Regional Committee of WHO for the Americas. [En línea]. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/49170>. Fecha de consulta: 12 de julio de 2022.
- PAHO, Pan American Health Organization, World Health Organization, Health in Americas (2017b). Determinantes e inequidades en salud, en PAHO. [En línea]. Disponible en: https://www3.paho.org/salud-en-las-americanas2012/index.php?option=com_content&view=article&id=58:health-determinants-and-inequalities&Itemid=165&lang=es. Fecha de consulta: 12 de julio de 2022.
- PAHO, Pan American Health Organization (2020). Strategic Plan of the Pan American Health Organization 2020-2025: Equity at the Heart of Health. (Official Document: 359). Washington, D.C.: Pan American Health Organization. [En línea]. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52473>. Fecha de consulta: 12 de julio de 2022.
- Rodríguez, E., Aguilar, P., Montero, L., Hoil, J. y Andueza, G. (2012). Demoras en la atención de complicaciones maternas asociadas a fallecimientos en municipios del sur de Yucatán, México. *Revista Biomédica*. 23(1): 23-32.
- Rodríguez, E., Andueza, G. y Kú, L. (2006). Cuidados, hábitos y riesgos de las mujeres de Chemax, Yucatán, durante el proceso reproductivo. *Temas Antropológicos: Revista Científica de Investigadores Regionales*. 28(1-2): 34-69.
- Rodríguez, E., Andueza, G., and Vázquez, R. (2018). Global risk of death due to delays in the care of pregnant women with obstetric complication in Yucatan, Mexico. *Obstetrics y Gynecology International Journal*. 9(2): 118-122.
- Rodríguez, E., Ojeda, R., Oliva, Y., and Andueza, G. (2020a). Prolonged response times in obstetric emergency care out of hospital in Yucatan, Mexico, in *Open Access Journal of Biomedical Science*. [En línea]. Disponible en: <https://biomedscis.com/pdf/OAJBS.ID.000167.pdf>. Fecha de consulta: 13 de julio de 2022.
- Rodríguez, E., Rosado, E., Caballero, R., and Gómez, J. (2020b). Use of cell phones in the transmission of preventive messages about COVID-19 to pregnant women in Yucatan, Mexico. Preliminary data. *ECORFAN Journal Republic of Guatemala*. 6(10): 6-11.
- Román, R., Martín, S., Fernández, B., Zamora, J., Khan, K., and Bueno, A. (2021). Worldwide prevalence of intimate partner violence in pregnancy. A systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*. 9: 738459.
- SS, Servicios de Salud de Yucatán (2019). Unidades Médicas. México: Gobierno del Estado de Yucatán. [En línea]. Disponible en: <http://salud.yucatan.gob.mx/secciones/ver/unidades-medicas>. Fecha de consulta: 7 de julio de 2022.
- Szasz, I. (1998). Alternativas teóricas y metodológicas para el estudio de la condición de la mujer y la salud materno-infantil. En J. Figueroa-Perea (Ed.), *La condición de la mujer en el espacio de la salud* (pp. 313-331). México: Ediciones El Colegio de México.
- Thaddeus, S. and Maine, D. (1994). Too far to walk: maternal mortality in context. *Social Science & Medicine*. 38(8): 1091-1110.
- Torres, I., Ramírez, L. y Faytong, M. (2020). Las tres demoras en salud que llevan a complicaciones obstétricas en Ecuador. Un estudio de revisión. *Revista de Ciencias de la Salud*. 2(3): 104-113.
- Valdez-Santiago, R., Híjar-Medina, M., Salgado, N., Rivera-Rivera, L., Avila-Burgos, L. y Rojas, R. (2006). Escala de violencia e índice de severidad: una propuesta metodológica para medir la violencia de pareja en mujeres mexicanas. *Salud Pública de México*. 48(2): 221-231.
- WHO, World Health Organization/UNFPA, Fondo de Población de las Naciones Unidas/ UNICEF, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia/AMDD, Averting Maternal Death and Disability Program (2009). Monitoring emergency obstetric care. A handbook. Geneva, Switzerland. [En línea]. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44121/9789241547734_eng.pdf;jsessionid=FD12A257A7FE579E92E3AC3F48E44C01?sequence=1. Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2022.



Imágenes de: Canva educativo

Neoplasia cervical e infección por virus del papiloma humano como factores de riesgo para desarrollo de cáncer anal y lesiones precursoras

Cervical neoplasia and human papilloma virus infection as risk factors for the development of anal cancer and precursor lesions

Velia Hernández-Márquez¹, Cheryl Díaz-Barrientos², Verónica Vallejo-Ruiz^{3*}

RESUMEN

La incidencia del cáncer anal ha presentado un incremento en los últimos 10 años, sobre todo en población considerada vulnerable. Las mujeres con antecedentes de infección por Virus del Papiloma Humano (VPH) en el tracto genital, tienen mayor riesgo de este tipo de cáncer. Se ha demostrado que, la infección con genotipos de VPH de alto riesgo (AR), en la región anogenital, desempeña un papel en la etiopatogenia de dicho cáncer. Se desconocen muchos aspectos de la historia natural de las lesiones anales, pero se considera que la zona de transición anal presenta un alto recambio celular, por lo que se ha planteado un mecanismo fisiopatológico de infección por VPH-AR y desarrollo de lesiones invasoras, similar al del cáncer cervical. El objetivo de este trabajo fue mostrar el estado actual sobre la información epidemiológica que vincula el riesgo de desarrollar cáncer anal en mujeres con lesiones precursoras de cáncer cervical asociadas a la infección por VPH. La relevancia de dicha información es proporcionar una base de recomendaciones para la detección oportuna de cáncer anal en mujeres consideradas de AR de padecerlo y, favorecer la realización de estudios prospectivos en la población.

PALABRAS CLAVE: virus del papiloma humano, cáncer anal, neoplasia cervical.

ABSTRACT

The incidence of anal cancer has increased in the last 10 years, especially in the population considered to be at risk. Women with a history of infection in the genital tract by Human Papillomavirus (HPV) have higher risk of developing this type of cancer. The presence of high-risk (HR) HPV genotypes in the anogenital region has been shown to play a role in the etiopathogenesis of anal cancer. Many aspects of the natural history of anal lesions are unknown, but the anal transition zone is considered to have a high cell replacement. This is why a pathophysiological mechanism of HR-HPV infection and development of invasive lesions similar to those of cervical cancer has been suggested. The aim of this work was to show the current status of the epidemiological information that links the risk of developing anal cancer in women with cervical cancer precursor lesions associated with HPV infection. The relevance of this information is to provide a basis of recommendations for the timely detection of anal cancer in women considered to be at HR of suffering it, and to encourage more prospective studies in this population.

KEYWORDS: human papillomavirus, anal cancer, cervical neoplasia.

*Correspondencia: veronica_vallejo@yahoo.com/ Fecha de recepción: 24 de agosto de 2022/ Fecha de aceptación: 26 de enero de 2023/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

¹Instituto Mexicano del Seguro Social, Hospital General de Zona Num. 20, Puebla, Puebla, México/Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Posgrado en Ciencias Médicas e Investigación, Puebla, Puebla, México. ²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Hospital Universitario, Puebla, Puebla, México. ³Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro de Investigación Biomédica de Oriente, km 4.5 carretera Federal Atlixco-Metepec s/n, Atlixco, Puebla, México, C. P. 74360.

INTRODUCCIÓN

La incidencia global de cáncer anal en mujeres se ha incrementado en los últimos 10 años, y el riesgo a presentarlo varía, de acuerdo con la población considerada de riesgo para su desarrollo. Su incidencia es mayor en mujeres con infección por Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH) y con algún tipo de lesión precursora del tracto genital o cáncer (cérvix, vulva o vagina), estado post-trasplante, enfermedades autoinmunes y enfermedades inflamatorias crónicas (Moscicki y col., 2015).

La prevalencia de cáncer anal es más alta en mujeres con lesiones precursoras de cáncer del tracto genital e infección del Virus del Papiloma Humano (VPH), sobre todo los considerados de alto riesgo (VPH-AR), por su potencial acción oncogénica (Bertoli y col., 2020). Se han reportado tasas de incidencia acumulada (RI, por sus siglas en inglés: rate of incidence) de lesiones invasoras anales, en mujeres con lesiones precursoras de cáncer de vulva, de 48/100 000 personas/año (con un índice de confianza IC 95 % = 38 a 61), RI de 9/100 000 p/a (IC 95 % = 8 a 12) para cáncer cervical y RI de 10/100 000 p/a (IC 95 % = 3 a 30) para cáncer de vagina, con una disparidad equivalente después de la presentación de lesiones precursoras en cada zona anatómica (Clifford y col., 2021). Específicamente, en el caso de pacientes con historia de lesiones precursoras cervicales de alto grado (neoplasia intraepitelial cervical, NIC 2 y NIC 3) o cáncer cervicouterino, los índices de riesgo (HR, por sus siglas en inglés: hazard rate), para cáncer anal se han calculado de 4.2 (IC 95 % = 3.4 a 5) para NIC 3, y HR de 2.9 (IC 95 % = 2.0 a 4.1) para NIC 2, con una RI de 6/100 000 mujeres de 40 a 49 años, y hasta 24/100 000 a partir de los 60 años (Sand y col., 2016).

Las lesiones precursoras de cáncer anal, llamadas neoplasias intraepiteliales anales (NIA), cuentan con diferentes grados de atipias celulares, previo al desarrollo de un cáncer invasor, y su diagnóstico se ha asociado con la infección por el VPH en forma incidental o asociado a condilomas anales (Elorza y col., 2016).

Estas lesiones son identificadas a través de pruebas de tamizaje, como la citología de la zona de transición anal e identificación del genoma del virus. El diagnóstico definitivo se establece a través de anoscopia de alta resolución, con toma de biopsia de las lesiones (Krzowska-Firych y col., 2019). El tratamiento de este tipo de cáncer es altamente agresivo y tiene una probabilidad alta de recurrencia y un riesgo elevado de mortalidad a corto plazo. De ahí que se sugiera dar un seguimiento del paciente con lesiones precursoras anogenitales, ante el alto riesgo de progresión a cáncer invasor (Ramírez-Padilla y col., 2020). La identificación de poblaciones de riesgo para desarrollar cáncer anal permite diseñar estrategias de tamizaje, para identificar lesiones precursoras, dar un tratamiento oportuno y evitar así su progresión hacia un cáncer invasor anal (Clifford y col., 2021).

El objetivo del presente trabajo fue mostrar el estado actual de la información epidemiológica que vincula el riesgo de desarrollar cáncer anal en mujeres con lesiones precursoras de cáncer cervical asociadas a la infección por Virus del Papiloma Humano.

Estrategia de búsqueda de la información

Se realizó la búsqueda de artículos publicados en los últimos 7 años (2015-2022), en las plataformas de Medline, Embase, Pubmed, Research Rabbit, Google académico y World Wide Science. Se elaboró una síntesis de los hallazgos relevantes sobre la temática de lesiones precursoras y cáncer anal, en mujeres con historia de lesiones de displasia cervical e infección genital por VPH. Se incluyeron artículos de revisión, trabajos narrativos de expertos, revisiones sistemáticas y artículos originales que aportan el mayor nivel de evidencia, sin restricción de región geográfica, en idiomas inglés y español. La búsqueda se complementó con información específica en páginas web con información oficial de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), Instituto Nacional de Cáncer (NIH, por sus siglas en inglés: National Cancer Institute), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Los términos de búsqueda (términos MeSH) incluyeron “neoplasia anal” (anus neoplasm) OR “neoplasia intraepitelial anal” (anal intraepithelial neoplasia) OR “Infección por Virus del Papiloma Humano” (Human Papillomavirus infection) AND “displasia cervical” (cervical dysplasia) not “Virus de Inmunodeficiencia Humana” (Human Immunodeficiency Virus). Al hacer la búsqueda con el último criterio se obtuvo un número de publicaciones limitado, por lo que, se decidió incluir en la búsqueda estudios de mujeres con VIH, así como, estudios que dividieran a la población en dos grupos: con y sin VIH.

Se realizó una evaluación de la calidad de los trabajos de acuerdo con el tipo de publicación: para trabajos narrativos, revisión de expertos y revisiones sistemáticas se consideraron principalmente las palabras clave descritas previamente; los estudios observacionales se analizaron conforme con la iniciativa STROBE (directrices para la comunicación de estudios observacionales en epidemiología). Se dio prioridad a publicaciones de revistas con alto factor de impacto.

Se obtuvieron datos como incidencia, prevalencia de lesiones precursoras y cáncer anal, descripción de evolución natural de VPH a nivel anogenital, factores de riesgo asociados para presentación de lesiones precursoras anales y genitales en conjunto y datos demográficos. El material analizado se organizó siguiendo la estructura de una revisión narrativa.

Virus del papiloma humano y cáncer anal

Epidemiología del cáncer anal

El cáncer anal se define como una lesión invasora que se desarrolla en la mucosa del canal anal, a 1 cm o 2 cm de la línea dentada del surco inter-esfinteriano que separa el margen del canal anal. El 85 % de dicha variante de cáncer son de estirpe escamosa o epitelial, 10 % son adenocarcinomas y el 5 % son tipo melanoma, carcinomas de células pequeñas y tumores metastásicos de sitios primarios (Nelson y Benson, 2017).

La incidencia del cáncer anal, a nivel mundial, es de 0.6/100 000 habitantes con 50 865 casos nuevos al año, de los cuales, el 57 % se ha detectado en el sexo femenino (Sung y col., 2021). En los últimos 10 años se ha incrementado en forma progresiva, llegándose a reportar por algunos autores, incidencias de hasta 2.5/100 000 habitantes, con una sobrevivida calculada a 5 años de 65.7 % (Shiels y col., 2015; Stier y col., 2015). En México, la incidencia de cáncer anal se ha estimado en 308 casos nuevos/año y 81 muertes anuales, con una prevalencia a 5 años de 0.64/100 000, situándose en el lugar 33 de causa de muerte entre los fallecimientos por cáncer en la población de este país (Globocan, 2020). No se cuenta con un registro relacionado por estados de la República, ya que dicho tipo de cáncer se engloba en los cánceres colorrectales, representando del 1 % a 2 % del total de esta clase de cánceres (Mayer, 2019), reportándose una tasa de mortalidad de cáncer colorrectal en el estado de Puebla de 0.55/10 000 habitantes (INEGI, 2021).

Virus del papiloma humano como factor etiológico del cáncer anal

El VPH posee una cápside icosaédrica de 55 nm de diámetro con un genoma de ADN circular de doble cadena de alrededor de 8 000 pares de bases; dichos virus infectan tanto epitelios cutáneos como mucosos y generan diferentes espectros clínicos (CDC, 2020). El genoma de estos virus contiene marcos de lectura que codifican para proteínas, tanto estructurales como no estructurales. Las proteínas estructurales forman la cápside viral y las no estructurales desempeñan diversas funciones, tales como: la replicación del genoma viral, la regulación de la transcripción de los genes virales, la proliferación celular, la apoptosis, la evasión de la respuesta inmune, entre otras (Santos-López y col., 2015).

Existen más de 200 genotipos de VPH, algunos de los cuales se han vinculado con el desarrollo de lesiones precursoras y cáncer anogenital (Erazo-Luna y Velásquez-Lopera, 2019). Este tipo de cáncer se ha relacionado con la infección persistente del VPH, similar al cán-

cer cervicouterino, con una carga mundial atribuible de 40 000 nuevos casos, de los cuales, 35 000 casos (88 %) corresponden a mujeres, con una contribución relativa del VPH del 88 % (de-Martel y col., 2017).

La clasificación epidemiológica de los VPH considera la prevalencia de los genotipos virales tanto en lesiones benignas como en los tumores malignos de cérvix, para determinar su potencial oncogénico. Esta clasificación tiene ciertas limitaciones, ya que hace difícil agrupar a los genotipos de baja prevalencia, además de que la presencia de co-infecciones (infección con más de un genotipo viral) complica determinar el papel que pueden tener ciertos genotipos en el desarrollo del cáncer. La clasificación epidemiológica considera cuatro grupos: alto riesgo y probable alto riesgo, que incluyen cada uno 12 genotipos virales, bajo riesgo que también tiene 12 genotipos y riesgo indeterminado que cuenta con 21 (Tabla 1) (Alarcón-Romero y col., 2022).

La Agencia de Investigación Global de Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés: International Agency for Research on Cancer) clasifica a los VPH en tres grupos (Tabla 1). Los criterios que considera son: la prevalencia de los genotipos en los diferentes grupos diagnósticos, la clasificación filogenética y su presencia en infecciones únicas o co-infecciones, de tal manera que, utiliza un mayor número de criterios que la clasificación epidemiológica, lo que le permite agrupar con mayor certeza a los genotipos virales de baja prevalencia. La IARC considera los siguientes grupos: carcinogénicos (grupo 1), que incluye a 12 genotipos; probable y posiblemente carcinogénicos (grupo 2) que comprende a 15 genotipos; bajo riesgo carcinogénico (grupo 3) que incluye a 11 (Tabla 1). Los genotipos de alto riesgo identificados como de mayor prevalencia, son los del Grupo 1: VPH-16, -18, -31, -33, -35, -39, -45 y -51, a los que se les atribuye el 96 % de la contribución relativa de cáncer anal, siendo los dos primeros, los de mayor prevalencia en lesiones ana-

■ **Tabla 1. Agrupación de los VPH según su riesgo para desarrollar cáncer anogenital, de acuerdo a la Clasificación epidemiológica y la propuesta por la IARC.**

Table 1. HPVs grouping based on their risk for developing anogenital cancer, according to the epidemiological classification and the proposal by the IARC.

Grupo	Genotipos de VPH
Clasificación epidemiológica	
Alto riesgo	-16, -18, -31, -33, -35, -39, -45, -51, -52, -56, -58, -59
Probable alto riesgo	-26, -34, -53, -66, -67, -68, -69, -70, -73, -82, -85, -97
Bajo riesgo	-6, -11, -13, -40, -42, -43, -44, -54, -61, -72, -81, -89
Riesgo indeterminado	-2, -3, -7, -10, -27, -28, -29, -30, -32, -55, -57, -62, -71, -74, -77, -83, -84, -86, -87, -90, -91
IARC	
Carcinogénicos (Grupo 1)	-16 -18, -31, -33, -35, -39, -45, -51, -52, -56, -58, y -59
Probable y posiblemente carcinogénicos (Grupo 2)	-5, -8, -26, -30, -34, -53, -66, -67, -68, -69, -70, -73, -82, -85, -97
Bajo riesgo (Grupo 3)	-6, -11, -40, -42, -43, -44, -54, -61, -72, -81, -89

*Fuente: (Alarcón- Romero y col., 2022).

les a nivel mundial, representando el 80.6 % de dicha contribución (de-Martel y col., 2017).

Los genotipos del VPH-AR parecen desempeñar un papel fundamental en la etiopatogenia de cáncer anal, similar a lo reportado en el cáncer cervicouterino, promoviendo cambios histológicos de tipo epitelial con diversos grados de profundidad y atipias o NIA (2 y 3 o de alto grado), estando presentes en el 88 % a 93 % de las lesiones anales, siendo los genotipos de AR más prevalentes los VPH-16, VPH-18 y VPH-31 (Padilla-España y col., 2016). Los genotipos de VPH-AR más prevalentes, reportados en mujeres a nivel anal, fueron VPH-16, -45, -52, -18 y -35, los cuales variaron de acuerdo con ciertas condiciones estudiadas (mujeres VIH seropositivas, técnica utilizada para identificación de VPH, edad del paciente, lesiones precursoras genitales). En reportes de cohortes de mujeres predominantemente VIH seronegativas, la prevalencia de VPH-AR anal, sin ninguna lesión precursora cervical, se reportó desde un 4 % a 22 %, en tanto que, se presentaron prevalencias de 23 % a 36 % en mujeres con patología relacionada con infección por VPH en vulva, vagina y cuello uterino (Stier y col., 2015).

En un estudio multicéntrico que involucró a 24 países, se analizó una cohorte retrospectiva de 539 muestras histológicas con diagnóstico de cáncer invasivo anal, lesión de bajo grado (NIA 1) y lesión de alto grado (NIA 2 y 3), las cuales fueron obtenidas desde 1986 hasta el 2011. Se detectó ADN viral en las lesiones precursoras, incluyendo genotipos de AR. La prevalencia de VPH fue del 95 % en lesiones precursoras de alto grado (AG), y una prevalencia del 88 % en cáncer invasivo anal. El VPH-16 fue el que registró mayor presencia, con 75.4 % en lesión intraepitelial escamosa de alto grado (LIE-AG) y 80.7 % en cáncer anal; seguido del VPH-18 (3.6 %), lo que permitió afirmar que, la infección por VPH es una causa para el padecimiento de cáncer anal y cervicouterino (Alemany y col., 2015).

La persistencia de la infección (mayor a 2 años), está relacionada con características propias

del virus (genotipos de AR), con reinfecciones del virus (asociado con prácticas de riesgo del hospedero), así como, con factores del hospedero (estados que condicionan inmunosupresión) (Della-Fera y col., 2021). Las características antes mencionadas promueven el desarrollo de lesiones premalignas en la región anogenital y orofaríngea, que, a largo plazo, pueden progresar al desarrollo de cánceres invasivos en dichas zonas, llegándose a encontrar en el 100 % de cánceres epiteliales cervicales, 30 % de vulva, vagina y pene, 80 % a 90 % de cánceres anales y 20 % de orofaríngeos (Viens y col., 2016; National Cancer Institute, 2019).

Historia natural de lesiones precursoras y cáncer invasivo de ano en pacientes con displasias cervicales

Al igual que las lesiones precursoras del cérvix, las lesiones de ano cuentan con atipias celulares microscópicas hasta grados diversos de displasia, antes de progresar a un cáncer invasor (Elorza y col., 2016). Por lo anterior, la NIA, que es el homólogo de NIC, tiene cierta predilección por la zona de transición epitelial (70 % a 80 %), esto debido a que ambas regiones tienen el mismo origen embriológico, compartiendo características histológicas similares (Nelson y Benson, 2017).

Se desconocen muchos aspectos de la historia natural de este tipo de lesiones (NIA), pero se considera que la zona de transición anal presenta un alto recambio celular, por lo que se ha planteado un mecanismo fisiopatológico de infección por los VPH-AR y desarrollo de lesiones invasoras muy similar al del cáncer cervical (Nelson y Benson, 2017).

La historia natural de las lesiones invasoras inicia con la infección del virus en la región anogenital, calculándose que la mayor incidencia de infección por el virus se manifiesta en los primeros 10 años posterior al inicio de la vida sexual (Sendagorta-Cudós y col., 2019). La infección por VPH en los epitelios puede presentarse en dos formas: la productiva o transitoria, en donde se logra la eliminación del

virus sin ocasionar alteraciones displásicas; y la forma persistente, con un tiempo variable de infección, la cual es característica de los VPH-AR, en donde el resultado será una estimulación del desarrollo de lesiones precursoras, cuya historia natural puede progresar a cáncer invasor (Hernández-Hernández y col., 2015).

Mientras que el riesgo de padecer cáncer invasor anal en los hombres está relacionado con las prácticas de sexo anal receptivo, en las mujeres existen otros factores implicados de mayor relevancia, que se asocian con la presencia del virus en el epitelio anal y por consecuencia, con mayor riesgo de desarrollo de cáncer anal (Benevolo y col., 2022). El antecedente de infección por VPH cervical persistente, reinfecciones en el tracto anogenital o multi-infección por genotipos de AR, en forma simultánea, a nivel cervical, vulvar, vaginal y anal, así como, la presencia de lesiones precursoras de alto grado y cáncer cervical han sido reportados desde hace más de 20 años (Moscicki y col., 2015). Incluso, se ha planteado la presencia de “autoinoculación” del virus presente en secreciones cervicovaginales con las márgenes del ano, dependiendo la técnica y hábitos de limpieza al orinar o defecar (Simpson y col., 2016).

Además de las características relacionadas con la infección del virus, se ha planteado que, la aparición del cáncer anal en mujeres es una combinación de factores no virales asociados a la persistencia del VPH, como son tabaquismo, uso de anticonceptivos hormonales por largos períodos, multiparidad, co-infecciones de transmisión sexual y estado inmunológico del huésped, sobre todo en pacientes con inmunidad alterada (mujeres con VIH, estado post-transplante, principalmente hígado y riñón) y lesiones cutáneas tipo condilomas en el área genital (Krzowska-Firych y col., 2019).

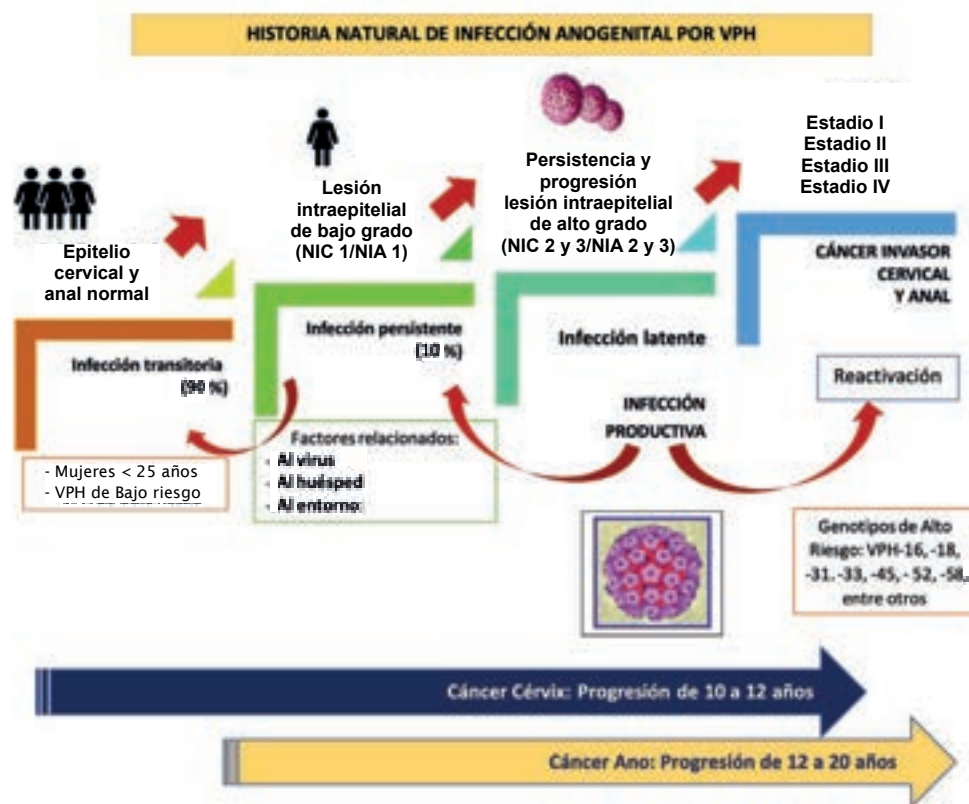
El desarrollo de cáncer anal y cervical se asocia con infección persistente por VPH-AR y con frecuencia son lesiones intraepiteliales de espesor total al momento del diagnóstico (Cronin y col., 2016). La infección persistente, por

fenómenos de deficiente aclaramiento del virus, incrementa hasta un 30 % el riesgo de convertirse en cánceres invasores, en un plazo de 10 a 20 años, si las lesiones no son tratadas en forma oportuna una vez identificadas (Moscicki y col., 2015).

Para el cáncer cervicouterino existen programas de tamizaje que permiten la detección temprana y el tratamiento de lesiones precursoras que evitan el desarrollo de la enfermedad, dichos programas han disminuido la incidencia de este tipo de cáncer (Instituto Nacional de Cancerología, 2016). Sin embargo, se ha encontrado que, el diagnóstico del cáncer anal es más tardío que el de cáncer cervical, con un retraso promedio de más de una década entre ambos (mediana de edad de 61 contra 49 años) (Stier y Chiao, 2017), esto probablemente relacionado por la falta de cribaje en zona anal, debido a la ausencia de síntomas asociados en etapas tempranas, a la incomodidad para la toma de muestras, al desconocimiento de la población femenina de ser población en riesgo, por no contar con antecedentes de prácticas sexuales de tipo anal, aun cuando esta última práctica, como se mencionó previamente, no se ha establecido como un factor de riesgo independiente para la infección de VPH anal persistente, lesiones precursoras o cáncer invasor anal en mujeres (Stier y col., 2015). La historia natural de la progresión de lesiones precursoras anales y cervicales son muy similares y algunos factores asociados a la presentación de cambios de malignidad asociado a VPH se muestran en la Figura 1.

Diagnóstico de lesiones precursoras, cáncer y detección del VPH a nivel anal

No existen directrices internacionales unificadas para el diagnóstico de lesiones precursoras y cáncer anal, solo se cuenta con recomendaciones de organizaciones para detección en las poblaciones de riesgo para desarrollar este tipo de lesiones (Khattab y col., 2018). La Sociedad Estadounidense de Colposcopia y Patología Cervical (ASCCP, por sus siglas en inglés: American Society for Colposcopy of Cervical Pathology) y la Sociedad de Neoplasia



■ Figura 1. Historia natural de infección por VPH anal y cervical, con progresión a lesiones precursoras y cáncer. Neoplasia intraepitelial cervical (NIC) y Neoplasia intraepitelial anal (NIA), NIC 2 y 3 (Neoplasia intraepitelial cervical de alto grado) y NIA 2 y 3 (Neoplasia intraepitelial anal de alto grado). VPH-AR (Virus del Papiloma Humano de alto riesgo). Modificado a partir de Fraga-Campo, 2010.

Figure 1. Natural history of anal and cervical papillomavirus infection, with progression to premalignant lesions and cervical cancer. Cervical intraepithelial neoplasia (CIN) and anal intraepithelial neoplasia (AIN), (LGSIL) and high grade squamous intraepithelial lesion (HGSIL). Human papillomavirus of high risk (HPV-HR). Modified from Fraga-Campo, 2010.

Anal, recomiendan practicar detecciones en mujeres infectadas con VIH, mujeres con detección previa de displasias cervicales, vaginales y/o vulvares de alto grado y carcinomas (Moscicki y col., 2015). El cribaje sugerido se recomienda con examen rectal digital (DARE, por sus siglas en inglés: digital anal rectal examination), asociado a citología anal exfoliativa (Papanicolaou, PAP anal, ya sea citología convencional o en base líquida) y se utiliza la misma descripción de lesiones citológicas cervicales (sistema Bethesda), catalogando a las lesiones de acuerdo con criterios cito-morfológicos y extensión de la lesión, así como, repor-

tando algunos cambios morfológicos sugestivos de infección por VPH como células escamosas atípicas de significado indeterminado (ASC-US por sus siglas en inglés: atypical cells of uncertain significance), células escamosas anormales que tal vez pudieran ser de alto grado (ASC-H, por sus siglas en inglés: abnormal squamous cells may be of high grade), lesiones intraepiteliales escamosas de bajo grado (LIE-BG) y lesión intraepitelial escamosa de alto grado (LIE-AG) (Pangarkar, 2022).

La sensibilidad de la citología anal, en una sola prueba, para detección de lesiones de AG,

ha sido reportada desde un 55 % a 93 %. La especificidad se estima del 32 % a 81 %, con un valor predictivo positivo (VPP) para lesiones indiferenciadas del 26 % a 57 % y un valor predictivo negativo (VPN) del 82 % a 88 % (Moscicki y col., 2015). En otro estudio más reciente, documentan una sensibilidad del PAP anal para las NIA del 76 %, una especificidad del 49 %, un VPP del 62 % y un VPN del 65 %, comparando el diagnóstico histológico vía anoscopía de alta resolución (Aguiar y col., 2020). El principal problema con esta clase de evaluación es que se reportan altas tasas de muestras insatisfactorias, que, en muchos casos, se infiere que son pacientes “negativos a lesión”. Al respecto, un trabajo retrospectivo documentó tasas de hasta 10 % de muestras insatisfactorias, demostrando que, en el seguimiento a un año, el 14 % de estos pacientes presentaron anomalías citológicas escamosas y el 2 % una lesión de alto grado en reporte histopatológico (Khattab y col., 2018). Es por ello que, la recomendación es repetir dichos estudios a intervalos regulares, como prueba de tamizaje. En caso de encontrar alteraciones, los pacientes deberán remitirse para la realización de estudios confirmatorios (Moscicki y col., 2015).

Con respecto a la detección del VPH, esta se realiza a través de la identificación de ácidos nucleicos virales en las muestras clínicas (Elfström y col., 2021). La elección de la prueba dependerá del propósito de la misma, ya sea si se aportarán resultados para su utilización en la práctica clínica (aunado al cribado citológico), si se utilizará para estudios epidemiológicos y planeación de vacunas o para ensayos de investigación (Sendagorta-Cudós y col., 2019). Existen en el mercado una amplia variedad de métodos de detección del VPH, las evaluaciones directas identifican el genoma viral o bien, los transcritos de los oncogenes E6 y E7, los cuales pueden variar en sensibilidad y especificidad si se asocian a otras pruebas diagnósticas (Torres-Poveda y col., 2020). En la actualidad, los estudios de detección de VPH solo han sido validados para muestras cervicales, y la dificultad para el acceso y el costo, de algunos de ellos, hacen

que no se encuentren disponibles para todo tipo de población, sobre todo, en países en vías de desarrollo (Torres-Poveda y col., 2020).

Considerando la alta prevalencia de infección por VPH en mujeres jóvenes, las pruebas moleculares de detección del virus, como estudio de tamizaje cervical, no se recomiendan antes de los 30 años (DOF, 2007). Así mismo, no se cuenta con recomendaciones para realizar detección de VPH en forma conjunta con la citología anal, por lo tanto, se desconoce la utilidad del uso de la citología y el diagnóstico molecular del VPH en conjunto, por lo que, el diagnóstico de NIA, al igual que las lesiones precursoras cervicales, se complementan con realización de anoscopía de alta resolución con visualización directa del área afectada y toma de biopsia (Ortiz-Bautista y Méndez-Cano, 2018). La utilidad de la detección molecular del genoma viral como prueba de cribaje, fue evaluada, encontrando una sensibilidad de la prueba molecular Captura de Híbridos para detección de lesiones precursoras anales (NIA), del 70 %, una especificidad del 31 %, un VPP del 55 % y un VPN del 55 %, no mostrando diferencias entre la citología anal y la prueba de detección del VPH (Aguiar y col., 2020). El uso de ambos estudios en el tamizaje de las NIA podría incrementar la sensibilidad y especificidad, mejorando así el diagnóstico temprano de esta neoplasia.

La anoscopía de alta resolución es considerada el estándar de oro para el diagnóstico de lesiones precursoras y cáncer de ano, lográndose a reportar una sensibilidad del 100 %, una especificidad del 71 %, un VPP 32 % y un VPN 100 %, al combinarse con la toma de biopsia (Ortiz-Bautista y Méndez-Cano, 2018). Este tipo de estudio sirve para realizar diagnósticos de certeza ante otras pruebas de cribaje positivas y en población de alto riesgo de lesiones precursoras o cáncer anal. Sin embargo, la anoscopía de alta resolución tiene el inconveniente de ser costosa y no estar disponible en todos los centros hospitalarios, además de ser operador dependiente (Nelson y Benson, 2017).

Existe la modalidad de cromoendoscopia digestiva magnificada, que es una variante de la anoscopia de alta resolución, que consiste en introducir un anoscopio transparente y la tinción de la pared del canal anal. Esta tinción se realiza con ácido acético al 4 %. Con esta señalización, se procede a realizar biopsias dirigidas de las lesiones aceto-blancas, para corroborar el diagnóstico histológico (Aguiar y col., 2018).

La ecografía endo-anal ayuda a determinar la profundidad de una lesión invasora anal. Se ha llegado a reportar una sensibilidad del 100 % y una precisión del 67 %, en comparación con la toma de biopsia. Así mismo, se mencionan algunas otras técnicas de imagen, como la tomografía computada con medio de contraste y la resonancia magnética, siendo de gran utilidad para imágenes locales, tumores primarios y lesiones recurrentes (Ciombor y col., 2017).

Riesgo para lesiones precursoras anales y cáncer invasor en mujeres con displasias cervicales de alto grado

La importancia de realizar una detección oportuna de VPH anal, en mujeres con lesiones precursoras de cáncer cervical, radica en el comportamiento a largo plazo de desarrollo de malignidad anal antes mencionado. Para establecer esta relación, algunos autores han utilizado información retrospectiva de cánceres incidentales anales de sus registros nacionales de diferentes tipos de cáncer, estimándose modelos de regresión para cálculo de cocientes de riesgo (Stier y col., 2015).

La estimación de riesgo durante el primer año para cáncer anal, posterior al diagnóstico de NIC 3, fue 7 veces mayor (HR 7.9; IC 95 % = 2.6 a 18.8), en comparación con mujeres no expuestas, riesgo que disminuía después de ese primer año de diagnóstico, para volver a incrementar 24 años, posteriores al diagnóstico inicial, hasta un HR 4.8 (IC 95 % = 3.3 a 7.0). Dicho riesgo inició en el momento de diagnóstico de displasia cervical, con una incidencia acumulada de 6/100 000 p/a a los 40 a 49 años, elevándose hasta 24/100 000 p/a a los 60 años.

En el caso de NIC 2, el patrón fue similar, solo con menor riesgo, reportándose un HR 3.5 (IC 95 % = 2.0 a 2.9) (Sand y col., 2016).

Lin y col. (2019), realizaron una estimación de riesgo de prevalencias de lesiones anales reportadas por cito-histopatología, asociadas a lesiones precursoras cervicales e infección por VPH, específicamente el genotipo VPH-16. En esta revisión sistemática se incluyeron 36 estudios, divididos en subpoblaciones, incluyendo a 3 607 mujeres seronegativas para VIH y 6 468 pacientes con estado de VIH desconocido. Las lesiones de alto grado de displasia anal se asociaron con reporte de alteraciones de alto grado de displasia cervical en un 22 % de pacientes VIH negativas, con un índice de prevalencias (PR de 23.1; IC 95 % = 9.4 a 5.7; $P < 0.001$), donde el genotipo VPH-16 se encontró en un 24 % en cérvix, muy superior al 2 % de las pacientes donde no se encontró al virus (PR 12.6; IC 95 % = 6.7 a 24.8, $P < 0.001$).

En un estudio que incluyó un millón de mujeres y cuyo objetivo inicial fue investigar factores asociados a cáncer de mama, se reportaron también estimaciones de otros tipos de cáncer, incluyendo el anal. Después de 13 años de seguimiento, 517 mujeres fueron diagnosticadas con cáncer anal incidental y el factor de riesgo encontrado en mayor proporción en estas pacientes fue un historial de diagnóstico previo de NIC 3, con un riesgo relativo (RR) = 4.03 (IC del 95 % = 2.59 a 6.28), después del ajuste de otros factores, como el tabaquismo, el consumo de alcohol, el índice de masa corporal (IMC), la edad de la menarquia, el uso de anticonceptivos orales, entre otros (Coffey y col., 2015).

La combinación de infección por VPH en la región anal con la presencia de lesiones premalignas cervicales o bien la presencia del virus de forma simultánea en ambas regiones anatómicas se considera condicionante para el desarrollo de lesiones premalignas anales. Mientras que la prevalencia de infección anal por el VPH en mujeres sin antecedentes de

alteraciones cervicales es en promedio del 6 % (rangos entre 5 % a 22 %) (Tabla 2), la combinación de infección con VPH-AR anal en mujeres con algún tipo de lesión cervical se ha reportado entre el 23 % y el 86 % (Stier y col., 2015).

Algunos estudios documentan rangos de prevalencia de infección por VPH anal asociados a lesiones de displasia cervical del 50 % a 55 % (Sehna y col., 2014; Nasioutziki y col., 2020), incluso, hasta prevalencias calculadas arriba del 65 % (Donaire y col., 2017). Este rango de prevalencias tan amplio se ha relacionado con el tipo de población evaluada, la técnica de detección del VPH, el tipo de prácticas sexuales y estado inmunológico. En población latina, se han reportado prevalencias del 30 % a 35 % (Sánchez-Corredor y col., 2020) y la prevalencia de VPH anal en mujeres con lesiones cervicales de AG y BG del 46.5 % (Latan y col., 2017). En México, un estudio de 311 pacientes reportó una prevalencia de VPH anal del 30.8 %, una prevalencia del virus en ambas zonas del 18 %, de los cuales, el 61 % de las pacientes contaban con el mismo genotipo de VPH en las regiones anal y cervical (González-Losa y col., 2016).

La infección concomitante a nivel anal y cervical del VPH se analizó en una cohorte de mujeres con diagnóstico de displasias cervicales de alto grado, encontrando ADN de VPH en 55.1 % de las muestras cervicales y en 54.2 % en ano (Tabla 2), con una correlación moderada (coeficiente $\phi > 0.40$) para VPH-16, -31, -33, -52 y -58 con valores estadísticamente significativos ($P < 0.001$) (Nasioutziki y col., 2020).

Las mujeres con infección asociada a VPH-AR cervical pueden tener altas tasas de infección por VPH anal, con citología anal anormal, sobre todo lesiones de displasia de alto grado. Por ello, a este grupo se le ha considerado como de alto riesgo para el desarrollo de cáncer anal. Al respecto, un estudio reportó que el 18 % de las pacientes con citologías anales anormales presentaron infección simultánea anal y cervical, siendo las mujeres con

lesiones cervicales, asociadas a infección con VPH-AR, las que tuvieron 3 veces mayor probabilidad de tener VPH anal (OR 3.6; IC 95 %: 1.9 a 10.77; $P < 0.024$). La probabilidad de tener citología anormal anal, con la presencia de infección por VPH cervical, fue de más de 6 veces (OR 6.5; IC 95 %: 2.74 a 15.60; $P < 0.001$) (Lammé y col., 2014).

Se ha encontrado una probabilidad 3 veces mayor de tener una citología anormal asociada a una infección por VPH-AR (OR 3.87; IC 95 %: 2.32 a 6.454; $P < 0.001$), específicamente con VPH-16, en pacientes con historia de NIC de AG cervical o cáncer cervicouterino. Las mujeres con NIC 3 tuvieron mayor probabilidad de presentar alteraciones de AG en la citología anal (7.1 % *vs* 2.8 %, $P < 0.030$) e infección por VPH (40.5 % *vs* 15 %, $P < 0.001$). Las lesiones más frecuentemente encontradas por anoscopía fueron NIA de AG con un 66.7 % (Wohlmuth y col., 2021).

En cuanto a diferencias entre lesiones cervicales de AG y BG, un estudio reportó presencia del VPH en el 71.4 % de las muestras de cérvix y del 66.7 % en las muestras de ano. Los genotipos de mayor prevalencia de VPH-BR fueron el VPH-6 y el -11, y los genotipos de VPH-AR fueron el VPH-16 y -18 (Latan y col., 2017). Así mismo, en Colombia, se encontró una prevalencia de infección por VPH anal del 32 % en mujeres con displasia cervical confirmada, siendo la detección del virus del 54 % en las mujeres con lesiones cervicales de AG. Los genotipos mayormente encontrados también fueron el VPH-16 y -18 (Sánchez-Corredor y col., 2020). En otro estudio, donde solo se incluyeron pacientes inmunocompetentes con reporte de NIC de AG, se reportó un 10 % de prevalencia de alteraciones en citología anal y de éstas, las lesiones de AG tuvieron una prevalencia del 28 %. En este estudio, además, se analizaron otros factores relacionados con alteraciones cito-histopatológicas, como el promedio de embarazos, partos vaginales y abortos espontáneos, dichos factores tuvieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.01$) (Brum y col., 2022).

■ **Tabla 2. Estudios que establecen la relación entre lesiones precursoras y cáncer cervical positivos a VPH-AR y el cáncer anal.**

Table 2. Studies reporting the relation between premalignant lesions, and cervical cancer positive to VPH-AR and the anal cancer.

VPH anal, alteraciones citológicas	Genotipos de VPH	IARC
Incidencia cáncer anal 0.55/100 000 a 2.4/100 000. Prevalencia de infección por VPH anal en mujeres sin LIE cervicales del 6 % (5 % a 22 %), en mujeres con LIE cervical (23 % a 86 %).	Revisión sistemática	Stier y col. (2015)
Mujeres con LIE-AG: cociente de riesgo (HR) de 4.2 veces mayor para desarrollo de cáncer invasor anal incidental.	Retrospectivo	Sand y col. (2016)
Mujeres con NIC 3 presentaron un RR = 4.03 para desarrollo de cáncer anal incidental, después del ajuste de otros factores.	Prospectivo	Coffey y col. (2015)
En mujeres con neoplasia cervical, la prevalencia de VPH-AR anal fue de 32.5 % y la citología anal anormal de 17.6 %. Mujeres con VPH-AR cervical presentaron mayor probabilidad de tener VPH-AR anal.	Prospectivo	Lammé y col. (2014)
En mujeres con neoplasia cervical, la prevalencia de VPH-AR en cérvix fue de 55.1 % y anal de 54.2 %. Los genotipos de VPH detectados en el cérvix correlacionaron con los de la región anal.	Prospectivo	Nasioutziki y col. (2020)
Mujeres con diagnóstico citopatológico cervical y anal. Las LIE-AG anales estuvieron asociadas con la presencia de VPH-AR cervical, la prevalencia de VPH-16 anal fue del 41 % en mujeres positivas a VPH-16 cervical.	Revisión sistemática	Lin y col. (2019)
Mujeres con lesiones escamosas de alto grado. Las mujeres con LIE-AG cervical tienen un mayor riesgo de desarrollar LIE de ano.	Prospectivo	Wohlmuth y col. (2021)
Displasias cervicales con una prevalencia de VPH-AR cervical y anal del 18 %, y en NIC 3 la identificación VPH anal fue 35 %, VPH-16 más frecuente.	Transversal	González-Losa y col. (2016)
Mujeres con LIE cervical presentaron infección con VPH-AR en cérvix-ano del 46.5 % (1.5 veces mayor probabilidad de adquirir infección anal con infección cervical).	Prospectivo	Latan y col. (2017)
Mujeres con LIE cervical presentaron una prevalencia de VPH-AR del 32 % en la región anal y un 2 % citología anal anormal.	Transversal	Sánchez-Corredor y col. (2020)

VPH-AR: Virus del papiloma humano de alto riesgo; NIC: Neoplasia Intraepitelial Cervical; LIE-BG y AG: Lesión intraepitelial de bajo grado y alto grado; VIH: Virus de Inmunodeficiencia Humana; HR: Hazard Ratio (cociente de riesgo); RR: Riesgo Relativo.

En mujeres mexicanas, con reportes de diferentes grados de anormalidades cervicales, se registró una prevalencia de infección por el VPH del 41.5 % en las muestras cervicales y del 30.8 % en las muestras anales (VPH-16, -18, -45 y -58). La infección en ambos lugares anatómicos fue del 18 % de las mujeres, y de ellas, el 11.25 % presentaron el mismo genotipo viral, siendo el VPH-16 el de mayor prevalencia (34 %), seguido de VPH-58 (32 %) y del VPH-18 (19 %). La presencia de estos genotipos en cérvix fue la única variable asociada a la infección por VPH en ano (OR 2.85; IC 95 %: 1.68 a 4.84, P = 0.000 0) (González-Losa y col., 2016).

Consideraciones y recomendaciones de detección de cáncer anal en mujeres con historia de displasia cervical

La información disponible en la literatura científica y discutida previamente permite establecer que existen varias condiciones importantes a considerar respecto a la infección por VPH, la presencia de displasia cervical y displasia anal y el riesgo de desarrollar cáncer invasivo anal (Tabla 1):

- La incidencia de cáncer anal ha incrementado de 0.55/100 000 a 2.4/100 000 habitantes en los últimos 10 años.
- La carga atribuible global de VPH-AR en cáncer anal es del 88 % y en lesiones precursoras anales se estima en 95 %.
- Los genotipos de VPH-AR (VPH-16, -18, -31, -33, -35, -39, -45 y -51) se asocian con el 96 % de los casos de cáncer anal, y los dos primeros se consideran los de mayor prevalencia (80.6 %).
- Las displasias cervicales de AG (NIC 2 y 3) y cáncer cervical se asocian a un riesgo estimado de 2.9 y 4.2 veces mayor para el desarrollo de lesiones precursoras a nivel anal, y dicho riesgo es mayor en personas con más de 60 años.
- Las mujeres con infección asociada a VPH cervical pueden tener altas tasas de infección

por VPH anal, citología anal anormal y estadios de displasia anal de AG, condicionando un riesgo mayor para desarrollo de cáncer anal invasor.

- La citología anal (PAP anal) es un estudio de cribaje altamente sensible, pudiendo incrementar especificidad asociado a detección de ADN del VPH. Las recomendaciones sugeridas en pacientes de riesgo, como las mujeres con lesiones de displasia cervical, son el de repetir estas pruebas a intervalos regulares en forma de prueba de tamizaje, asociándose a la exploración digital anal. De encontrarse alteraciones, las pacientes deberán remitirse para realización de pruebas confirmatorias.

CONCLUSIONES

La evidencia científica establece la importancia de realizar citologías anales en mujeres con lesiones precursoras de cáncer cervical e infección por virus del papiloma humano (VPH). Es conveniente, por ello, considerar complementar el actual programa de detección de cáncer cervicouterino, agregando un modelo de prevención integral, en el que se incluyan pruebas de tamizaje en la región anal, así como la concientización sobre la prevención de cáncer anal en este grupo de riesgo. Si bien en diversos países del mundo se recomienda la prueba de cribaje para cáncer anal en los grupos de riesgo, en México no existen directrices para la detección temprana de este tipo de cáncer, por lo que se necesitan más estudios de prevalencia de infección por VPH anal y presencia de lesiones precursoras de cáncer anal en mujeres con antecedentes de lesiones de displasia de alto grado cervical, cáncer invasor e infección por VPH en ambas zonas anatómicas, que sustenten la importancia de realizar la prueba de cribaje, así como la de implementar la vacunación contra el VPH en los grupos de riesgo.

REFERENCIAS

- Aguiar, C., García, L., Boccardo, B. M., Vassel, M., Arriola, A., Jaumandreu, S., ..., and Heard, I. (2020). Anal PAP, HPV tests and magnifying chromoendoscopy with biopsies in the diagnosis of anal intraepithelial neoplasia. *Journal of Coloproctology*. 40(3): 220-226.
- Aguiar, C., Jaumandreu, S., Álvarez, C. y Rodríguez, M. C. (2018). Uso de la cromosendoscopia digestiva con magnificación en el diagnóstico de la neoplasia intraepitelial anal. *Acta Gastroenterología Latinoamérica*. 48(3): 206-212.
- Alarcón-Romero, L. D. C., Organista-Nava, J., Gómez-Gómez, Y., Ortiz-Ortiz, J., Hernández-Sotelo, D., Del-Moral-Hernández, O., ..., and Gómez-Gómez, Y. (2022). Prevalence and distribution of Human Papillomavirus genotypes (1997–2019) and their association with cervical cancer and precursor lesions in women from southern Mexico. *Cancer Control*. 29: 10732748221103331.
- Aleman, L., Saunier, M., Alvarado-Cabrero, I., Quirós, B., Salmeron, J., Shin, H. R., ..., de-Sanjósé, S. (2015). Human papillomavirus DNA prevalence and type distribution in anal carcinomas worldwide. *International Journal of Cancer*. 136(1): 98-107.
- Benevolo, M., Latini, A., Rollo, F., Giuliani, M., Giglio, A., Giuliani, E., ..., and Donà, M. G. (2022). Incidence of abnormal anal cytology in HIV-infected and HIV-uninfected men who have sex with men. *Cancer Cytopathol*. A head of print.
- Bertoli, H. K., Thomsen, L. T., Iftner, T., Dehlendorf, C., and Kjær, S. K. (2020). Risk of vulvar, vaginal, and anal high-grade intraepithelial neoplasia and cancer according to cervical human papillomavirus (HPV) status: A population-based prospective cohort study. *Gynecologic Oncology*. 157(2): 456-462.
- Brum, V. O. R., Tricoti, A. S. O., Pannain, G. D., Drumond, D. G., and Leite, I. C. G. (2022). Cytology-based Screening for Anal Intraepithelial Neoplasia in Immunocompetent Brazilian Women with a History of High-Grade Cervical Intraepithelial Neoplasia or Cancer. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetricia*. 44(7): 678–685.
- CDC, Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (2020). Tasas del cáncer anal asociado al VPH por raza y grupo étnico | CDC. Base de datos SEER*Stat del Programa Nacional de Registros del Cáncer: Archivo analítico de incidencia, en *Informe Estadísticas del Cáncer en los Estados Unidos, 1998–2017*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/spanish/cancer/hpv/statistics/anal.htm>. Fecha de consulta: 5 de agosto de 2022.
- Ciombor, K. K., Ernst, R. D., and Brown, G. (2017). Diagnosis and diagnostic imaging of anal canal cancer. *Surgical Oncology Clinics*. 26(1): 45-55.
- Clifford, G. M., Georges, D., Shiels, M. S., Engels, E. A., Albuquerque, A., Poynten, I. M., ..., and Stier, E. A. (2021). A meta-analysis of anal cancer incidence by risk group: Toward a unified anal cancer risk scale. *International Journal of Cancer*. 148(1): 38-47.
- Coffey, K., Beral, V., Green, J., Reeves, G., and Barnes, I. (2015). Lifestyle and reproductive risk factors associated with anal cancer in women aged over 50 years. *British Journal of Cancer*. 112(9): 1568-1574.
- Cronin, B., Bregar, A., Luis, C., Schechter, S., Disilvestro, P., Pisharodi, L., ..., and Robison, K. (2016). Evaluation of anal cytology and dysplasia in women with a history of lower genital tract dysplasia and malignancy. *Gynecologic Oncology*. 141(3): 492-496.
- Della-Fera, A. N., Warburton, A., Coursey, T. L., Khurana, S., and McBride, A. A. (2021). Persistent Human Papillomavirus Infection. *Viruses*. 13(2): 321.
- De-Martel, C., Plummer, M., Vignat, J., and S. (2017). Worldwide burden of cancer attributable to HPV by site, country and HPV type. *International Journal of Cancer*. 141(4): 664-670.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2007). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA2-1994. Para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento, control y vigilancia epidemiológica del cáncer cérvico uterino. *Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Salud*. 52-70.
- Donaire, C., Reillo, M., Martínez-Escoriza, J. C., and López-Fernández, J. A. (2017). Anal study in immunocompetent women with human papillomavirus related lower genital tract pathology. *European Journal of Obstetrics and Gynecology and Reproductive Biology*. 211: 25-20.
- Elfström, K. M., Eklund, C., Lamin, H., Öhman, D., Hortlund, M., Elfgren, K., ..., and Dillner J. (2021). Organized primary human papillomavirus-based cervical screening: A randomized healthcare policy trial. *PLoS Med*. 18(8): e1003748.
- Elorza, G., Saralegui, Y., Enríquez-Navascués, J. M., Placer, C., and Velaz, L. (2016). Neoplasia intraepitelial anal: una revisión de conjunto. *Revista Española de Enfermedades Digestivas*. 108(1): 31-39.
- Erazo-Luna, E. V. and Velásquez-Lopera, M. M. (2019). Immunological response to human papilloma virus. *Dermatología Revista Mexicana*. 63(1): 40-59.
- Fraga-Campo, S. (2010) HPV. Cribado de cáncer de

cérvix Vacunación. [En línea]. Disponible en: <https://www.quironsalud.es/es/comunicacion/agenda-eventos/1-jornada-ginecologia-obstetricia-atencion-primaria.ficheros/461053cribado%20cancer%20cervix.%20VPH.%20Vacuna.pdf>PT. Fecha de consulta: 5 de agosto de 2022.

Globocan (2020). México. The Global Cancer Observatory. International Agency for Research on Cancer, in World Health Organization. [En línea]. Disponible en: <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/484-mexico-fact-sheets.pdf>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2022.

González-Losa, M. R., Puerto-Solís, M., Ayora-Talavera, G., Gómez-Carvalho, J., Euán-López, A., Cisneros-Cutz, J. I., ..., and Conde-Ferrández, L. (2016). Prevalence of anal infection due to high-risk human papillomavirus and analysis of E2 gene integrity among women with cervical abnormalities. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 36(4): 209-213.

Hernández-Hernández, D. M., Patlán-Pérez, R. Ma., y Apresa-García, T. (2015). Panorama epidemiológico del cáncer cervicouterino. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*. 53(2): S154-161.

INCAN, Instituto Nacional de Cancerología (2016). Programa Integral de Prevención y Control del Cáncer en México. [En línea]. Disponible en: https://www.iccp-portal.org/system/files/plans/PICCM_FINALINCAn_Enero2018.pdf. Fecha de consulta: 25 de enero de 2023.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021). Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer. Datos nacionales, en *Comunicado de prensa núm. 105/21*. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/cancer2021_Nal.pdf. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2022.

Khattab, R., McMeekin, E., Taege, A. J., Hekman, J. M., Brainard, J. A., Underwood, D., ..., and Sturgis, C. D. (2018). Unsatisfactory exfoliative anal cytology samples, 15-year experience with histologic, cytologic, and molecular follow-up. *Diagnostic Cytopathology*. 46(2): 117-121.

Krzowska-Firych, J., Lucas, G., Lucas, C., Lucas, N., and Pietrzyk, Ł. (2019). An overview of Human Papillomavirus (HPV) as an etiological factor of the anal cancer. *Journal of Infection and Public Health*. 12(1): 1-6.

Lammé, J., Pattaratornkosohn, T., Mercado-Abadie, J., Alkhas, A., Robinson, A., and Lanneau, G. (2014). Concurrent anal human papillomavirus and abnormal anal cytology in women with known cervical dysplasia. *Obstetrics and Gynecology*. 124(2 Pt 1): 242-248.

Latan, J., Fernandes, A., López, M., Fermín, M., and Correnti, M. (2017). Detección de la infección por vi-

rus de papiloma humano en ano en pacientes con lesiones en cuello uterino. *Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela*. 77(2): 92-99.

Lin, C., Slama, J., Gonzalez, P., Goodman, M. T., Xia, N., Kreimer, A. R., ..., and Clifford, G. M. (2019). Cervical determinants of anal HPV infection and high-grade anal lesions in women: a collaborative pooled analysis. *The Lancet Infectious Diseases*. 19(8): 880-891.

Mayer, R. J. (2019). Cánceres de tubo digestivo bajo, en *Harrison. Principios de Medicina*. [En línea]. Disponible en: Interna. <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1717§ionid=114915201>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2022.

Moscicki, A. B., Darragh, T. M., Berry-Lawhorn, J., Roberts, J. M., Khan, M. J., Boardman, L. A., ..., and Palefsky, J. M. (2015). Screening for anal cancer in women. *Journal of Lower Genital Tract Disease*. 19(3): S27-S42.

Nasioutziki, M., Chatzistamatiou, K., Loufopoulos, P. D., Vavoulidis, E., Tsampazis, N., Pratilas, G. C., ..., and Dinias, K. (2020). Cervical, anal and oral HPV detection and HPV type concordance among women referred for colposcopy. *Infectious Agents and Cancer*. 15(1): 15-22.

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.

Nelson, V. M. and Benson, A. B. (2017). Epidemiology of anal canal cancer. *In Surgical Oncology Clinics of North America*. 26(1): 9-15.

Ortiz-Bautista, R. J. y Méndez-Cano, V. H. (2018). Tamizaje por citología de lesiones preneoplásicas del conducto anal. *Patología Revista Latinoamericana*. 56(4): 303-309.

Padilla-España, L., Repiso-Jiménez, J. B., Fernández-Sánchez, F., Pereda, T., Rivas-Ruiz, F., Fernández-Morano, T., ..., and de-Troya-Martín, M. (2016). Efectividad del genotipado del virus del papiloma humano frente a la citología anal en la identificación de neoplasia intraepitelial de alto grado. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 34(7): 400-405.

Pangarkar, M. A. (2022). The Bethesda System for reporting cervical cytology. *Cytojournal*. 19: 28.

Ramírez-Padilla, M., Ruiz-López, P., and de-Aguinaga-Inurriaga, A. E. (2020). Virus del papiloma humano y condilomatosis anogenital. *Dermatología Cosmética, Médica y Quirúrgica*. 18(3): 215-227.

Sánchez-Corredor, C. D., Guerrero-Machado, M., Rubio-Romero, J. A., Diaz-Cruz, L. A., Angel-Muller, E., and Rey-Serrano, G. (2020). Prevalence of high-risk human

papilloma virus infection and abnormal cytology of the anal transformation zone in women with cervical dysplasia. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*. 71(4): 345-355.

Sand, F. L., Munk, C., Jensen, S. M., Svahn, M. F., Frederiksen, K., and Kjær, S. K. (2016). Long-term risk for noncervical anogenital cancer in women with previously diagnosed high-grade cervical intraepithelial neoplasia: A Danish nationwide cohort study. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*. 25(7): 1090-1097.

Santos-López, G., Márquez-Domínguez, L., Reyes-Leyva, J., y Vallejo-Ruiz, V. (2015). Aspectos generales de la estructura, la clasificación y la replicación del virus del papiloma humano. *Revista Mexicana del Seguro Social*. 53(S2): 166-171.

Sehnal, B., Dusek, L., Cibula, D., Zima, T., Halaska, M., Driak, D., and Slama, J. (2014). The relationship between the cervical and anal HPV infection in women with cervical intraepithelial neoplasia. *Journal of Clinical Virology*. 59(1): 18-23.

Sendagorta-Cudós, E., Burgos-Cibrián, J., and Rodríguez-Iglesias, M. (2019). Genital infections due to the human papillomavirus. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 37(5): 324-334.

Shiels, M. S., Kreimer, A. R., Coghill, A. E., Darragh, T. M., and Devesa, S. S. (2015). Anal cancer incidence in the United States, 1977-2011: Distinct patterns by histology and behavior. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*. 24(10): 1548-1556.

Simpson, S., Blomfield, P., Cornall, A., Tabrizi, S. N., Blizzard, L., and Turner, R. (2016). Front-to-back & dabbing wiping behaviour post-toilet associated with anal neoplasia & HR-HPV carriage in women with previous HPV-mediated gynaecological neoplasia. *Cancer Epidemiology*. 42: 124-132.

Stier, E. A. and Chiao, E. Y. (2017). Anal cancer and anal cancer precursors in women with a history of HPV-related dysplasia and cancer. *Seminars in Colon and Rectal Surgery*. 28(2): 97-101.

Stier, E. A., Sebring, M. C., Mendez, A. E., Ba, F. S., Trimble, D. D., and Chiao, E. Y. (2015). Prevalence of anal human papillomavirus infection and anal HPV-related disorders in women: A systematic review. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 213(3): 278-309.

Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., and Bray, F. (2021). Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *Cancer Journal for Clinicians*. 71(3): 209-249.

nties. *Cancer Journal for Clinicians*. 71(3): 209-249.

Torres-Poveda, K., Piña-Sánchez, P., Vallejo-Ruiz, V., Lizano, M., Cruz-Valdez, A., Juárez-Sánchez, P., ..., and Manzo-Merino, J. (2020). Molecular markers for the diagnosis of high-risk human papillomavirus infection and triage of human papillomavirus-positive women. *Revista de Investigacion Clínica*. 72(4): 198-212.

Viens, L. J., Henley, S. J., Watson, M., Markowitz, L. E., Thomas, C. C., Thompson, T. D., ..., and Saraiya, M. (2016). Human Papillomavirus-Associated Cancers — United States, 2008–2012. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 65(26): 661-666.

Wohlmuth, C., Ghorab, Z., Shier, M., Tinmouth, J., Salit, I. E., Covens, A., ..., and Vicus, D. (2021). Cytology-based screening for anal intraepithelial neoplasia in women with a history of cervical intraepithelial neoplasia or cancer. *Cancer Cytopathology*. 129(2): 140-147.



Imágenes de: Canva educativo

Dificultades en mujeres madres de niños y niñas en edad escolar durante el confinamiento por COVID-19

Difficulties in female mothers of school-aged children during COVID-19 confinement

Yazmín Alejandra Quintero-Hernández^{1*}, Perla Shiomara del-Carpio-Ovando²

RESUMEN

La pandemia por COVID-19 ha tenido un impacto social, económico y de salud física y emocional en la población, siendo las mujeres uno de los grupos mayormente afectados. El objetivo del presente trabajo fue identificar las dificultades y estrategias de solución de madres de niños y niñas en edad escolar, participantes de un grupo de autoayuda virtual durante el confinamiento por COVID-19. La recolección de datos se realizó mediante un análisis documental y una serie de preguntas detonadoras en el grupo de autoayuda. El trabajo de campo virtual se realizó durante los meses de mayo y junio de 2020. Durante la pandemia, las principales dificultades de las madres de familia con hijos e hijas pequeños, en edad entre 3 a 12 años, fueron sobrecarga de actividades, estrés y agotamiento, que les provocaron sentimientos de preocupación, incertidumbre, irritabilidad, cansancio y emociones de culpa y miedo. Los resultados permitieron evidenciar la vulnerabilidad de las mujeres, en función de la socialización de género, que ha promovido una distribución desigual de roles y actividades entre ambos sexos, asignando mayor carga de responsabilidades a ellas. Se destaca la importancia de fortalecer el autocuidado, la red de apoyo social y la corresponsabilidad con la pareja para hacer frente a las situaciones adversas.

PALABRAS CLAVE: afrontamiento, culpa, madres, pandemia, sobrecarga.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has had a social, economic, physical, and emotional health negative impact on the population, with women being one of the most affected groups. The objective of this work was to identify the difficulties and solution strategies of mothers of school-aged boys and girls, who were participants in a virtual self-help group during the COVID-19 confinement. Data was collected through documentary analysis and in depth questioning in the self-help group. The virtual field work was carried out during May and June 2020. During the pandemic, the main difficulties experienced by mothers of young children aged 3 to 12 years were: the overload of activities, stress, and exhaustion. This caused them feelings of anxiety, uncertainty, irritability, tiredness, and emotions of guilt and fear. The results made it possible to show the vulnerability of women, based on gender socialization, that has promoted an unequal distribution of roles and activities between both genders, assigning a greater burden of responsibilities to them. The importance of strengthening self-care, a social support network and co-responsibility with partners to face adverse situations is highlighted.

KEYWORDS: coping, guilt, mothers, pandemic, overload.

*Correspondencia: yazmin.quintero@ugto.mx/Fecha de recepción: 11 de agosto de 2022/Fecha de aceptación: 1 de diciembre de 2022/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

¹Universidad de Guanajuato, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Av. Javier Barros Sierra núm. 201, esq. Av. Baja California, Ejido de Santa María del Refugio, Celaya, Guanajuato, México, C. P. 38140. ²Universidad de Guanajuato, Departamento de Estudios Culturales, Demográficos y Políticos, Celaya, Guanajuato, México.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró, el 11 de marzo de 2020, como pandemia a la enfermedad ocasionada por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19), de acuerdo a la información de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2020). Una de las medidas más importantes de los gobiernos, para evitar contagios, fue establecer medidas de cuarentena, aislamiento, confinamiento y distanciamiento social (Gallegos y Elgier, 2020; Torralbas, 2020). En México, dentro de las medidas de prevención, el 24 de marzo de 2020 se estableció el periodo de sana distancia, que consistió en la suspensión temporal de actividades consideradas como no esenciales, la permanencia en casa y restricción de congregaciones masivas (Gobierno de México, 2020a).

El confinamiento o sana distancia ha estado asociado a la presencia de estrés, depresión y ansiedad entre la población, afectando en mayor proporción a mujeres (Apaza y col., 2020; Barraza, 2020; Samrah y col., 2020). El sentimiento de angustia y vulnerabilidad durante la pandemia fue también mayor en mujeres, al igual que los sentimientos de incertidumbre, miedo y responsabilidad derivados de ésta (Johnson y col., 2020).

Las mujeres embarazadas o con hijos e hijas menores presentan vulnerabilidad respecto al desarrollo de ansiedad y depresión, lo cual fue más notorio durante la pandemia por COVID-19, ya que este grupo aumentó sustancialmente en su probabilidad de ansiedad (72 %) y depresión (41 %) durante la crisis sanitaria (Davenport y col., 2020). Existen factores socioculturales que incrementaron la vulnerabilidad de las mujeres, dentro de ellos se encuentra la socialización de género. La socialización de género explica cómo son asumidos ciertos roles, características y comportamientos, ligados a las funciones tradicionales valoradas como inherentes a la naturaleza sexual de hombres y mujeres (Rocha, 2009). Esta socialización propició, entre otras cosas, que las mujeres se sintieran responsables de muchas situaciones que enfrentaron durante la contingencia sanitaria, como fue el incremento de actividades asociadas a la crianza y el cuidado de la familia, de acuerdo con la Comisión

Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020a).

Antes de la crisis sanitaria, las mujeres de América Latina y el Caribe, por ejemplo, dedicaban entre 22 h y 42 h semanales al trabajo doméstico y de cuidados no remunerados, tres veces más tiempo que los hombres, en las mismas tareas (CEPAL, 2020a). Durante la pandemia, las funciones de cuidado y crianza se incrementaron de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU-Mujeres, 2020) y algunas mujeres, que tenían responsabilidades de un trabajo remunerado, tuvieron que conjuntarlas con labores de casa, lo cual implicó cuidado y atención de tiempo completo a la niñez, que tenía que realizar actividades educativas dentro del hogar y bajo la supervisión de madres y/o padres (CEPAL, 2020b). A ello se sumó que, las mujeres se sentían responsables no sólo de cuidar a sus hijos e hijas, sino también de prevenir el contagio en su familia por el COVID-19 (Johnson y col., 2020).

Estas responsabilidades asignadas y asumidas explican, de cierta forma, la sobrecarga de actividades que causan estrés y éste a su vez provoca el agotamiento físico y emocional reportado por las mujeres (Segura y Pérez, 2016; Pacheco y col., 2022). El agotamiento emocional, se refiere a la disminución de energía y al sentimiento de desgaste emocional y físico, asociados a una sensación de frustración y fracaso (Barreto-Osma y Salazar, 2021), lo cual puede deteriorar la salud mental, social y física de quienes asumen las funciones de cuidado y provocar trastornos ansioso-depresivos (Breinbauer y col., 2009; Cabada y Martínez, 2017).

Las mujeres son más vulnerables a presentar problemas de salud ante situaciones adversas, entre ellas, factores socioeconómicos, que evidencian la inequidad de género. En este contexto, sobresale el hecho de que las mujeres representan el 72.8 % de personas ocupadas en el sector salud (CEPAL, 2020b) y durante la pandemia se incrementó el trabajo (jornadas extremas sin descanso) y el riesgo de contagio para las mujeres que trabajan en dicho sector. Los

sistemas sanitarios, rebasados en sus capacidades, trasladaron muchas de sus funciones a los hogares, siendo las mujeres quienes principalmente atendieron tareas de cuidado de la salud de grupos de alto riesgo, como adultos mayores (CEPAL, 2020a).

El confinamiento, como parte de la Jornada de Sana Distancia, causó el incremento de la tensión familiar, derivada de preocupaciones por la seguridad, salud y dinero (Quintero y Del-Carpio, 2020). Esta nueva modalidad de convivencia propició nuevos malestares y aumentó los ya existentes en los vínculos familiares, provocando un alza en la tasa de divorcios y de la violencia de hombres hacia mujeres (ONU-Mujeres, 2020; Scholten y col., 2020). Asimismo, reforzó el aislamiento de las mujeres, favoreciendo el contexto para el comportamiento controlador y violento del agresor, debido a que las mujeres se encontraban separadas de personas y de sus principales recursos de ayuda (Mlambo-Ngcuka, 2020) para poder afrontar múltiples adversidades suscitadas durante la pandemia.

La forma individual de afrontar las dificultades es uno de los factores que puede incidir en la presencia de problemas de salud mental en la población durante la pandemia (Gobierno de México, 2020b). Se denominan recursos de afrontamiento a todos los esfuerzos cognitivos y conductuales, aprendidos o desarrollados por los individuos, encaminados a manejar las demandas externas, internas o ambas, que generan estrés (Lazarus y Folkman, 1984). En el caso de la pandemia COVID-19, se ha señalado la existencia de estrategias adaptativas y desadaptativas, utilizadas como recursos de afrontamiento. Las primeras son resultado de un ajuste positivo y activo, a nivel cognitivo y conductual; mientras que las segundas se relacionan con una desvinculación conductual de la situación estresante y con una pérdida de control (Lazarus y Folkman, 1984; Barquín-Cuervo y col., 2018). Dentro de las estrategias adaptativas, se encuentran la reinterpretación positiva y el uso del humor (Rosa-Alcázar y col., 2021), el apoyo social y familiar (Samrah y col., 2020; Labrague y col., 2021; Mulukom y col., 2021; Fer-

nandes y col., 2022), el contacto con otras personas (Samrah y col., 2020; Mulukom y col., 2021), realizar actividades recreativas (Du y col., 2020; Zhuo y Zacharias, 2020), la distracción (Kołodziejczyk y col., 2021), el juego y pasar tiempo a solas (Petrocchi y col., 2020). Entre las estrategias desadaptativas destacan la autoculpabilidad, el consumo de sustancias y algunas acciones pasivas de evitación (Rosa-Alcázar y col., 2021). Estos tipos de afrontamiento se han asociado a un mayor riesgo para el desarrollo de síntomas de depresión (Spinola y col., 2020).

El objetivo del presente trabajo fue identificar las dificultades y estrategias de solución de madres de niños y niñas en edad escolar, participantes de un grupo de autoayuda virtual durante el confinamiento por COVID-19.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la metodología cualitativa, mediante el análisis documental y la obtención de información por medio de preguntas detonadoras realizadas en un grupo de autoayuda virtual, constituido durante el confinamiento por COVID-19, por 8 mujeres mexicanas, residentes de la Ciudad de México. En el estudio se incluyeron dos ejes temáticos: dificultades enfrentadas durante el confinamiento y estrategias de solución.

La forma de contacto de las participantes fue a través de una invitación abierta, compartida vía redes sociales, WhatsApp y Facebook, colocada en el mes de abril de 2020, en la que se convocó a formar parte de un grupo virtual para mujeres que enfrentaban dificultades derivadas de los ajustes en sus vidas a raíz del confinamiento por COVID-19. Los criterios de participación solicitados fueron: mujeres que radicaran en la Ciudad de México, con hijos o hijas, en edad entre 3 a 12 años, preferentemente inscritos y activos en una institución educativa.

Las interesadas contactaron al equipo de trabajo para expresar su deseo de participar. Durante este primer contacto se les explicaron los

objetivos de la actividad, se señaló que el grupo de autoayuda no tenía costo y tenía la finalidad de ser un espacio para compartir sus dificultades derivadas del confinamiento y, la forma en que trataban de resolverlas y en encontrar así de manera conjunta soluciones efectivas para afrontarlas; a su vez, se les indicó que los resultados derivados de las sesiones serían parte de un estudio que pretendía ayudar a más mujeres que atravesaban situaciones similares y se les pidió autorización para grabar las dos primeras sesiones, durante las cuales se les harían algunas preguntas; también se les comentó que la información obtenida sería confidencial y anónima, y sería utilizada exclusivamente con fines de investigación. Este primer contacto permitió que las participantes compartieran dudas respecto al estudio. Se acordó las fechas y horarios de reunión en la plataforma virtual. Antes de la primera sesión, las participantes firmaron el consentimiento informado, de acuerdo con los lineamientos del Código Ético del Psicólogo (Sociedad Mexicana de Psicología, 2007) y de la Asociación Americana de Psicología (APA, 2010).

Integración y desarrollo del grupo de autoayuda

El grupo de autoayuda se generó como un espacio de expresión y autocuidado emocional durante la crisis sanitaria, dada la vulnerabilidad de las mujeres, debido al riesgo de afectación en la salud física y mental, y dada la importancia de su participación en actividades de salud y de cuidado durante la pandemia. Se programaron 8 reuniones semanales de 1 h cada una, con los siguientes temas: 1) dificultades enfrentadas durante la pandemia, 2) medidas, estrategias y recursos utilizados para enfrentar estas dificultades, 3) familia y redes de apoyo, 4) comunicación, 5) autocuidado y salud, 6) género, mujer y maternidad, 7) recursos personales y sociales, 8) cambios y cierre. Este espacio permitió que las participantes pudiesen compartir su experiencia respecto a las dificultades que consideraban estaba generando en ellas la crisis sanitaria y las estrategias que estaban implementando para abordarlas.

Obtención de la información proveniente del grupo de autoayuda

Los resultados de este estudio corresponden a las respuestas de las participantes a dos preguntas detonadoras realizadas durante las dos primeras sesiones. Durante la primera sesión se les dio la instrucción de presentarse (se les solicitó indicar su nombre, ocupación, número y edades de los hijos y personas con las que vivían) y compartir las principales dificultades que enfrentaban a raíz del confinamiento por COVID-19. No se limitó el tiempo de respuestas de las participantes y se les permitió responder libremente a esta pregunta, sin intervenir, a excepción de cuando algo no quedaba claro. Una vez que las participantes se presentaron, se les pidió que compartieran las expectativas de acudir al grupo y lo que se llevaban de escucharse entre sí durante esta primera sesión. La segunda sesión giró en torno a las medidas, soluciones y estrategias que realizaban las participantes para enfrentar sus dificultades.

Las actividades virtuales, en las que se hizo el levantamiento de información (especialmente las sesiones realizadas en el mes de mayo de 2020) se enmarcaron en el periodo de la Jornada Nacional de Sana Distancia (realizada del 23 de marzo de 2020 al 30 de mayo de 2020), periodo en el que, en México, las instancias de salud sugirieron protocolos con medidas fuertemente restrictivas respecto al contacto social y se instauraron medidas contundentes, como la suspensión inmediata de actividades no esenciales en todos los sectores, se restringieron congregaciones masivas y se recomendó permanecer en casa (Gobierno de México, 2020a). Es importante considerar que los testimonios de las mujeres participantes surgieron en un momento álgido de la crisis sanitaria.

Las entrevistas se transcribieron y la información se organizó mediante un análisis temático (Braun y Clarke, 2006). Esto permitió identificar, organizar, analizar y construir temas y categorías a partir de los datos y facilitó su codificación. Los códigos se clasificaron con base en los dos ejes temáticos vinculados al objetivo de investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la población de estudio

La edad de las mujeres participantes osciló entre los 24 y los 47 años, la mayoría trabajaba desde casa y dos de ellas se dedicaban exclusivamente al hogar. Las principales actividades laborales estuvieron vinculadas a la docencia y el área de salud. Todas vivían con su pareja y tenían hijos e hijas en edad escolar al momento de participar en el estudio y manifestaron ser responsables del cuidado del hogar; dos de ellas, además del cuidado de sus hijos, tenían a sus padres bajo su cuidado (Tabla 1).

Principales dificultades enfrentadas durante el confinamiento

Las dificultades expresadas por las mujeres participantes en el estudio fueron: sobrecarga de actividades, estrés y agotamiento. La emoción constantemente referida fue culpa, seguida por miedo, también refirieron incertidumbre, preocupación, irritabilidad y cansancio (Tabla 2).

En cuanto a la sobrecarga de actividades, surgieron situaciones derivadas del entorno de pandemia y del incremento de responsabilidades, como las clases en línea y el aumento de las actividades de limpieza, derivadas del mayor tiempo en casa de los hijos e hijas y esposos; además, de la incorporación de nuevas rutinas y medidas higiénicas para evitar contagios. A este respecto, las participantes compartieron:

“Ahora también soy maestra de mi hijo y tengo que dar clases y estar al pendiente de las suyas y para casi todo requiere mi atención constante” (Sara, 29 años).

“Ellos comienzan a desordenar desde temprano. Todo el tiempo veo tirado, al principio intentaba recoger, ahora sólo me molesto” (Alicia, 34 años).

“Y con mi esposo en casa, el trabajo y el desorden aumenta” (Tania, 24 años).

“Ahora toda la limpieza me corresponde a mí” (María, 38 años) (antes acudía una persona a ayudarles 3 veces por semana, por situación de pandemia dejó de acudir).

“Las compras casi siempre las realiza mi esposo, pero al llegar hay que limpiar todos los alimentos y enlatados con cloro, eso lo hago yo” (Rocío, 26 años).

Las mujeres del estudio se describieron como las principales encargadas de los trabajos domésticos y de cuidados en su hogar durante la pandemia. Pacheco y col. (2022) también encontraron que las mujeres en pandemia vivenciaron una mayor sobrecarga doméstica. De acuerdo con la CEPAL (2020a) la pandemia por COVID-19 evidenció la injusta organización social de los cuidados en América Latina y el Caribe, al ser las mujeres las que realizan la mayor cantidad de tareas de cuidados, ya sea en forma remunerada y no remunerada (CEPAL, 2020b). Esta instancia reconoce también que la función de cuidado y de apoyo emocional que realizaron las mujeres durante la crisis sanitaria resultó fundamental para ayudar a reducir los efectos del aislamiento y las consecuencias negativas en la salud mental de la familia. En este sentido, señala que la pandemia ha puesto de relieve la importancia de los cuidados para la sostenibilidad de la vida (CEPAL, 2020a).

El cierre de escuelas y guarderías implicó la necesidad de un rol más activo de los padres y madres en la educación académica de sus hijos e hijas (Spinelli y col., 2020). En el caso del presente estudio, este rol fue generalmente asumido por las madres participantes, quienes debían guiar y apoyar constantemente a sus hijos e hijas en las actividades escolares.

Se encontró que fue más difícil y estresante pasar la cuarentena en casa para quienes equilibraban el trabajo y la crianza con hijos e hijas pequeños (Spinelli y col., 2020). A este respecto, las mujeres del estudio señalaron vivenciar agotamiento.

“Me cuesta mucho trabajo levantarme por las mañanas” (Tania, 24 años).

“Me siento todo el día cansada y no puedo descansar por las noches” (Elisa, 47 años).

■ **Tabla 1. Características sociodemográficas de las participantes.**
Table 1. Sociodemographic characteristics of the participants.

Pseudónimo	Edad	Edades de sus hijos/as	Ocupación	Personas a su cuidado
Alicia	34	7, 10, 14	Hogar	3
Rocío	26	3 y 6	Hogar y negocio	2
Tania	24	2 y 5	Hogar	2
Sara	29	2 y 6	Hogar y docencia	2
María	38	7 y 10	Hogar y servicios salud	2
Gladis	37	7 y 12	Hogar y servicios salud	2
Elisa	47	9, 12, 14	Hogar y docencia	5*
Mónica	42	12 y 15	Hogar y docencia	4*

*Además cuidaba de otros familiares aparte de sus hijos.

■ **Tabla 2. Principales dificultades, problemáticas y manifestaciones presentadas por las participantes.**
Table 2. Main difficulties, problems and manifestations presented by the participants.

Factor	Descripción
Dificultades	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecarga de actividades • Estrés • Agotamiento
Problemáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevas responsabilidades ante el entorno de pandemia: <ul style="list-style-type: none"> - Clases en línea - Incremento de medidas higiénicas - Incremento de actividades de limpieza • Falta de apoyo • Falta de actividades de distracción y recreativas • Equilibrar trabajo remunerado con crianza de hijos e hijas pequeños • Exceso de responsabilidades • Falta de descanso efectivo
Manifestaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Culpa • Miedo • Incertidumbre • Preocupación • Irritabilidad • Cansancio

“A pesar de estar todo el día en casa no rindo igual y me siento muy cansada” (Sara, 29 años).

Algunas de las participantes de este estudio tenían que compaginar las funciones de crianza, cuidado y domésticas con las laborales, al trabajar desde casa. La dificultad de compatibilizar las actividades de la esfera laboral y familiar ha sido reportada en otros estudios con mujeres durante la pandemia. Pacheco y col. (2022) encontraron que fue difícil para las mujeres que trabajaron desde casa demarcar los límites temporales y espaciales entre ambas

esferas, lo cual les provocó efectos negativos en su salud, causando un estado de tensión permanente a nivel físico y psicológico y un aumento del estrés, preocupación e irritabilidad.

El agotamiento indicado por las mujeres hace referencia a dimensiones emocionales y físicas, éste alude a la disminución de energía y al sentimiento de desgaste emocional y físico, asociado también a una sensación de frustración y fracaso (Barreto-Osma y Salazar, 2021). Las mujeres indicaron miedo y preocupación al contagio por COVID-19. Esto se suma a lo

encontrado en otros estudios, que reportaron que las mujeres presentaron mayor miedo al COVID-19, en comparación de los hombres (Caycho-Rodríguez y col., 2021). En este sentido, las participantes refirieron:

“Me preocupa la salud de mis papás, ya no acuden tan seguido a revisiones médicas y por la edad sé que es muy riesgoso que enfermen de COVID” (Elisa, 47 años).

“Mi mamá vive con mi hermana en la Ciudad de México, su actividad es en hospital, eso me tiene mucho más preocupada” (Alicia, 34 años).

Otro aspecto importante compartido por las participantes hace referencia a la culpa, por no poder responder con eficiencia a las demandas laborales o del hogar, o por no poder estar más tiempo atendiendo funciones de crianza o cuidado. En ocasiones, estas situaciones generaban también agotamiento e irritabilidad:

“No me gusta dejar la casa tirada” (Alicia, 34 años).

“Al principio decidí trabajar por las noches, cuando mis hijos ya dormían, pero no aguanté más de una semana” (Sara, 29 años).

“La mayor parte del tiempo me siento muy cansada, o estoy de malas y eso me hace sentir mal porque sé que mis hijos no tienen la culpa” (Rocío, 26 años).

“Acabo gritando a mis hijos y luego me arrepiento porque para ellos tampoco es fácil” (Tania, 24 años).

“He buscado trabajar de noche y en silencio avanzo mucho. Al otro día no me siento culpable, pero entonces me siento muy agotada y no estoy al 100” (Gladis, 37 años).

De manera similar, Pacheco y col. (2022) encontraron culpa en mujeres, derivada de la percepción de ser incapaz de responder adecuadamente a las demandas laborales y familiares,

especialmente de no poder atender las necesidades de los hijos durante la pandemia. La culpa es una emoción frecuentemente vinculada a las mujeres. Huertas (2010), señaló que la culpa en las mujeres se ha utilizado como instrumento de violencia para mantener la estructura patriarcal. De acuerdo con Mizrahi (2003), es una emoción que se observa en fragmentos de textos religiosos y de la literatura clásica para neutralizar la autonomía de las mujeres. Las mujeres son más propensas a introyectar la culpa como emoción ante situaciones diversas. De acuerdo con Huertas (2010: 95) “Alrededor de la maternidad, se desarrolla el entramado más patente de culpa en la mujer”. Este autor señala que muchas mujeres manifiestan sentirse culpables por transgredir las funciones asignadas culturalmente a su rol de género, por descuidar a sus hijos e hijas, por mostrarse irritables y por no realizar labores de casa adecuadamente.

Aunque ha habido cambios, encaminados a que la identidad femenina no se conforme exclusivamente de la mujer-madre (Alzard, 2019), ser “buena madre” sigue siendo parte importante de las altas exigencias de las mujeres que deben cumplir con actividades de crianza, cuidado y laborales. La abnegación y el sacrificio pareciesen ir unidos al mito de la “buena madre” (Ruíz, 2021: 32). Así, ser madre en el siglo XXI exige una maternidad “perfecta”, que genera ansiedad, depresión, preocupación y malestar entre las mujeres (Alcalá, 2015) y que, en el caso de las participantes en el estudio, implicó el “autosacrificio” y que tuvieran que anteponer la atención de necesidades familiares a la de ellas, lo cual implicó disminución de tiempo de descanso y sueño, postergar horarios de comida y actividades laborales, entre otras.

Las respuestas de las participantes del estudio se suman a lo señalado por autores como Breinbauer y col. (2009) y Cabada y Martínez (2017), quienes indicaron que una mayor sobrecarga deteriora la salud mental, social y física de quienes asumen las funciones de cuidado, quienes también suelen presentar mayor frecuencia de trastornos ansioso-depresivos.

Los resultados encontrados en las respuestas emitidas por las participantes, permiten observar que las dificultades expresadas estuvieron asociadas a la vulnerabilidad por condición de género que, en el contexto de pandemia, volvió más crítica la situación de las mujeres, debido al incremento de múltiples tareas en el hogar, la crianza y las tareas de cuidado, lo cual les generó irritabilidad, estrés, sobrecarga, agotamiento y emociones de culpa, a lo cual se sumó el miedo de que integrantes de la familia fueran contagiados por COVID-19, especialmente adultos mayores.

También es posible observar que la distribución desigual de las actividades y la consecuente sobrecarga de trabajo en las mujeres, perpetúa su condición desventajosa al limitar su crecimiento y desarrollo en áreas que podrían darles otro tipo de beneficios, independencia y autonomía (Quintero, 2021). Esto, al considerar que asumir solas o de forma mayoritaria, las tareas domésticas, de cuidado y del hogar no ha sido exclusivo al periodo de confinamiento de la crisis sanitaria, sino que es extensivo a otros momentos y experiencias de su vida familiar, debido entre otras causas, a la socialización de género que ha perpetuado que las mujeres asuman múltiples ocupaciones y que antepongan las necesidades familiares a las personales, afectando o comprometiendo su salud física y mental (Lagarde, 1997). En este sentido, se considera el pronóstico de la CEPAL

(2021), al afirmar que la crisis por COVID-19 ampliaría aún más la brecha de género, lo cual implica un retroceso de 10 años hacia el camino de la igualdad de género y autonomía de las mujeres.

Estrategias de afrontamiento y solución de dificultades

Las estrategias de solución fueron analizadas desde la teoría de Lazarus y Folkman (1984) sobre el afrontamiento al estrés. Las mujeres desarrollaron principalmente estrategias de afrontamiento cognitivo y en menor medida estrategias de afrontamiento social y conductual para atender las dificultades y el incremento de trabajo en casa y laboral (Tabla 3). Las estrategias conductuales giraban en torno a lo que ellas mismas podían o no hacer. Al respecto una participante expresó: “Muchas veces he avanzado mejor trabajando de noche” (Gladis, 37 años). En cuanto a las cognitivas, reportaron que intentaron ser más tolerantes con ellas mismas y dejar de preocuparse por el desempeño de sus hijos e hijas. En ese sentido, compartieron:

“He intentado ser muy tolerante conmigo y entender que estamos viviendo una situación extraordinaria, por lo que tengo que exigirme menos” (María, 38 años).

“Si mis hijos no avanzan ahora, sé que ya habrá tiempo para recuperarse” (Elisa, 47 años).

■ **Tabla 3. Afrontamiento de dificultades.**

Table 3. Coping with difficulties.

Afrontamiento cognitivo	Afrontamiento social	Afrontamiento conductual
<ul style="list-style-type: none"> • Ser más tolerantes con ellas mismas • Dejar de preocuparse • Considerar que su situación terminará con la pandemia • Identificarse con otras personas 	<ul style="list-style-type: none"> • Red de apoyo. Familiares y amigos • Grupo de autoayuda virtual 	<ul style="list-style-type: none"> • Administración de tiempos • Organización individual de actividades

Saber que el incremento de actividades, debido al confinamiento, era temporal, enterarse y leer que otras personas estaban pasando por una situación parecida, les ayudaba a disminuir el estrés.

“Trato de pensar que esto es temporal, lo que me da más fuerza para resistir el cansancio” (Sara, 29 años).

“Lo he compartido con mi hermana, es un sentimiento muy común de ahora, no soy sólo yo, por eso decidí entrar al grupo” (Alicia, 34 años).

Considerar que la situación era temporal y que afectaba a más personas, era un tipo de reinterpretación positiva señalada por Rosa-Alcázar y col. (2021), como estrategia adaptativa para hacer frente al COVID-19. En algunas participantes, la red de apoyo constituida por familiares y amigos resultó fundamental para enterarse de la existencia del grupo de autoayuda virtual que les permitía un espacio de desahogo emocional y conocer a otras personas con un sentimiento compartido.

Las participantes del estudio reportaron poca o nula participación de los hombres en la división del trabajo del hogar, de crianza y de cuidado de los hijos e hijas. Adicional a ello, debe subrayarse que ninguna de las acciones declaradas, para hacer frente a la sobrecarga de actividades, implicó la corresponsabilidad de la pareja, lo que permite considerar que las mujeres del estudio tuvieron que asumir solas las múltiples tareas familiares durante el periodo de confinamiento de la crisis sanitaria. Sus acciones en torno a la solución y atención de dificultades estuvieron en función de la propia administración de tiempo y organización individual de actividades que no consideraba la participación de la pareja.

“Mi esposo sí está saliendo a trabajar, tiene muchas presiones por la situación actual de su trabajo y no está de humor” (Gladis, 37 años).

“Se vuelve como una rutina, él hace lo suyo y yo tengo que hacer lo que siempre he hecho, las cosas no han cambiado, a excepción de que aho-

ra lo hago desde casa y con los niños al lado” (Sara, 29 años).

“Se desespera muy rápido con los niños, entonces me siento peor y al final acabo trabajando yo con ellos” (Tania, 24 años).

En relación con la corresponsabilidad, cabe mencionar que, debido a la socialización de género, las mujeres han asumido múltiples tareas sin la participación de la pareja, porque ambos consideran que son tareas que les corresponden a ellas, lo cual hace que el trabajo, atención y tiempo de las mujeres se decante, casi en su totalidad, en las actividades familiares, generando afectaciones en la salud física y mental (Lagarde, 1997). Esto resulta preocupante, debido a que ninguna de las participantes expresó alguna medida de autocuidado, como descansar, proveerse de actividades placenteras, tomarse un tiempo o poner límites. Posiblemente, esto se debe a que las mujeres han interiorizado el ser y estar para los otros, tan acertadamente señalado por Lagarde (1997), cuando menciona que el descuido de lo personal y la anteposición de los otros sobre ellas mismas son valores de la mujer tradicional. Sin embargo, algunas participantes señalaron la necesidad de incluir actividades de distracción y recreativas, como la siguiente expresión: “Cómo me hace falta salir y tener 5 minutos fuera para mí” (Mónica, 42 años).

Los resultados obtenidos subrayan la importancia de generar acciones que permitan sensibilizar a las mujeres respecto al autocuidado; el cual va más allá de mantener la salud, pues implica el empoderamiento emancipatorio (Arango, 2007), y la necesidad de acudir y fortalecer la red de apoyo social, ya que constituye un elemento importante para prevenir o mitigar efectos negativos de acontecimientos estresantes y durante la pandemia ha sido considerado una estrategia de afrontamiento adaptativa (Samrah y col., 2020; Labrague y col., 2021; Mulukom y col., 2021; Fernandes y col., 2022).

Es necesario seguir realizando investigación con perspectiva de género en torno al cuidado de

la salud individual, familiar y social, ante diversas crisis, como la pandemia por COVID-19 y desarrollar estrategias para la sensibilización respecto a la importancia del autocuidado, así como de acudir y fortalecer la red de apoyo social. También es importante trabajar respecto a estereotipos y roles de género, con el fin de que hombres y mujeres asuman la responsabilidad en las funciones del hogar, crianza y cuidado, así como lograr la distribución más equitativa de actividades. Adicionalmente, se deben formular políticas culturales que apoyen un cambio de comportamiento y una redefinición de roles hacia una mayor responsabilidad en las tareas domésticas y de cuidados entre hombres y mujeres (CEPAL, 2020a).

CONCLUSIONES

Las mujeres de este estudio, madres de hijos e hijas pequeños, reflejaron una situación de desventaja, que se volvió más crítica en el contexto de la contingencia sanitaria, provocando dificultades, como la sobrecarga de actividades, estrés y agotamiento, que les generaron sentimientos de culpa, miedo, incertidumbre, preocupación, irritabilidad y cansancio. Para resol-

ver las dificultades, las participantes, en general, recurrieron al afrontamiento cognitivo y en menor medida al conductual. En todo caso, sus soluciones estaban en función de lo que ellas podían, o no, realizar, sin recurrir al apoyo de la pareja. Todas estas dificultades se explican en función de la socialización de género, que ha promovido una distribución desigual de roles y actividades entre hombres y mujeres. El caso de las mujeres del presente estudio refleja las posibles desventajas que viven otras mujeres, las cuales afectan su bienestar socio emocional. Es importante el desarrollo de futuros trabajos con perspectiva de género para evaluar las consecuencias pospandemia en las mujeres, y la efectividad de implementar acciones de autocuidado, fortalecimiento de la red de apoyo social y la redefinición de roles, que impliquen una mayor corresponsabilidad entre hombres y mujeres en las tareas de crianza y cuidado. La labor desde la academia es visibilizar estas desventajas derivadas de la distribución inequitativa de funciones, a fin de sensibilizar y promover la construcción de otras representaciones de las mujeres y sus roles.

REFERENCIAS

- Alcalá, I. (2015). Feminismos y maternidades en el siglo XXI. *Dilemata*. 7(18): 63-81.
- Alzard, C. D. (2019). La "buena madre". Discursos y prácticas neoliberales. *Atlánticas. Revista Internacional de Estudios Feministas*. 4(1): 265-294.
- APA, American Psychological Association (2010). *Principios éticos de los psicólogos y Código de Conducta* [Enmiendas 2010]. [En línea]. Disponible en: http://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/comite_etica/Codigo_APA.pdf. Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2022.
- Apaza, C., Seminario, R. y Santa-Cruz, J. (2020). Factores psicosociales durante el confinamiento por el Covid-19-Perú. *Revista Venezolana de Gerencia*. 25(90): 402-410.
- Arango, Y. (2007). Autocuidado, género y desarrollo humano: hacia una dimensión ética de la salud de las mujeres. *La Manzana de la Discordia*. 2(4): 107-115.
- Barquín-Cuervo, R., Medina-Gómez, M. B. y Albéniz-Garrote, G. P. (2018). El uso de estrategias de afrontamiento del estrés en personas con discapacidad intelectual. *Psychosocial Intervention*. 27(2): 89-44.
- Barraza, M. (2020). *El estrés de pandemia (COVID 19) en población mexicana*. Centro de Estudios Clínica e Investigación Psicoanalítica S.C. [En línea]. Disponible en: <http://www.upd.edu.mx/PDF/Libros/Coronavirus.pdf>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2022.
- Barreto-Osma, D. y Salazar, B. (2021). Agotamiento emocional en estudiantes universitarios del área de la salud. *Universidad y Salud*. 23(1): 30-39.
- Braun, V. and Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*. 3: 77-101.
- Breinbauer, H., Vásquez, H., Mayanz, S., Guerra, C. y Millán, T. (2009). Validación en Chile de la Escala de Sobrecarga del Cuidador de Zarit en sus versiones original y abreviada. *Revista Médica de Chile*. 137(5): 657-665.
- Cabada, R. E. y Martínez, C. B. A. (2017). Prevalencia

del síndrome de sobrecarga y sintomatología ansiosa depresiva en el cuidador del adulto mayor. *Psicología y Salud*. 27(1): 53-59.

Caycho-Rodríguez, T., Tomás, J. M., Vilca-Lindsey, W., Carbajal-León, C., Cervigni, M., Gallegos, M., ..., and Burgos, C. (2021). Socio-Demographic variables, fear of COVID-19, anxiety, and depression: Prevalence, relationships and explanatory model in the general population of seven Latin American countries. *Frontiers in Psychology*. 12: 1-15.

CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020a). La pandemia del COVID-19 profundiza la crisis de los cuidados en América Latina y el Caribe. Informes COVID-19, en *Repositorio.cepal.org*. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45335/5/S2000261_es.pdf. Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2022.

CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020b). Informe Especial No. 1 COVID-19, América Latina y el Caribe ante la pandemia del COVID-19, en *Efectos Económicos y Sociales*. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45337/4/S2000264_es.pdf. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2022.

CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2021). *Informe Especial No. 9 COVID-19. La autonomía económica de las mujeres en la recuperación sostenible y con igualdad*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. [En línea]. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46633/S2000740_es.pdf. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2021.

Davenport, M. H., Meyer, S., Meah, V. L., Strynadka, M. C., and Khurana, R. (2020). Moms Are Not OK: COVID-19 and Maternal Mental Health. *Frontiers in Global Women's Health*. 1(1).

Du, J., Mayer, G., Hummel, S., Oetjen, N., Gronewold, N., Zafar, A., and Schultz, J. H. (2020). Mental Health Burden in Different Professions During the Final Stage of the COVID-19 Lockdown in China: Cross-sectional Survey Study. *Journal of Medical Internet Research*. 22(12): 1-14.

Fernandes, J., Tavares, I., Bem-Haja, P., and Carrito, M. L. (2022). A longitudinal study on maternal depressive symptoms during the COVID-19 pandemic: The role of strict lockdown measures and social support. *International Journal of Public Health*. 67: 1604608.

Gallegos, M. y Elgier, A. (2020). *Una concepción de "salud" más compleja*. [En línea]. Disponible en: <https://www.telam.com.ar/notas/202005/459906-corona-virus-consecuencias-aislamiento-psicologia-opinion.html>. Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2022.

Gobierno de México (2020a). *Jornada Nacional de Sana Distancia*. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/541687/Jornada_Nacional_de_Sana_Distancia.pdf. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2022.

Gobierno de México (2020b). *Lineamientos de respuesta y de acción en salud mental y adicciones para el apoyo psicosocial durante la pandemia por COVID-19 en México*. [En línea]. Disponible en: https://coronavirus.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Lineamientos_Salud_Mental_COVID-19.pdf. Fecha de consulta: 28 de octubre de 2022.

Huertas, M. (2010). La culpa de las mujeres como instrumento de violencia y de mantenimiento de la estructura patriarcal. En Miedos, culpas, violencias invisibles y su impacto en la vida de las mujeres: ¡A vueltas con el amor! Actas VI Congreso Estatal Isonomía sobre Igualdad entre mujeres y hombres, en *Fundación Isonomía*. [En línea]. Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/84697>. Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2022.

Johnson, M. C., Saletti-Cuesta, L., and Tumas, N. (2020). Emociones, preocupaciones y reflexiones frente a la pandemia del COVID-19 en Argentina. *Ciência & Saúde Coletiva*. 25(Supl.1): 2447-2456.

Kołodziejczyk, A., Misiak, B., Szcześniak, D., Maciaszek, J., Ciulkowicz, M., Łuc, D., ..., and Rymaszewska, J. (2021). Coping styles, mental health, and the COVID-19 quarantine: A nationwide survey in Poland. *Frontiers in Psychiatry*. 12: 625355.

Labrague, L. J., Santos, J. A. A. D. L., and Falguera, C. (2021). Social and emotional loneliness among college students during the COVID-19 pandemic: the predictive role of coping behaviours, social support, and personal resilience. *Perspectives in Psychiatric Care*. 57(4): 1578-1584.

Lagarde, M. (1997). *Claves feministas para el poderío y autonomía de las mujeres*. España: Puntos de encuentro. 136 Pp.

Lazarus, R. and Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal and coping*. Estados Unidos: Springer. 444 Pp.

Mizrahi, L. (2003). *Las mujeres y la culpa. Herederas de una moral inquisidora*. Nuevo hacer. Argentina: Grupo Editor Latinoamericano. 190 Pp.

Mlambo-Ngcuka, P. (2020). *Violencia contra las mujeres: la pandemia en la sombra*. ONU-Mujeres. [En línea]. Disponible en: <https://www.unwomen.org/es/news/stories/2020/4/statement-ed-phumzile-violence-against-women-during-pandemic>. Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2022.

Mulukom, V. V., Muzzulini, B., Rutjens, B. T., Lissa V. C. J., and Farias, M. (2021). The psychological impact of threat and lockdown during the COVID-19 pandemic. *Translational Behavioral Medicine*. 11(7): 1318-1329.

ONU-Mujeres (2020). En la mira: La igualdad de género importa en la respuesta frente al Covid-19, en *ONU-Mujeres. América Latina y el Caribe*. [En línea]. Disponible en: <https://lac.unwomen.org/es/noticias-y-eventos/en-la-mira/in-focus-gender-equality-in-covid-19-response>. Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2022.

OPS, Organización Panamericana de la Salud (2020). La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia Ginebra, Suiza, en *PAHO noticias*. [En línea]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/noticias/11-3-2020-oms-caracteriza-covid-19-como-pandemia>. Fecha de consulta: 18 de julio de 2020.

Pacheco, S. M. T., Rivas, E. Y. L. y Martínez, L. S. (2022). Conciliación trabajo-familia en mujeres en situación de teletrabajo, a partir de la contingencia sanitaria por COVID-19. *GénEros, Revista de Investigación y Divulgación sobre los Estudios de Género*. 29(31):121-148.

Petrocchi, S., Levante, A., Bianco, F., Castelli, I., and Lecciso, F. (2020). Maternal distress/coping and children's adaptive behaviors during the COVID-19 lockdown: Mediation through children's emotional experience. *Frontiers in Public Health*. (8): 587833.

Quintero, Y. (2021). Hacia una mejor comprensión del feminismo. Sus perspectivas, estigmas, argumentos, alcances y retos. *GénEros*. (30): 393-412.

Quintero, Y. y Del-Carpio, P. (2020). Encuentros y desencuentros en la familia tras el COVID-19. En Y. del-Valle, D. Álvarez, J. Batista y D. Rojas (Eds.), *Impacto del COVID-19 desde la perspectiva socio-económica en el contexto global* (pp. 31-34). Colección Unión Global. Santa Ana de Coro, estado Falcón, Venezuela: Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero y ALININ.

Rocha, S. T. (2009). Desarrollo de la identidad de género desde una perspectiva psico-socio-cultu-

ral: Un recorrido conceptual (2009). *Revista Interamericana de Psicología*. 43(2): 250-259.

Rosa-Alcázar, Á., García-Hernández, M. D., Parada-Navas, J. L., Olivares-Olivares, P. J., Martínez-Murillo, S., and Rosa-Alcázar, A. I. (2021). Coping strategies in obsessive-compulsive patients during Covid-19 lockdown. *International Journal of Clinical and Health Psychology*. 21(2):1-9.

Ruíz, C. P. (2021). *La culpa en la mujer. Una emancipación pendiente*. España: Síntesis. 144 Pp.

Samrah, S. M., Al-Mistarehi, A. H., Aleshawi, A. J., Khasawneh, A. G., Momany, S. M., Momany, B. S. ..., and Khassawneh, B. Y. (2020). Depression and coping among COVID-19-infected individuals after 10 days of mandatory in-hospital quarantine, Irbid, Jordan. *Psychology Research and Behavior Management*. (13): 823-830.

Scholten, H., Quezada-Scholz, V., Salas, G., Barria-Asenjo, N., Rojas-Jara, C., Molina, R., ..., and Somarriva, F. (2020). Abordaje psicológico del COVID-19: Una revisión narrativa de la experiencia latinoamericana. *Revista Interamericana de Psicología*. 54(1): 1-24.

Segura, G. R. M. y Pérez, S. I. (2016). Impacto diferencial del estrés entre hombres y mujeres: una aproximación desde el género. *Alternativas en Psicología*. (36): 105-120.

Sociedad Mexicana de Psicología (2007). *Código Ético del Psicólogo* (Cuarta edición). México: Trillas. 96 Pp.

Spinelli, M., Leonetti, F., Pastore, M., and Fasolo, M. (2020). Parent's stress and children's psychological problems in families facing the Covid-19 outbreak in Italy. *Frontiers in Psychology*. 11: 1713.

Spinola, O., Liotti, M., Speranza, A. M., and Tambelli, R. (2020). Effects of COVID-19 epidemic lockdown on postpartum depressive symptoms in a sample of Italian mothers. *Frontiers in Psychiatry*. (11): 589916.

Torrallas, J. (2020). La cuarentena: dos grandes caminos y decisión necesaria. *SIP Bulletin, número especial COVID-19*. 40-41.

Zhuo, K. and Zacharias, J. (2020). The impact of out-of-home leisure before quarantine and domestic leisure during quarantine on subjective well-being. *Leisure Studies*. 40(3): 321-337.



Imágenes tomadas de Canva educativo

Mujeres investigadoras en los trabajos más citados con adscripción a México

Female researchers in the most cited works affiliated to Mexico

María Elena Luna-Morales*, Evelia Luna-Morales

RESUMEN

Las mujeres han atravesado por muchas dificultades para integrarse en la investigación, pese a los esfuerzos, a nivel mundial mantienen menor representación en diversos aspectos, por ejemplo, en la incursión en la ciencia, registro de publicaciones, credibilidad a su trabajo científico y participación en los artículos científicos más citados. En México, el Sistema Nacional de Investigadores, en su reporte de 2021, evidenció que la aceptación de mujeres es baja (38 %), comparada con la de los hombres. El objetivo del presente estudio fue determinar la participación de mujeres investigadoras adscritas a instituciones mexicanas en los trabajos más citados, así como, determinar las áreas donde las investigadoras están sobresaliendo. Se desarrolló un análisis bibliométrico cuantitativo, tomando como elemento base a la referencia bibliográfica. La búsqueda se realizó en la base de datos Web of Science, considerando como más citados, aquellos que hayan recibido al menos 800 citas. Se identificaron 232 publicaciones con un mínimo de 800 citas, de las cuales se tomaron en cuenta 73, porque integran al menos una mujer como autora adscrita a una institución nacional. Predominaron las coautorías, sobre todo, las grandes colaboraciones con presencia de mujeres y hombres. Entre 2006 y 2015 se difundió el mayor número de trabajos. Las áreas de bioquímica, genética y biología molecular predominaron. La adscripción institucional fue principalmente a dependencias de la Secretaría de Salud, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Cinvestav. Las científicas mexicanas con mayor experiencia en la investigación fueron las que abrieron los espacios para la integración y participación en los trabajos altamente citados.

PALABRAS CLAVE: impacto en citas, mujeres investigadoras, temáticas de investigación, instituciones de México.

ABSTRACT

Women have experienced many difficulties in order to get involved in a research activity. Despite the efforts, they maintain lower levels of representation at a worldwide level. For example, their engagement to science, publications registration, trustworthiness of their work, and participation in highly cited papers representation in the scientific literature has traditionally been very low. In Mexico, the 2021 report of the National System of Researchers evidenced that the acceptance of women (38 %) is lower than that of men. The purpose of the present study was to determine the participation of women affiliated to Mexican institutions in highly cited research papers, as well as, to identify the areas of knowledge with the largest female representation. We have performed a quantitative bibliometric analysis in the Web of Science database to retrieve the papers that have received at least 800 citations. We identified 232 papers with this characteristic, but only 73 of them were considered since they involved at least one woman affiliated to Mexican institutions. Most of this production involved co-authorship, above all large collaborations with female and male authors. The largest production was published between 2006 and 2015. Biochemistry, genetics and molecular biology were the predominant areas of knowledge. The leading institutions involved in this research production were the Ministry of Health, the Mexican National Autonomous University and Cinvestav. The female Mexican scientists with the longest research experience, were the ones who opened the spaces for integration and participation in the most highly cited works.

KEYWORDS: citation impact, female researchers, subject areas, Mexican institutions.

*Correspondencia: meluna@cinvestav.mx/ Fecha de recepción: 31 de mayo de 2022/ Fecha de aceptación: 23 de septiembre de 2022/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Coordinación General de Servicios Bibliográficos, Av. Instituto Politécnico Nacional núm. 2508, San Pedro Zacatenco, Alcaldía Gustavo Adolfo Madero, Ciudad de México, México, C. P. 07360.

INTRODUCCIÓN

El tema de las mujeres en la ciencia se discute desde hace largo tiempo. En particular, por la escasa representación que tienen entre la comunidad científica, sobre todo, en las áreas de ciencias duras y tecnologías, donde registran porcentajes mínimos de participación (Luna-Morales y Luna-Morales 2018; UNESCO, 2018). Este tema ya ha sido abordado desde diferentes enfoques, destacando principalmente el social y filosófico (Blázquez-Graf, 2011), estadístico y de evaluación (Luna-Morales y Luna-Morales, 2018; Bello, 2020;), así como, de impulso y motivación (López-Sancho, 2016), entre otros aspectos.

De acuerdo con Beltrán-Enríquez (2020), las mujeres son discriminadas universalmente. Según datos sobre los premios Nobel otorgados, se determinó que las mujeres en este tipo de reconocimiento apenas alcanzan el 1 % de representación en el caso de la física, 2 % en química y 6 % en medicina. Lo anterior, a pesar de los esfuerzos que se han realizado desde diferentes frentes: igualdad de género en la ciencia y tecnología (Bello, 2020), reconocimiento internacional al trabajo científico de las investigadoras (López-Sancho, 2016), incorporación en campos identificados como masculinos (Luna-Morales y Luna-Morales, 2018), incremento en el número de publicaciones (Tsay y Li, 2017; Fulvio y col., 2020), entre otros aspectos, con la idea de lograr equilibrios más equitativos entre mujeres y hombres dedicados a la investigación.

En México, las mujeres incorporadas a la ciencia y la investigación siguen siendo un grupo reducido. Así lo demuestran los datos por producción científica y por dependencia de adscripción (Cárdenas-Tapia, 2015; Luna-Morales y col., 2019; Ortiz y Armendáriz, 2019). Esta situación también ha sido difundida por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), a través de los resultados de la última convocatoria de ingreso, permanencia y promoción 2021, donde es evidente que la aceptación de mujeres (38 %) es menor que la de los hombres (CONACYT, 2021). Esta información también

permite determinar que las mujeres están ganando espacios significativos, en particular, en las áreas de Humanidades y Ciencias de la Conducta, Medicina, Ciencias Sociales, Biología y Química, donde registraron una participación mayoritaria (CONACYT, 2021).

Las mujeres investigadoras deben hacer frente a distintas limitaciones, como: formación académica, trabajo digno, sueldo decoroso y escasa probabilidad de conseguir puestos de responsabilidad, entre otros aspectos (Segovia y col., 2020). También deben encarar los problemas de discriminación en la obtención de citas. En este caso, autores como Over (1990); Aksnes y col. (2011); Malinia y col. (2013); Dion y col. (2018), señalaron que, es preocupante la forma en que el género femenino es excluido de las citas y la forma en que afecta en todos los campos del conocimiento donde hay presencia de mujeres (Dworkin y col., 2020; Fulvio y col., 2020). Dion y col. (2018) sugirieron dos posibles causas de lo anterior: la primera, relacionada con la exigua relación de colaboración que existe entre las investigadoras y sus pares (hombres), generando desconfianza por el trabajo que realizan las mujeres; la segunda, tiene que ver con la aplicación del efecto Matilda, término dado a conocer por Rossiter (1993), quien lo describe como un fenómeno contrario al efecto Mateo. En la ciencia, el efecto Mateo es visto como reconocimiento y prestigio, quien cuenta con ello, recibirá más y se le dará más. El efecto Matilda, es un ejemplo de la forma en que las mujeres en la investigación son discriminadas y poco valoradas, al igual que sus aportaciones. Lleva el nombre de Matilda, por los esfuerzos que esta luchadora llevó a cabo en defensa de los derechos de la mujer (Segado-Boj y col., 2021).

Desde que las mujeres tuvieron la oportunidad de integrarse a la educación ampliaron sus expectativas y motivaciones, sobre todo, las que se orientaron por la formación científica y académica. De acuerdo con Watts (2007), hasta finales de la Segunda Guerra Mundial, las mujeres no tenían definida su participación en

la ciencia. Es posterior a esta fecha cuando se logra la incorporación de manera definitiva, sin embargo, hasta hoy, siguen mostrando esfuerzos poco representativos, en parte porque hay una dedicación menor de tiempo en la investigación (Jolly y col., 2014).

Zhang y Sivertsen (2021), señalan que la discriminación de citas a los trabajos de las investigadoras es un tema que ya ha sido analizado de forma general y por temas específicos (Reardon, 2021). Aksnes y col. (2011) y Alger (2021) argumentaron que falta documentar las causas que dan lugar a estas diferencias, por tanto, propusieron desarrollar estudios más detallados. El tema se ha convertido en una limitante para las mujeres, que se ven impedidas en la consolidación de su carrera científica, dado que, generalmente son vistas como candidatas con menos probabilidades de ser contratadas, de conseguir promociones y reconocimientos, además de contar con mínimas probabilidades de ocupar puestos de dirección (Kwiek y Roszka, 2022).

El objetivo del presente estudio fue determinar la participación de las investigadoras mexicanas con adscripción a instituciones nacionales en los trabajos más citados, registrados en la base de datos Web of Science, así como, identificar los campos de estudio donde están sobresaliendo de acuerdo con las publicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de los artículos

En la base de datos Web of Science (WoS), se realizó una búsqueda por dirección (Address) usando el descriptor: MEXICO NOT (NEW MEXICO OR NM), para recuperar los trabajos registrados con adscripción a México, excluyendo los que corresponden a Nuevo Mexico, Estados Unidos.

WoS, en su cobertura completa (1900 – febrero de 2022), reconoce para México un total de 419 695 publicaciones. Los resultados se ordenaron para mostrar en primer lugar los documentos más citados. Se obtuvo un alto número de trabajos que registraban como mí-

nimo 100 y máximo 7 900 citas, por lo que se seleccionaron aquellos con 800 citas o más, a los que se denominarán, en este trabajo, como altamente citados. Este criterio permitió seleccionar 232 documentos, que fueron revisados individualmente para identificar la incorporación de al menos una mujer en la lista de autores.

Los 232 artículos se registraron en un archivo de Excel, donde se procedió con la revisión de los autores, para ello se desagregaron uno a uno, a fin de integrar una lista única que facilitara la revisión. WoS no integra nombres y apellidos completos de todos los autores, por lo que se consultó la base de datos Scopus, para consultar datos relacionados con los autores. La información se complementó, cuando fue necesario, con la consulta de los artículos a texto completo, los sitios Web de las instituciones de adscripción y los perfiles de los autores en bases de datos de la red, como el Google Scholar.

La búsqueda del nombre de los autores permitió a su vez identificar su sexo, usando la información en las mismas fuentes: WoS, Scopus, instituciones de adscripción, portales personales, portales académicos como el Google Scholar y otras en la red.

Este procedimiento de identificación del nombre y sexo de cada autor participante ayudó para confirmar la presencia de al menos una investigadora en 73 de los artículos seleccionados.

Perfil de las investigadoras

Los datos bibliográficos obtenidos de la búsqueda en WoS se complementaron con los recuperados de Scopus, para obtener el perfil de las autoras, con la actividad científica de cada investigadora: instituciones de adscripción, años en la investigación y temas de estudio. Esta información ayudó a estimar los años que las investigadoras tienen realizando actividades científicas, los cambios de adscripción que presentan a lo largo de su vida académica y las áreas en que han participado. La información se com-

plementó con el apoyo de la información registrada en Google Scholar y sitios Web personales y de las diversas instituciones registradas por las autoras.

Análisis de la información

Se generó una matriz con la información obtenida utilizando el programa de Microsoft Office Excel versión 2016, la cual posteriormente fue transferida a una base de datos en Access, para generar las consultas que dieron lugar a los resultados mostrados en el trabajo.

Las instituciones registradas en los 73 trabajos más citados se separaron y se normalizaron. Para facilitarlos, se clasificaron en sectores de producción de la ciencia, en este caso, se consideraron: (1) el académico, (2) de investigación, (3) de salud, (4) otros. En este último grupo se consideran instituciones que no corresponden a los sectores señalados, por ejemplo, fundaciones. Es importante aclarar que hay casos donde los conteos se aplicaron dobles, triples o más, dependiendo del número de instituciones de adscripción registradas por las autoras en cada trabajo.

La visualización de la red de coautoría se realizó mediante el software Pajek, disponible para acceso libre (Pajek / PajekXXL / Pajek3XL (jun-lj.si)). Para ello, se tomó en cuenta la lista de autoras, pero únicamente la relación entre investigadoras mexicanas (cabe mencionar que hay casos donde se ven involucradas algunas investigadoras. Con la red se busca mostrar la forma en que se relacionan las investigadoras nacionales, no obstante, que proceden de distinto sector de producción científico. Es por ello que, se clasificaron las investigadoras dependiendo de la institución donde se encontraban activas, al momento de realizar el estudio (académica, investigación, salud, otras).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se localizaron 419 695 publicaciones para México en la base de datos WoS, entre 1900 - 2022 (corte a febrero), de las cuales, 232 registraron participación de investigadores adscritos a

instituciones mexicanas y presentaron 800 citas o más, es decir, altamente citados. En 73 de los artículos, se reconoció la participación de al menos una investigadora con adscripción a una institución de México, lo que representa el 31.4 % del total. Por otro lado, en los 73 artículos trabajaron 7 262 autores únicos (no repetidos), esto debido a que son producto de acciones de amplia colaboración para alcanzar los objetivos planteados. En ellos, 101 corresponden a mujeres adscritas a instituciones de México, lo que representa un porcentaje de 1.3 % del universo de los autores.

En 8 de las 73 publicaciones científicas son mujeres las que aparecen como autoras principales (Tabla 1). Estos documentos recibieron entre 812 y 1 728 citas. En 2 de ellos, las investigadoras son autoras únicas y en 1 solo son mujeres las autoras. En los otros 5, participan hombres, pero las mujeres son primeras autoras. En 5 publicaciones, adicionalmente ellas son autoras de correspondencia (Tabla 1).

La Tabla 1 también permite observar que, con el trabajo publicado en 2003, en el área de la salud (bioquímica y biología molecular; biofísica) por Lorenza González-Mariscal, Abigail Betanzos y Blanca Estela Jaramillo, se abren los espacios para que las mujeres ocupen las primeras posiciones en las listas de autores de artículos con participación mexicana altamente citados. En 2006 se publica el artículo con mayor número de citas (1 728), del área de ciencias ambientales y ecología, en el que destaca una investigadora nacional, Patricia Balvanera. Sin embargo, el último trabajo altamente citado se publicó en 2011, en el campo de la investigación de la salud (endocrinología y metabolismo; neurociencias y neurología; fisiología), donde Annia Galano-Jiménez es primera autora. Es importante destacar que han pasado más de 10 años, hasta febrero de 2022, sin que una mujer mexicana haya sido reconocida con autoría principal, entre los documentos más citados del país. Esto coincide con lo reportado en el campo de la entomología (Walker, 2020).

■ Tabla 1. Publicaciones donde las investigadoras tienen presencia por ser autoras únicas, aparecen como primer autora o autora de correspondencia.

Table 1. Publications where female researchers have presence because they are sole authors, leading author or correspondence author.

Núm.	Primer autora	Título del trabajo	Fuente	Categoría temática	Tipo de documento	Citas
1	González-Mariscal, Lorenza*; Betanzos-Fernández, Abigail; Nava, Porfirio; Jaramillo-Loranca, Blanca Estela	Tight junction proteins	<i>Progress in Biophysics & Molecular Biology</i> . 2003, 81(1): 1-44	Biochemistry & molecular biology; Biophysics	Review	812
2	De-Bashan, Luz Estela*; Bashan, Yoav	Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997-2003)	<i>Water Research</i> . 2004, 38(19): 4222-4246	Engineering; Environmental sciences & ecology; Water resources	Review	974
3	Balvanera, Patricia*; Raffaelli, David; Schmid, Bernhard	Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services	<i>Ecology Letters</i> . 2006, 9(10): 1146-1156	Environmental sciences & Ecology	Review	1 728
4	Rosenblueth, Mónica; Martínez-Romero, Esperanza* ^{1@}	Bacterial endophytes and their interactions with hosts	<i>Molecular Plant-Microbe Interactions</i> . 2006, 19(8): 827-837	Biochemistry & molecular biology; Biotechnology & applied microbiology; Plant sciences	Review	853
5	Noguez, Cecilia* ^{1@}	Surface plasmons on metal nanoparticles: The influence of shape and physical environment	<i>The Journal of Physical Chemistry C</i> . 2007, 111(10): 3806-3819	Chemistry; Science & technology - other topics; Materials science	Review	1 322

continúa...

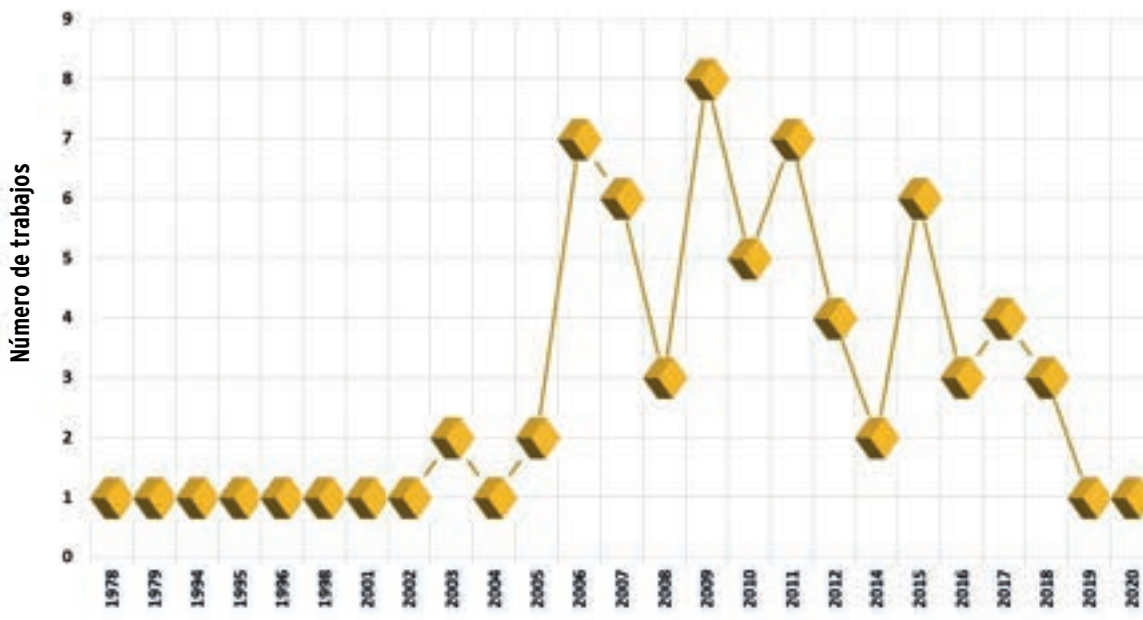
6	Castañeda-Ovando, Araceli* [@] ; Pacheco-Hernández, María de-Lourdes; Páez-Hernandez, María Elena; Rodríguez, José A.; Galán-Vidal, Carlos Andrés	Chemical studies of anthocyanins: A review	<i>Food Chemistry</i> . 2009, 113(4): 859-871	Chemistry; Food Science & Technology; Nutrition & Dietetics	Review	1 253
7	Sánchez, Carmen* ^{1@}	Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi	<i>Biotechnology Advances</i> . 2009, 27(2): 185-194	Biotechnology & applied microbiology	Review	825
8	Galano-Jiménez, Annia* [@] ; Tan, Dun Xian; Reiter, Russel J.	Melatonin as a natural ally against oxidative stress: a physicochemical examination	<i>Journal of Pineal Research</i> . 2011, 51(1): 1-16	Endocrinology & Metabolism; Neurosciences & Neurology; Physiology	Review	815

¹Únicamente mujeres autoras; *Primeras autoras; [@]Autoras de correspondencia.

Otro aspecto importante es que, las 8 publicaciones con autoría destacada de investigadoras nacionales son revisiones. Las revisiones se han incrementado en los últimos años por diversas razones, principalmente, porque es la manera de recuperar un número más alto de citas, sobre todo, por las revistas especializadas en dicho género de publicaciones (Camps, 2008). Este tipo de publicación se define como la revisión de la literatura para comprender el estado que guarda un campo de estudio (Nassi-Caló, 2021). De acuerdo con Arshed y Danson (2015) una revisión conduce hacia diversos fines, entre otros: resolver dudas y discusiones, identificar donde falta investigación y definir nuevos temas de estudio. Considerando lo anterior, el hecho de que las científicas mexicanas estén orientadas hacia el trabajo de revisión infiere que están en la búsqueda de la identificación de temas de investigación más precisos o poco explorados (Arshed y Danson, 2015).

Las investigadoras mexicanas están presentes en los artículos altamente citados desde finales de los años 70 (Figura 1). En general, su participación se intensificó durante el periodo 2006-2011, donde se observan incrementos importantes, aunque en 2008 solo hubo 3 trabajos. A partir de 2012 se observa una tendencia a disminuir en los artículos altamente citados en los que participan investigadoras nacionales. A excepción del 2015, en que se reportaron 6 trabajos. Cabe mencionar, que en 2021 no se registró ningún trabajo, tendencia que venía a la baja desde 2019 y 2020, donde solo se reportó 1 trabajo en cada año, con las características analizadas.

En México, el periodo de los años 70 fue la década en la que las mujeres se integraron a la educación superior; de igual manera, fue la etapa en la que se crearon las primeras instituciones dedicadas a la investigación en el país, convirtiéndose en los espacios de trabajo



■ **Figura 1. Distribución de los trabajos más citados por año de publicación.**
 Figure 1. Distribution of the most cited papers by year of publication.

iniciales para las mujeres investigadoras (De-Garay y Díaz-Muñoz, 2012). Esta reciente inclusión de las mujeres a la investigación podría explicar el periodo de 14 años (1980-1993) sin reportarse trabajos altamente citados con participación de mujeres (Figura 1). Por otro lado, los años 2000 marcaron nuevos espacios para las mujeres, pues se intensificó el estudio de la genética humana, que ha sido muy bien aprovechado por expertas en medicina y ciencias de la salud (Anaya-Muñoz y col., 2018). Además de otros temas de estudio que están abriendo camino para las mujeres, como las ingenierías, donde se están integrando de manera más dinámica (Luna-Morales y Luna-Morales, 2018).

En la Figura 2 se muestra el tiempo que han participado las investigadoras en la actividad científica. Las investigadoras con mayor trayectoria tienen 56 años, 48 años y 42 años desarrollando esta actividad, en tanto que, 5 cuentan con solo 7 años.

La distribución de la participación de las mujeres por periodos, considerando los datos mostrados en la Figura 2, permite observar

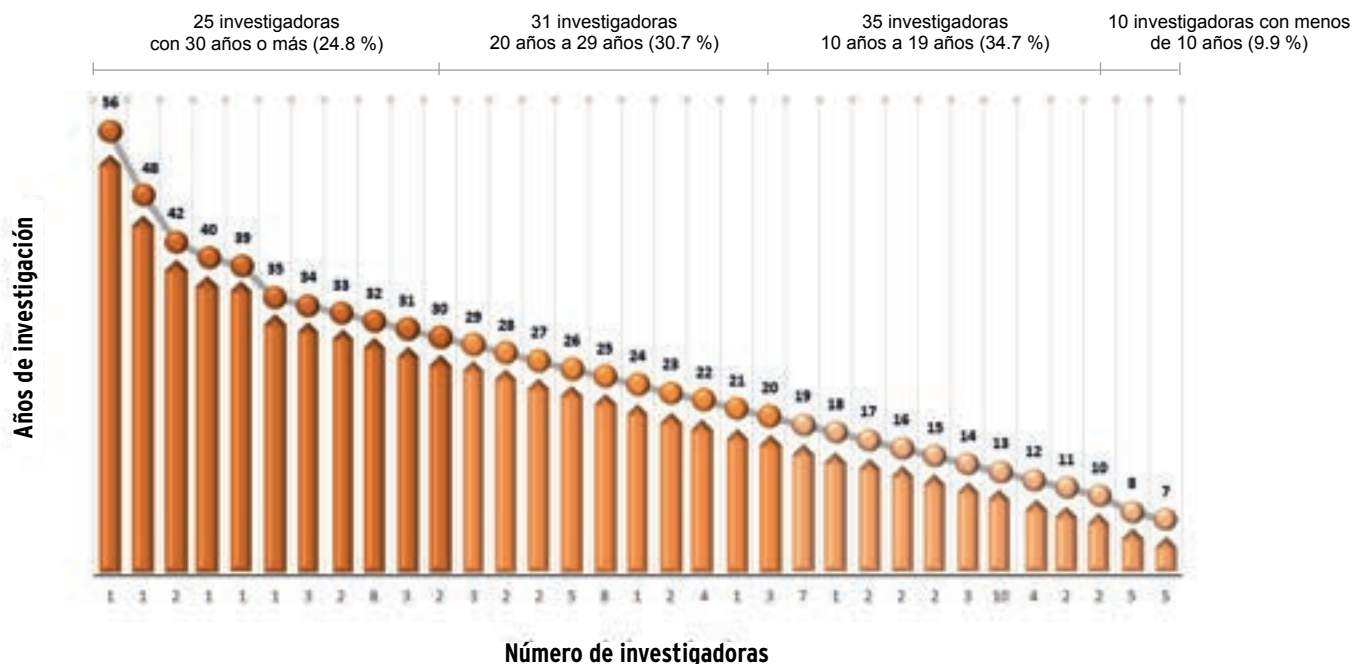
que, las investigadoras con más de 30 años en el desarrollo de la actividad científica representan el 24.8 % del total de las científicas que forman parte del estudio, de 20 a 29 años muestran 30.7 %, de 10 a 19 años registran 34.7 %, y quienes cuentan con menos de 10 años 9.9 %. Las investigadoras consolidadas en la ciencia (más de 20 años laborando) tuvieron ligeramente mayor representación (55.5 %) en estos 73 trabajos altamente citados.

Rodríguez y col. (2017) encontraron que, en México, la edad máxima de productividad de las investigadoras fue de 58 años. Esto sugiere que, por un tiempo, algunas de las investigadoras de este estudio se mantendrán formando parte de los trabajos más citados. Por otro lado, el grupo de mujeres con trayectoria incipiente o en consolidación, seguramente reforzarán el trabajo de sus predecesoras, garantizando más contribuciones en trabajos altamente citados, sobre todo, considerando lo señalado por Bonaccorci y Daraio (2003), quienes señalan que la mayor experiencia de los investigadores, generalmente repercute en la producción científica, y al término de su etapa laboral, se contratan nuevas investigadoras

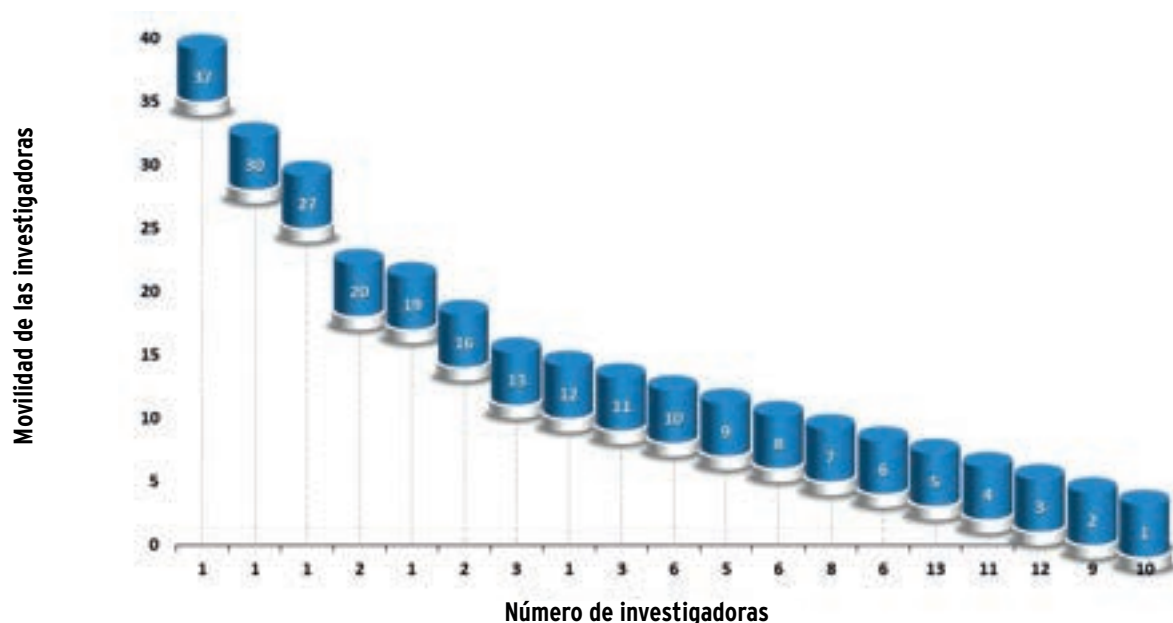
para mantener las líneas de generación de conocimiento y productividad científica.

En la Figura 3 se muestran los movimientos o cambios de institución de adscripción de las investigadoras. Es interesante observar que

una investigadora registró 37 adscripciones distintas, que podrían estar asociados con movilidad (cambios institucionales) y participación simultánea en diferentes instituciones a lo largo de su carrera. Se detectaron también a investigadoras con 30 y 27 adscripciones



■ Figura 2. Número de investigadoras y su antigüedad en la ciencia.
 Figure 2. Number of female researchers and their seniority in science.



■ Figura 3. Movilidad institucional de las investigadoras durante su etapa de investigación.
 Figure 3. Institutional mobility of the female researchers during their research stage.

y 2 con 20; por otra parte, 10 investigadoras reportaron 1 sola adscripción.

Fueron pocas las mujeres (8) que registraron entre 16 y 37 cambios de institución durante su trayectoria científica y eran las investigadoras más consolidadas, probablemente por el tiempo en que se integraron a la ciencia; esto es, que tuvieron que buscar los espacios para la investigación, mismos que no existían (o quizá estuviesen restringidos para ellas), y por ello, se vieron obligadas a tomar las oportunidades que se ofrecieran, aunque fueran por temporadas (Luna-Morales y Luna-Morales, 2018). Por el contrario, un número más denso (93) se ubica entre 1 y 13 movimientos de institución, lo que permite deducir que, se trata de investigadoras que se encuentran en proceso de consolidación, a través de la búsqueda de instituciones que brinden estabilidad. No hay que perder de vista que están presentes los casos donde 1 o 2 instituciones han sido la adscripción de algunas mujeres a lo largo de toda su vida académica y de investigación. Por último, se debe considerar que la movilidad científica, a veces, como lo menciona De-Filippo (2009), es consecuencia de distintas motivaciones: voluntaria o involuntaria, tiempo de permanencia, ubicación geográfica, beneficios personales, individual o grupal, entre otras. También es probable que, los cambios de institución tengan que ver con situaciones directamente relacionadas con la familia.

Entre los temas que abarcan los trabajos más citados destacan: bioquímica, genética y biología molecular y medicina, así como, agricultura y ciencias biológicas, ciencias del ambiente y neurociencias (Tabla 2). Las 3 principales temáticas abordadas se encuentran asociadas con el área de medicina y ciencias de la salud del SNI, la cual, en la última década ha sido la segunda con más participación de mujeres (Cárdenas-Tapia, 2015; Rodríguez, 2016) y concuerda con el perfil creado en este estudio para cada autora, de acuerdo con la base de datos Scopus (datos no mostrados). Lo que resulta alentador, es el hecho de que comienzan

■ **Tabla 2. Principales temas de investigación abordados en los trabajos más citados.**

Table 2. Main research topics addressed in the most cited papers.

Núm.	Área de investigación	Publicaciones
1	Bioquímica	42
2	Genética y biología molecular	39
3	Medicina	26
4	Agricultura y ciencias biológicas	19
5	Ciencias del ambiente	13
6	Neurociencias	11
7	Enfermería	8
8	Psicología	8
9	Ciencia de los Materiales	7
10	Microbiología e Inmunología	7
11	Ingeniería	5
12	Física y astronomía	5
13	Química	5
14	Ciencias del planeta	3
15	Ciencias sociales	3
16	Agricultura y ciencias de la tierra	2
17	Ingeniería química	2
18	Medio ambiente	2
19	Ciencias biológicas	1
20	Ciencias de la tierra	1
21	Ciencias experimentales	1
22	Hepatitis	1
23	Medicamento	1

a abrirse los espacios en disciplinas como física, química y ciencias de la tierra, sobre todo, tratándose de campos de estudio donde las mujeres no logran incursionar de forma constante, aspecto que, de acuerdo con Larivière y col. (2013) afecta en las expectativas de las mujeres.

Las investigadoras que participaron en los trabajos más citados están o estuvieron adscri-

tas a 29 instituciones (Tabla 3). El sector salud, mediante sus distintas instituciones: Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto Nacional de Salud Pública, Instituto Nacional de Nutrición, Instituto Nacional

Psiquiatría Juan Ramón de la Fuente Muñiz, Hospital General de México, el Hospital General Dr. Manuel Gea González, entre otras, incorporó al mayor número de investigadoras, 53.6 % del total. De manera desagrupada, es el

■ **Tabla 3. Instituciones de adscripción de investigadoras mexicanas que participan en los trabajos más citados.**

Table 3. Affiliation institutions of Mexican female researchers who participate in the most cited works.

Núm.	Instituciones	Investigadoras (n)	Investigadoras %
1	SS*, Instituto Nacional de Salud Pública de Morelos	29	28.7
2	Universidad Nacional Autónoma de México	19	18.8
3	SS*, Instituto Nacional de Medicina Genómica	6	5.9
4	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	5	5.0
5	SS*, Instituto Nacional Nutrición Salvador Zubirán / Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán	4	4.0
6	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	4	4.0
7	Universidad Autónoma Metropolitana	4	4.0
8	SS*, Instituto Nacional Psiquiatría Juan Ramón de la Fuente Muñiz	4	4.0
9	Instituto Enfermedades de la Mama (FUCAM)	2	2.0
10	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey	2	2.0
11	SS*, Hospital General de México	2	2.0
12	SS*, Hospital General Manuel Gea González	2	2.0
13	SS*, Instituto Mexicano del Seguro Social	2	2.0
14	El Colegio de la Frontera Norte	1	1.0
15	Fundación y Hospital Médica Sur	1	1.0
16	Hospital General de Cuernavaca	1	1.0
17	Instituto Investigación en Ecosistemas y Sustentabilidad	1	1.0
18	Instituto Mexicano de Investigación Clínica	1	1.0
19	Institute Technol Conkal	1	1.0
20	SS*, Instituto del Servicio Social y de Seguridad de los Trabajadores del Estado	1	1.0
21	SS*, Dirección General de Epidemiología	1	1.0
22	SS*, Hospital 20 de noviembre, Guadalajara	1	1.0
23	SS*, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez	1	1.0
24	SS*, Instituto Nacional de Perinatología	1	1.0
25	Stellenbosh University	1	1.0
26	Universidad Anáhuac	1	1.0
27	Universidad Autónoma de Tlaxcala	1	1.0
28	Universidad Iberoamericana	1	1.0
29	Universidad Politécnica de Pachuca	1	1.0

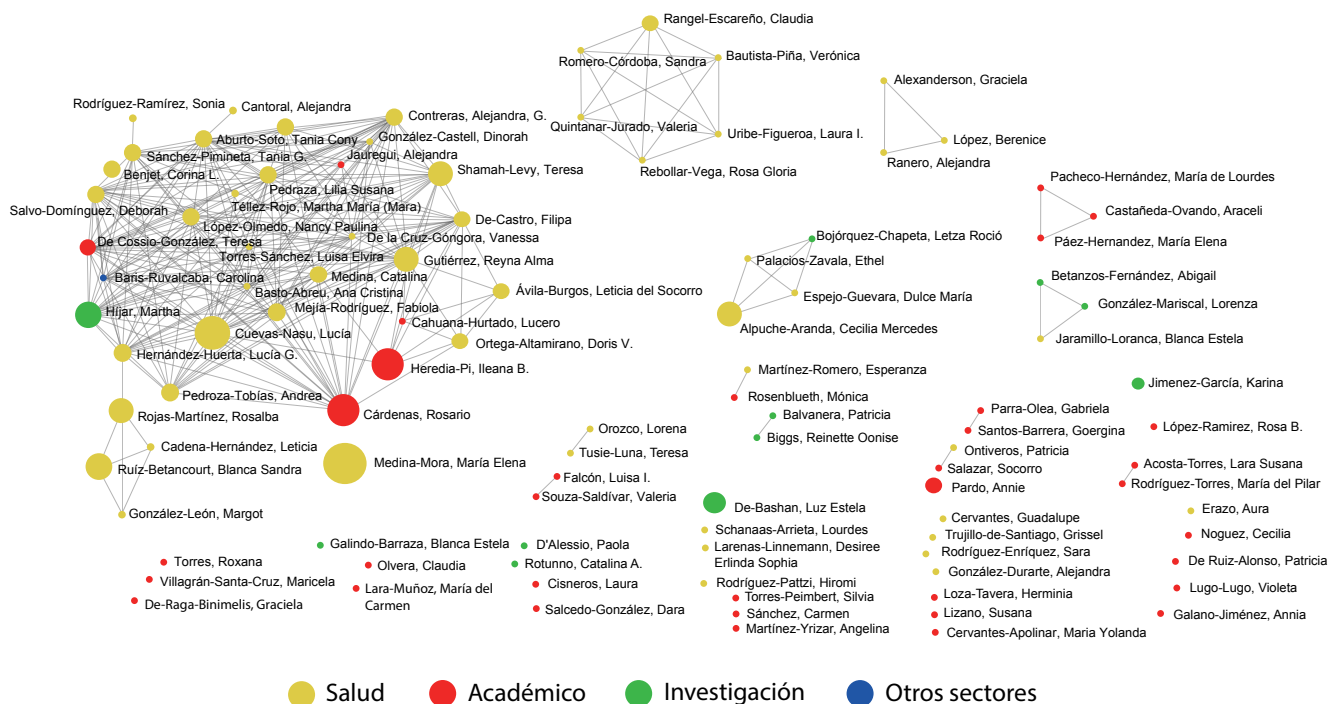
*SS: Secretaría de Salud.

Instituto Nacional de Salud Pública de Morelos el que registra al grueso (28.7 %) de mujeres, seguido de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con 18.8 %, el Instituto Nacional de Medicina Genómica (5.9 %), y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados con 5 %. Estos resultados parecen congruentes, dado que se trata de las instituciones de mayor consolidación en el país y las primeras en incorporar mujeres en su planta académica y de investigación (Martínez-Sosa y Cervera-Jiménez, 2012).

El análisis de la red de colaboración de investigadoras mexicanas se muestra en la Figura 4. Las instituciones de adscripción de las autoras se clasificaron en cuatro sectores de producción de la ciencia, para un mejor análisis de la procedencia de las publicaciones y el tipo de actividad a la que están orientadas primordialmente, dicho de otra manera, la función que deben cubrir. Las dependencias se clasificaron en los sectores: salud (amarillo), académico (rojo), investigación (verde) y otros (azul). Como se puede ver, el

nodo más denso lo conforman particularmente investigadoras del sector salud (Lucía Cuevas-Nasu, Reyna Alma Gutiérrez, Teresa Shamah-Levy, entre otras), con mínima representación del sector académico y de investigación mediante la presencia de Teresa Cosío-González, Ileana Heredia-Pi, Rosario Cárdenas, Alejandra Jauregui, Lucero Cahuana-Hurtado y Annie Pardo quien también tiene una participación destacada. Es precisamente en el nodo más estructurado donde se localizan las autoras con mayor participación, lo cual es identificado por el tamaño que representan los círculos. Importante es destacar la presencia de nodos más pequeños integrados por 4 y 6 investigadoras, pero también es primordial la presencia que tienen algunas científicas que publican de manera independiente, como es el caso de María Elena Medina-Mora.

Sin duda la colaboración está jugando un papel esencial en la ciencia. Este esquema se puede determinar a través del número de autores que participan en los trabajos mostrados en la Tabla 4, así como en la red de coautoría,



■ Figura 4. Redes de coautoría de las autoras mexicanas que participan en los trabajos más citados. Figure 4. Co-authorship networks of Mexican female authors who participate in the most cited works.

■ **Tabla 4. Participación de mujeres investigadoras en los trabajos con mayor número de citas.**
 Table 4. Participation of female researchers in the works with the highest number of citations.

Núm.	Autoras	Título del trabajo	Revista	Año	Volumen	Núm.	Total citas
1	Hernández-Huerta, Lucía G; Pedroza-Tobías, Andrea. Total de autores: 139	Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013	Lancet	2014	384	9 945	6 232
2	Orozco, Lorena; Tusie-Luna, Teresa. Total de autores: 78	Analysis of protein-coding genetic variation in 60,706 humans	Nature	2016	536	7 616	5 991
3	Medina-Mora, Maria Elena. Total de autores: 358	Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010	Lancet	2012	380	9 859	5 454
4	Heredia-Pi, Ileana B; Híjar, Martha; Mejía-Rodríguez, Fabiola; Salvo-Domínguez, Deborah. Total de autores: 477	Global, regional, and national age-sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013	Lancet	2015	385	9 963	4 750
5	Benjet, Corina L; Cárdenas, Rosario; Cuevas-Nasu, Lucía; De-la-Cruz-Góngora, Vanessa; Medina-Mora, Maria Elena. Total de autores: 589	Years lived with disability (YLDs) for 1 160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010	Lancet	2012	380	9 859	4 626

continúa...

6	<p>Aburto-Soto, Tania Cony; Benjet, Corina L; Contreras, Alejandra, G; Cuevas-Nasu, Lucía; De-la-Cruz-Góngora, Vanessa; De-Cossio-González, Teresa; Gutiérrez, Reyna Alma; Híjar, Martha; López-Olmedo, Nancy Paulina; Mejía-Rodríguez, Fabiola; Pedraza, Lilia Susana; Shamah-Levy, Teresa.</p> <p>Total de autores: 678</p>	<p>Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013</p>	Lancet	2015	386	9 995	3 589
7	<p>Larenas-Linnemann, Desiree Erlinda Sophia.</p> <p>Total de autores: 95</p>	<p>Allergic rhinitis and its impact on asthma (ARIA) 2008 update (in collaboration with the World Health Organization, GA(2) LEN and AllerGen)</p>	Allergy	2008	63		3 081
8	<p>González-León, Margot; Cadena-Hernández, Leticia; Rojas-Martínez, Rosalba; Ruíz-Betancourt, Blanca Sandra.</p> <p>Total de autores: 1 038</p>	<p>Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2 416 population-based measurement studies in 128.9 million children, adolescents, and adults</p>	Lancet	2017	390	10 113	2 689
9	<p>Cadena-Hernández, Leticia; Ruíz-Betancourt, Blanca Sandra.</p> <p>Total de autores: 752</p>	<p>Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1 698 population-based measurement studies with 19.2 million participants</p>	Lancet	2016	387	10 026	2 528

continúa...

10	Salcedo-González, Dara. Total de autores: 63	Evolution of Organic Aerosols in the Atmosphere	Science	2009	326	5 959	2 377
----	---	---	---------	------	-----	-------	-------

donde únicamente se integraron autoras de México. Las investigadoras mexicanas se están incorporando cada vez más a las grandes colaboraciones, sobre todo, las que forman parte de campos de estudio como el de medicina, que generalmente brindan beneficios a la sociedad (Yang, 2019).

En la Tabla 4 se muestran los 10 trabajos más citados (más de 2 000 citas). Se mencionan solo los nombres de las autoras adscritas a instituciones de México. No se incluye el nombre de todos los colaboradores por ser numerosos, pero se indica la cantidad de participantes en cada trabajo. Es posible observar que la mayor parte de los artículos corresponden al campo de medicina y fueron publicados en revistas con amplia difusión y reconocimiento, por ejemplo, *Lancet* y *Allergy*, no obstante, también hay presencia de títulos de tipo multidisciplinario como: *Nature* y *Science*. Algunas de las investigadoras participan en más de un trabajo, como es el caso de Martha Híjar (Instituto Nacional de Salud Pública de México), María Elena Medina-Mora (Instituto Nacional de Psiquiatría, Juan Ramón de la Fuente Muñiz), Fabiola Mejía-Rodríguez (Instituto Nacional de Salud Pública de México) y Blanca Sandra Ruíz-Betancourt (Instituto Mexicano del Seguro Social). Lo que quiere decir que, estas académicas han consolidado sus líneas de investigación y están involucradas activamente en acciones de colaboración científica.

Las investigadoras comienzan a formar coautorías que han dado excelentes resultados en términos de citas. La colaboración científica es producto de la participación de distintos autores, que pueden no pertenecer a la misma institución, país y campo de estudio. Los patrones aquí señalados dan muestra de la importancia que actualmente tiene

el trabajo en coautoría. Esta forma de publicación se ha convertido en uno de los medios más importantes de difusión del conocimiento y un medio por el cual se logra obtener un número más alto de citas, sobre todo, si se trata de colaboraciones internacionales (Khor y Yu, 2016). En este sentido, las investigadoras saben que, por esta vía pueden integrarse y estar presentes en los trabajos de mayor impacto, representando a México. Sin embargo, su participación sigue siendo baja. Aún cuando se ha incrementado el registro de mujeres en el Sistema Nacional de Investigadores (Rodríguez, 2016; CONACYT, 2022). Lo que hace suponer que, al haber más investigadoras, consolidadas o en consolidación, también se elevan las publicaciones, y por consiguiente debería de aumentar la participación en los documentos más citados. Sin embargo, no ocurre así, porque los campos más citados están relacionados básicamente con temas de bioquímica, genética y biología molecular, medicina, agricultura y ciencias biológicas, principalmente (Pérez-Sedeño, 2019); en tanto que, el grueso de las mujeres en el SNI forman parte de las ciencias sociales y las humanidades (CONACYT, 2022).

CONCLUSIONES

México tiene más de 400 000 publicaciones en la base de datos del WoS hasta febrero de 2022, con más de 232 documentos altamente citados (más de 800 citas). En 73 de estos trabajos (31.4 %) existe la participación de científicas mexicanas con adscripción a una institución nacional. Las 101 investigadoras que participan en ellos representan el 1.3 % del total de autores y en general fueron investigadoras con trayectorias consolidadas. El periodo de su actividad académica predominó entre los 20 y 56 años. Las principales áreas de investigación estuvieron asociadas a los campos de medicina y ciencia de la salud, con

presencia destacadas de otros campos, como agricultura y ciencias biológicas, ciencias del ambiente, diferentes disciplinas de ciencias sociales y algunas más de las ciencias básicas. Aunque la mayoría de las investigadoras registraron poca movilidad, algunas de las mujeres con mayor trayectoria enfrentaron un abundante número de cambios de adscripción para poder ejercer su profesión. La principal forma de participación fue mediante colaboraciones en grupos multidisciplinarios e inter-

nacionales. Las bases de datos WoS y Scopus no capturan información del sexo de los autores, lo que dificulta el desarrollo de este tipo de estudios. Es importante analizar la participación de mujeres en artículos con menor número de citas, para establecer más exhaustivamente la participación de mujeres en trabajos de alto impacto y la existencia de otros campos de investigación no identificados en este trabajo.

REFERENCIAS

- Aksnes, D., Rorstad, K., Piro, F., and Sivertsen, G. (2011). Are female researchers less cited? A large-scale study of Norwegian scientists. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 62(4): 628-636.
- Alger, E. (2021). Research by female authors less likely to be cited, in *The board*. [En línea]. Disponible en: <https://theboard.org/2021/09/research-by-female-authors-less-likely-to-be-cited/>. Fecha de consulta: 17 de junio de 2022.
- Anaya-Muñoz, V. H., García-Deister, V. y Suárez-Díaz, E. (2018). Aplanar y exhibir la variación: dos estrategias de investigación de la genética humana en México. *Revista Ciencias de la Salud*. 16(3): 510-533.
- Arshed, N. and Danson, M. (2015). The Literature Review. In R. MacIntosh and K. D. O'Gorman (Eds.), *Research Methods for Business and Management: A Guide to Writing Your Dissertation* (pp. 31-49). Goodfellow Publishers.
- Beltrán-Enríquez, R. E. (2020). Mujeres en la ciencia y la investigación, en *Columnas de México*. [En línea]. Disponible en: <https://www.columnasdemexico.com/mujeres-en-la-ciencia-y-la-investigacion/>. Fecha de consulta: 16 de abril de 2022.
- Bello, A. (2020). *Las Mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas en América Latina y el Caribe*. (Serie ONU Mujeres). Montevideo: ONU. 94 Pp.
- Blázquez-Graf, N. (2011). *El retorno de las brujas. Incorporación, aportaciones y críticas de las mujeres a la ciencia*. México: UNAM, Centro de Investigación Interdisciplinarias: Ciencias y Humanidades Coordinación de Humanidades. 150 Pp.
- Bonaccorci, A. and Daraio, C. (2003). Age effects in scientific productivity. *Scientometrics*. 58(1): 49-90.
- Camps, D. (2008). Limitaciones de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la actividad científica biomédica. *Colombia Médica*. 39(1): 74-79.
- Cárdenas-Tapia, M. (2015). La Participación de las Mujeres Investigadoras en México. *Investigación Administrativa*. 44(116): 64-80.
- CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2021). Resultados de la Convocatoria 2021 para ingreso, permanencia o promoción en el Sistema Nacional de Investigadores. [En línea]. Disponible en: https://conacyt.mx/wp-content/uploads/convocatorias/sni/resultados/2021/RESULTADOS_SNI_CONVOCATORIA_2021_INGRESO_O_PERMANENCIA.pdf. Fecha de consulta: 17 de abril de 2022.
- CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2022). Archivo histórico del Sistema Nacional de Investigadores. México: CONACYT. [En línea]. Disponible en: <https://conacyt.mx/sistema-nacional-de-investigadores/archivo-historico/>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2022.
- De-Filippo, D. (2009). *Estudio de la movilidad de los investigadores y su impacto en la actividad científica. El caso de una universidad española*. IV Encuentro de jóvenes investigadores. 1ra. Escuela doctoral Iberoamericana de estudios sociales y políticos sobre la ciencia y la tecnología. Caracas, Venezuela. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281100307_Estudio_de_la_movilidad_de_los_investigadores_y_su_impacto_en_la_actividad_cientifica_El_caso_de_una_universidad_espanola. Fecha de consulta: 26 de marzo de 2022.
- De-Garay, A. y Díaz-Muñoz, G. (2012). Una mirada a la presencia de las mujeres en la educación

superior en México. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*. 3(6): 3-30.

Dion, L. M., Sumner, J. L., and Mitchell, S. M. (2018). Gendered citation patterns across political science and social science methodology field. *Political Analysis*. 26(3): 312-327.

Dworkin, J. D., Linn, K. A., Teich, E. G., Zurn, P., Shinohara, R. T., and Bassett, D. S. (2020). The extent and drivers of gender imbalance in neuroscience reference lists. *Nature Neuroscience*. 23: 918-926.

Fulvio, J. M., Akinnola, I., and Postle, B. R. (2020). Gender (Im) balance in citation practices in cognitive neuroscience. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 33(19): 3-7.

Jolly, S., Griffith, K. A., De-Castro, R., Stewart, A., Ubel, P., and Jagsi, R. (2014). Gender differences in time spent on parenting and domestic responsibilities by high-achieving young physician-researchers. *Annals of Internal Medicine*. 160(5): 344-353.

Khor, K. A. and Yu, L. (2016). Influence of international co-authorship on the research citation impact of young universities. *Scientometrics*. 107(3): 1095-1110.

Kwiek, M. and Roszka, W. (2022). ¿Are female scientists less inclined to publish alone? The gender solo research gap. *Scientometrics*. 127(4): 1697-1735.

Larivière, V., Ni, C., Gringas, Y., Cronin, B., and Sugimoto, C. R. (2013). Bibliometrics: Global gender disparities in science. *Nature*. 504(7479): 211-213.

López-Sancho, M. P. (2016). Las mujeres en la ciencia: programa L'Oreal-UNESCO "Por mujeres en la ciencia", en España, en *Revista 100cias@uned, Nueva época*. [En línea]. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:revista100cias-2016-numero9ne-5220/Loreal.pdf>. Fecha de consulta: 26 de marzo de 2022.

Luna-Morales, M. E. y Luna-Morales, E. (2018). Mujeres investigadoras en las primeras estructuras de organización en ciencias exactas e ingenierías en México de 1900-2000: Estudio Bibliométrico. *Investigación Bibliotecológica*. 32(77): 193-215.

Luna-Morales, M. E., Luna-Morales, E. y Pérez-Angón, M. A. (2019). Los impactos de la descentralización de la enseñanza y la investigación en el Cinvestav de 1961-2015: estudio bibliométrico. *Investigación Bibliotecológica*. 33(81): 57-87.

Malinia, D., Powers, R., and Walter, B. (2013). The gender citation gap in international relations, in *International Organization*. [En línea]. Disponi-

ble en: <https://curt-rice.com/2013/10/19/the-great-citation-hoax-proof-that-women-are-worse-researchers-than-men/>. Fecha de consulta: 14 de abril de 2022.

Martínez-Sosa, V. y Cervera-Jiménez, J. A. (2012). Instituciones clave para el fomento de la cultura científica en México. *Revista Congreso Universidad*. 1(1): 1-9.

Nassi-Caló, L. (2021). El papel de los artículos de revisión va más allá de sintetizar el conocimiento actual sobre un tema de investigación, en *Scielo*. [En línea]. Disponible en: <https://blog.scielo.org/es/2021/07/14/el-papel-de-los-articulos-de-revision-va-mas-alla-de-sintetizar-el-conocimiento-actual-sobre-un-tema-de-investigacion/#.YxdThqGZND8>. Fecha de consulta: 6 de septiembre de 2022.

Ortiz, A. y Armendáriz, S. (2019). *La producción científica en la UNAM y la UNISON: búsqueda avanzada con perspectiva de género*. México: Gobierno del Estado de Sonora. 247 Pp.

Over, R. (1990). The scholarly impact of articles published by men and women in psychology journals. *Scientometrics*. 18(5): 331-340.

Pérez-Sedeño, E. (2019). Nuevos conocimientos desde una perspectiva feminista, en *Impacto de las mujeres en la ciencia: Efecto del género en el desarrollo y la práctica científica*. [En línea]. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/236077/5/Nuevos_conocimientos_perspectiva_feminista.pdf. Fecha de consulta: 27 de marzo de 2022.

Reardon, S. (2021). Fewer citations for female authors of medical research. Papers by women in elite medical journals are half as likely to be cited as are similar articles authored by men, research finds, in *Nature*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02102-8>. Fecha de consulta: 18 de marzo de 2022.

Rodríguez, C. E. (2016). *El Sistema Nacional de Investigadores en Números*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. 1-30 Pp.

Rodríguez, J., González-Brambila, C. N. y Maqueda-Rodríguez, G. (2017). El Sistema Nacional de Investigadores en México: 20 años de producción científica en las instituciones de educación superior (1991-2011). *Investigación Bibliotecológica*. 31(número especial): 187-219.

Rositter, M. W. (1993). The Matthew Matilda effect in science, in *Social Studies of Science*. [En línea]. Disponible en: <http://garciaproject.eu/wp-con>

tent/uploads/2014/10/Rossiter-1993_The-Matthew-Matilda-Effect-in-Science.pdf. Fecha de consulta 16 de abril de 2022.

Segado-Boj, F., Prieto-Gutiérrez, J. J. y Quevedo-Redondo, R. (2021). El efecto Matilda en la red de coautorías hispanoamericana en comunicación. *Revista Mediterránea de Comunicación*. 12(2): 77-95.

Segovia, C., Briones-Vozmediano, E., Pastells-Peiró, R., González-María, E. y Gea-Sánchez, M. (2020). Techo de cristal y desigualdades de género en la carrera profesional de las mujeres académicas e investigadoras en ciencias biomédicas. *Gaceta Sanitaria*. 34(4): 403-410.

Tsay, M. Y. and Li, C. N. (2017). Bibliometric analysis of the journal literature on women's studies. *Scientometrics*. 113(2):705-734.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2018). Women and girls' education - facts and figures. [En línea]. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/en/unesco/events/prizes-and-celebrations/celebrations/international-days/international-womens-day-2014/women-ed-facts-and-figure/>. Fecha de consulta: 3 de abril de 2022.

Walker, K. A. (2020). Females Are First Authors, Sole Authors, and Reviewers of Entomology Publications Significantly Less Often Than Males. *Annals of the Entomological Society of America*. 113(3): 193-201.

Watts, R. (2007). Women in science. A social and cultural history. London: Routledge. [En línea]. Disponible en: [file:///C:/Users/lenovo/Downloads/10.4324_9780203962350_previewpdf%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/lenovo/Downloads/10.4324_9780203962350_previewpdf%20(1).pdf). Fecha de consulta: 18 de junio de 2022.

Yang, Y. B. (2019). The role of genetics in medicine: A future of precision medicine. *BC Medical Journal*. 61(10): 388-389.

Zhang, L. and Sivertsen, G. (2021). Female researchers are more read and less cited because they more often engage in research for societal progress, in *School of Economics and Political Science*. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2021/11/15/female-researchers-are-more-read-and-less-cited-because-they-more-often-engage-in-research-for-societal-progress/>. Fecha de consulta: 28 de abril de 2022.



Influencia de los círculos literarios para desarrollar la lectura en extenso en inglés en ambientes virtuales

Influence of literary circles to develop extensive reading in English in virtual environments

Norma Flores-González

RESUMEN

Hoy en día, un problema latente en el proceso de aprendizaje de una lengua extranjera es la comprensión lectora. Ante este panorama, es menester identificar estrategias o medios que permitan abatirlo. Los círculos literarios mejoran ampliamente las experiencias y conocimientos de lectura de los estudiantes, dado que permiten enriquecer su bagaje léxico con uso correcto de estructuras gramaticales. El objetivo del presente estudio fue identificar la influencia de los círculos literarios en el desarrollo de la lectura en extenso (LE) en ambientes virtuales, con la intención de contribuir al mejoramiento de la comprensión lectora del inglés de manera autónoma y fuera de las aulas ordinarias. Para analizar este fenómeno se realizó un estudio cuantitativo longitudinal con alcance correlacional que permitió a los investigadores identificar tres elementos principales en el proceso de aprendizaje con círculos literarios para la lectura extensiva: pedagógico, social, y técnico, así como cuatro formas de aproximación a la lectura: gráfica, oral, asociativa y analítica, donde subyacen recorridos cognitivos mediados por tecnología y procesos de internalización en un aprendizaje ubicuo que detona leer en grandes cantidades con placer, precisión, velocidad, motivación y confianza. Los hallazgos confirman la influencia de los círculos literarios en la LE aportando un modelo tecno-pedagógico para su implementación y una forma innovadora de desarrollar la LE en modalidades virtuales que contribuye a mejorar los niveles de proficiencia en la comprensión lectora.

PALABRAS CLAVE: círculos literarios, lectura en extenso, herramientas digitales, ambientes virtuales.

ABSTRACT

Today, a latent problem in foreign language learning is reading comprehension. Given this scenario, it is necessary to identify strategies or means to bring it down. Literary circles improve students' reading experiences and knowledge since they allow them to enrich their lexical baggage with the correct use of grammatical structures. The objective of the present study was to identify the influence of literary circles to foster extensive reading (ER) in virtual environments to improve English reading comprehension autonomously and outside ordinary classrooms. For analyzing this phenomenon, a quantitative longitudinal study with a correlational design was carried out, which helped researchers to identify three essential elements during the learning process with literary circles for extensive reading: pedagogical, social, and technical. Additionally, four ways of approaching reading were identified: graphic, oral, associative, and analytical, where technology-mediated cognitive pathways and internalization processes underlie ubiquitous learning that triggers reading in large quantities with pleasure, accuracy, speed, motivation, and confidence. The findings confirm the influence of literary circles in ER, providing a techno-pedagogical model for its implementation and an innovative way of developing it in virtual modalities that contributes to improving proficiency levels in reading comprehension.

KEYWORDS: literary circles, extensive reading, digital tools, virtual environments.

*Correspondencia: norma-fg@hotmail.com/Fecha de recepción: 12 de agosto de 2022/Fecha de aceptación: 7 de diciembre de 2022/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Lenguas, 24 Nte 2003, Humboldt, Puebla, Puebla, México, C. P. 72370.

INTRODUCCIÓN

La lectura es una actividad cognitiva que permite al ser humano adquirir los conocimientos de su entorno a través de una interacción con textos escritos (Perassi y col., 2017). Comprende diferentes habilidades que van desde lo más simple, como la decodificación de los símbolos lingüísticos, a lo más complejo, como sería la interpretación de las ideas. En un entorno académico, en especial a nivel universitario, esta actividad lectora toma una gran relevancia para el desarrollo de habilidades lingüísticas, cognitivas y metacognitivas (Nterreke y Ramoroka, 2017), que permiten al estudiante la construcción de conocimientos, el desarrollo de habilidades del pensamiento superior (análisis, inferencia, pensamiento crítico y reflexivo), así como la resolución de problemas (Okasha, 2020), posibilitando la comprensión lectora eficaz (Bustamante y col., 2019). No obstante, se presentan dificultades para su desarrollo que se pueden asociar a prácticas lectoras pasivas, basadas en la repetición y la memorización de la información (Perassi y col., 2017), o incluso, a la falta de estrategias cognitivas y metacognitivas (Bustamante y col., 2019).

La comprensión lectora es entendida como la destreza que permite la apropiación de diversos contenidos y cuya interiorización promueve la construcción de nuevos conocimientos (Simbolon y col., 2020). En el área de las lenguas extranjeras, esta habilidad es necesaria para las competencias comunicativas (Septarini, 2017); la cual, a través de actividades de interacción con textos, permite el contacto con la lengua nativa o meta de manera contextualizada. Así, la lectura es un medio para la negociación de significados, partiendo de los conocimientos previos, el uso de estrategias cognitivas y afectivas (Gamboa-González, 2017) en la apropiación óptima de la información (Par, 2020). Según Srisang y Everatt (2021) existen dos niveles de aplicación lectora: el básico o nivel cognitivo, para el reconocimiento de elementos estructurales y gramaticales del texto (morfosintáctico), y el avanzado o nivel metacognitivo, en donde se

desarrollan habilidades de monitoreo (planificación, evaluación y regularización del proceso), realizando inferencias y referencias contextuales para crear significados (Hossu y Roman, 2019). Como se observa, existen distintos procesos y fases para desarrollar la comprensión lectora, y por su misma naturaleza requiere de medios y actividades variadas para su desarrollo. Al respecto, una forma innovadora de acercamiento a dicho proceso es la lectura en extenso o extensiva (LE).

La metodología de la LE se ha utilizado en la didáctica de las lenguas extranjeras, por sus beneficios en la adquisición de la lengua y el desarrollo de la habilidad lectora de manera práctica, atractiva, significativa y autónoma (Sánchez y Gavilánez, 2017; Wang y Kim, 2021). Se trata de un método de lectura en el que se expone a los estudiantes a una enorme cantidad de vocabulario y estructuras gramaticales, a través de lecturas simples y comprensibles de textos variados, los cuales son seleccionados de forma espontánea y placentera (Ateek, 2021). Su uso permite aumentar el conocimiento del vocabulario de manera exponencial y rápida, aunque este proceso es de forma progresiva, ya que al ser una lectura que se hace por gusto, el objetivo de la práctica y aprendizaje de la lengua extranjera no se plantea de manera explícita, y la adquisición del vocabulario se vuelve una actividad no intencionada y natural, detonando un aprendizaje visual a través de estas lecturas (Aka, 2019).

Al ser una actividad totalmente autónoma, el papel central lo tienen los estudiantes, ya que ellos planifican, organizan y seleccionan sus lecturas. Sin embargo, el docente también tiene un rol importante en el desarrollo de las actividades (Celik, 2017), siendo este un curador de materiales, (Shih y col., 2018), un monitor para detectar problemas de desmotivación o de dudas y un mediador para guiar la participación y brindar retroalimentación (Cabrera y col., 2021).

Con el afán de desarrollar la LE de una manera innovadora, diversos autores proponen

el uso de ciertas estrategias, siendo una de estas, el empleo de círculos literarios. Se trata de pequeñas agrupaciones de personas que se reúnen para compartir y discutir el contenido de uno o varios libros (Pérez, 2020). En el ambiente educativo se considera una estrategia centrada en el estudiante, cuya finalidad es trabajar colaborativamente los contenidos de un texto de manera activa y rápida, designando roles a cada miembro del grupo de lectura para promover la participación equitativa en las discusiones. De acuerdo a Villafuerte y col. (2017), Herrera y Kidwell (2018), Pérez (2020), Tosun y Doğan (2020) y Abdullah y col. (2021), los roles son:

- 1) Guía de debate. Cuestiona a los integrantes del equipo para verificar su comprensión.
- 2) Resumidor. Sintetiza el contenido del texto.
- 3) Conector. Identifica y relaciona los elementos del texto con eventos de su contexto.
- 4) Maestro de las palabras. Identifica las palabras desconocidas y busca su significado.
- 5) Responsable de los pasajes. Reconoce escenas importantes para describir el texto.
- 6) Coleccionista de cultura. Distingue información que muestra cuestiones culturales.

Los círculos literarios son ideales para detonar la LE participativa en una lengua extranjera, pues brindan muchas ventajas. Por ejemplo, la adquisición de nuevo vocabulario, la interiorización de nuevas estructuras gramaticales, la identificación de las ideas principales, así como el desarrollo de un pensamiento reflexivo y crítico a través del uso de inferencias, analogías o reformulaciones (Haerazi y Irawan, 2020). Por otra parte, se tienen dispositivos tecnológicos que brindan diversas herramientas para mejorar esas habilidades lectoras (Ochoa-Vásquez y Ramírez-Montoya, 2017). De hecho, con la implementación de la tecnología en los procesos de enseñanza/aprendizaje de lenguas extranjeras, la lectura se transformó, convirtiendo los textos tradicionales a textos digitales más interactivos y de fácil acceso, en los cuales se encuentra la información vinculada entre sí (Bui y Macalister, 2021). No obstante, este proceso requiere del uso de

estrategias, técnicas y herramientas o recursos tecnológicos que faciliten la creación de ambientes educativos aptos para trabajar de forma práctica y significativa (Celik, 2017). Un ejemplo son los círculos literarios, estrategias lectoras que promueven la practicidad del trabajo colaborativo, la accesibilidad a la comunicación e información albergada en plataformas, software y redes sociales (Villafuerte y col., 2017).

Por su parte, Moreno y col. (2017) establecen una serie de pautas generales que guían el desarrollo del club de lectura, como la selección del medio, el tipo de acceso (cerrado o abierto), las habilidades y conocimientos digitales, la selección y/o elaboración de material de lectura, las herramientas de apoyo tutorial, la programación de sesiones de discusión y la evaluación del proceso.

La importancia del estudio es dar respuesta a la problemática generalizada de los estudiantes, que es el bajo nivel de comprensión lectora (Trujillo, 2014; Díaz, 2021).

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia del uso de los círculos literarios para desarrollar la lectura en extenso en ambientes virtuales y contribuir a la promoción de la comprensión lectora, a través de una intervención educativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

Se utilizó un diseño cuasi experimental cuya intención fue manipular la variable independiente, metodología de enseñanza, mediante el uso de círculos literarios en un modelo tecnopedagógico, que promueve la LE, para ver su posible efecto en la variable dependiente nivel de dominio de la lengua extranjera (inglés) a través de un examen estandarizado (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) acorde a los descriptores del Marco Común Europeo de Referencia para las Lenguas, el cual fue elaborado por el Cuerpo Académico 351 de la Facultad de Lenguas. Se integraron un grupo experimental y un grupo control. En

el primero se aplicó un modelo tecno-pedagógico para desarrollar la LE a partir de círculos literarios, con ayuda de Padlet y un diccionario digital. En contraste, el segundo grupo desarrolló su LE de manera tradicional (con diccionario impreso), es decir, se mantuvo aislado de la propuesta reflejada en el modelo tecno-pedagógico. Finalmente, para probar y verificar la viabilidad de dicha propuesta, se aplicó un diagnóstico y un postratamiento para medir el efecto de los círculos literarios. Por tanto, se trata de un estudio cuantitativo con un diseño asociativo y corte longitudinal.

Muestra

La población de estudio estuvo conformada por 96 estudiantes de la Facultad de Lenguas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), adscritos a dos cursos virtuales extracurriculares (matutino y vespertino), durante el periodo primavera 2022. Cada grupo tuvo 48 estudiantes designados al azar. Los participantes compartían las siguientes características: alumnos de la licenciatura en la enseñanza del inglés, inscritos en el se-

gundo semestre y con nivel de comprensión lectora por debajo de lo requerido (A2), de acuerdo a los planes y programas.

Instrumentos

La conceptualización y operacionalización de las variables de estudio se muestran en la Tabla 1.

Se utilizó el instrumento de Pino-Silva (2009) para medir la LE y dominio del idioma (Tablas 2a y 2b) en las tres fases: diagnóstica, tratamiento y postratamiento, como se muestra en las Tablas 3 y 4. La frecuencia del uso del diccionario se obtuvo de la información que proporcionó la plataforma Moodle institucional.

Círculos literarios

El tratamiento aplicado al grupo experimental consistió en un programa de LE que incluyó textos de lectores graduados, con 2 sesiones de 2 h a la semana durante 20 semanas. El modelo propone desarrollar la comprensión lectora a partir de la LE, basada en roles de círculos literarios apoyados con herramientas digitales

■ **Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de las variables de estudio.**

Table 1. Conceptualization and operationalization of the study variables.

Variable	Conceptualización	Operacionalización	Propósito
Independiente: Círculos literarios con apoyo de herramientas como Padlet y diccionario digital.	Pequeñas agrupaciones de personas que se reúnen para compartir y discutir el contenido de uno o varios libros (Pérez, 2020).	Hoja de trabajo para cada texto según instrumento de Pino-Silva (2009).	Medir la asociación entre lectura extensiva en la lengua extranjera y el uso de círculos literarios.
Dependiente: Lectura extensiva en la lengua extranjera.	Método de lectura en el que se expone a los estudiantes a una enorme cantidad de vocabulario y estructuras gramaticales a través de lecturas simples y comprensibles de textos variados (Ateek, 2021).		

■ Tabla 2a. Instrumento para medir la lectura extensiva y el dominio del idioma (Pino-Silva, 2009).
 Table 2a. Instrument to measure extensive reading and language proficiency (Pino-Silva, 2009).

EXTENSIVE READING WORKSHEET

Student's Name: _____ Class: _____ Date: _____

A. Text title: _____

B1. Text number: _____ B2. Number of words: _____

C1. I began reading at _____ C2. I finished reading at _____

D. Did you use a dictionary? Yes _____ No _____

E. Self-rating of text comprehension. My understanding of the text was ...(Check one ✓)

- 1. Very poor
- 2. Poor
- 3. Acceptable
- 4. Good
- 5. Excellent

F. In my opinion, the text is... (Check one ✓)

- 1. Very easy
- 2. Easy
- 3. Not difficult
- 4. Very difficult
- 5. Extremely difficult

G. Express your opinion circling one of the numbers in the scale below

	Very Little		Very Much	
1. Did you enjoy reading the text?	1	2	3	4
2. Did you learn anything from the text?	1	2	3	4
3. Was the general topic of the text familiar to you?	1	2	3	4

H. Would you recommend your teacher to give this text to another student in the future?
 Yes: _____ No: _____

I. I think I learned the following new words from the text I just read (*write as many as you want*)

The main idea of this text is

■ **Tabla 2b. Instrumento para medir la LE.**
 Table 2b. Instrument to measure ER.

Secciones	Variable	Formato de la sección
Información personal	Nombre Título y número de texto leído Tiempo invertido en el proceso de lectura de cada texto	Abierto
Autoevaluación	Proceso de comprensión lectora	Escala de Likert con cinco opciones: muy pobre, pobre, aceptable, bueno, excelente.
Opinión del texto	Dificultad del texto	Escala de Likert con seis opciones: extremadamente difícil, muy difícil, difícil, no es difícil, fácil, muy fácil.
	Placer por la lectura	Escala de Likert con cuatro valores: muy poco, poco, mucho, demasiado.
	Aprendizaje obtenido a partir del texto	
	Familiaridad con el contenido del texto	
	Recomendar la lectura del texto	Dicotómica: Si/No. Incluye una argumentación sólida adicional.
	Identificar la idea principal del texto	Abierto, dicotómico: Si/No. El profesor evaluó si el alumno identificó la idea principal.

Fuente: Pino-Silva, 2009.

(Figura 1). Todo esto implementado en un modelo tecno-pedagógico albergado en plataforma Moodle institucional.

La elección de textos graduados obedeció a sus bondades evidenciadas en estudios de López (2017) y Voogel (2019), donde los conciben como generadores de comprensión lectora de manera progresiva, con base en el nivel de complejidad (gramática, léxico, vocabulario) de la lengua extranjera. Su uso permite el aprendizaje de unidades temáticas que van ajustándose a los diferentes niveles lin-

güísticos (Consejo de Europa, 2018), aumentado de manera paulatina el gusto, interés y motivación por la lectura (Klijnstra, 2021). De igual manera, otros estudios afirman que el uso de la LE mejora la adquisición de vocabulario (Suk, 2016; Cárdenas y col., 2019), habilidades de escritura (Park, 2016), fluidez en la lectura (McLean y Rouault, 2017) y habilidades lectoras.

Para trabajar en el modelo tecno-pedagógico se formaron 8 equipos de 6 personas cada uno y se les asignó un rol del círculo literario.

■ **Tabla 3. Resultados obtenidos de la fase diagnóstica y de tratamiento.**
 Table 3. Results obtained in the diagnostic and treatment phase.

Categorías	Fase de diagnóstico			Fase de tratamiento
	Frecuencia	Grupo control	Grupo experimental	Grupo experimental
Textos leídos	Única	2	2	7
Tiempo promedio invertido en cada texto	0 min a 30 min			100 %
	31 min a 60 min	100 %	100 %	
	61 min a 90 min			
Uso de diccionario	0 veces			100 %
	1 a 5 veces			
	6 a 10 veces			
	11 a 15 veces			
	16 a 20 veces	87 %	2 %	
	21 a 25 veces	13 %	98 %	
Opinión del texto	Extremadamente difícil	97 %	90 %	
	Muy difícil	3 %	10 %	
	Difícil			
	No es difícil			
	Fácil			2 %
	Muy fácil			98 %
Placer por la lectura	Muy poco	100 %	100 %	
	Poco			
	Mucho			9 %
	Demasiado			91 %
Aprendizaje obtenido a partir del texto	Muy poco	94 %	98 %	
	Poco	6 %	2 %	
	Mucho			5 %
	Demasiado			95 %

continúa...

Familiaridad con el contenido del texto	Muy poca	88 %	4 %	
	Poca	12 %	96 %	
	Mucha			1 %
	Demasiada			99 %
Recomendar la lectura del texto	Si		1 %	100 %
	No	100 %	99 %	
Identificar la idea principal del texto	Si	2 %	3 %	100 %
	No	98 %	97 %	
Nivel de comprensión (autoevaluación)	Muy pobre	4 %	6 %	
	Pobre	96 %	94 %	
	Bueno			7.7 %
	Aceptable			
	Excelente			92.3 %
Nivel de comprensión (examen estandarizado)	A1-	16.67 %	66.67 %	NA
	A1	54.17 %	18.75 %	NA
	A1+	20.83 %	10.41 %	NA
	A2-	8.33 %	4.17 %	NA
	A2			NA
	A2+			NA

NA: No aplica. No se aplicó un examen estandarizado en esta etapa.

Una vez que leían su libro, se hacían sesiones sincrónicas para compartir su comprensión del texto. Por lo que respecta a la retroalimentación por parte del docente, la recibían por escrito (en Moodle institucional), en formato de audio (aTube Catcher) o video (Padlet). En la sesión 19 se realizó una evaluación de seguimiento (cohorte) para establecer el efecto en el desarrollo de la LE.

Recolección y análisis de datos

En la fase diagnóstica y de postratamiento se aplicaron dos instrumentos a ambos grupos. El primero midió la LE con el instrumento de Pino-Silva (Tabla 2b) para conocer cuántos textos leían y en cuánto tiempo y aspectos relacionados con la lectura. El segundo midió

su nivel de comprensión lectora con un examen estandarizado.

La fase de tratamiento se aplicó únicamente al grupo experimental y consistió en el uso de círculos literarios para el desarrollo de la LE en ambientes virtuales con el propósito de potencializar el nivel de eficiencia de comprensión lectora. En esta etapa, la LE se midió con el instrumento de Pino-Silva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico inicial

Los resultados muestran un nivel inicial de capacidad de LE precaria (Tabla 3). En ambos grupos, el tiempo promedio necesario para cada lectura fue de 60 min, recurrieron

■ **Tabla 4. Resultados obtenidos de la fase postratamiento.**
 Table 4. Results obtained in the post-treatment phase.

Categorías	Fase de postratamiento		
	Frecuencia	Grupo control	Grupo experimental
Textos leídos	Total	96	280
Tiempo promedio invertido en cada texto	0 min a 30 min		100 %
	31 min a 60 min	100 %	
	61 min a 90 min		
Uso de diccionario	0 a 20 veces		100 %
	21 a 40 veces		
	41 a 60 veces		
	61 a 80 veces		
	81 a 100 veces	5 %	
	101 a 120 veces	95 %	
Opinión del texto	Extremadamente difícil		
	Muy difícil	72 %	
	Difícil		
	No es difícil		
	Fácil	28 %	11 %
	Muy fácil		89 %
Placer por la lectura	Muy poco	49 %	
	Poco	51 %	
	Mucho		8 %
	Demasiado		92 %
Aprendizaje obtenido a partir del texto	Muy poco	76 %	
	Poco	20 %	
	Mucho	4 %	1 %
	Demasiado		99 %
Familiaridad con el contenido del texto	Muy poca	71 %	
	Poca	29 %	
	Mucha		
	Demasiada		100 %

continúa...

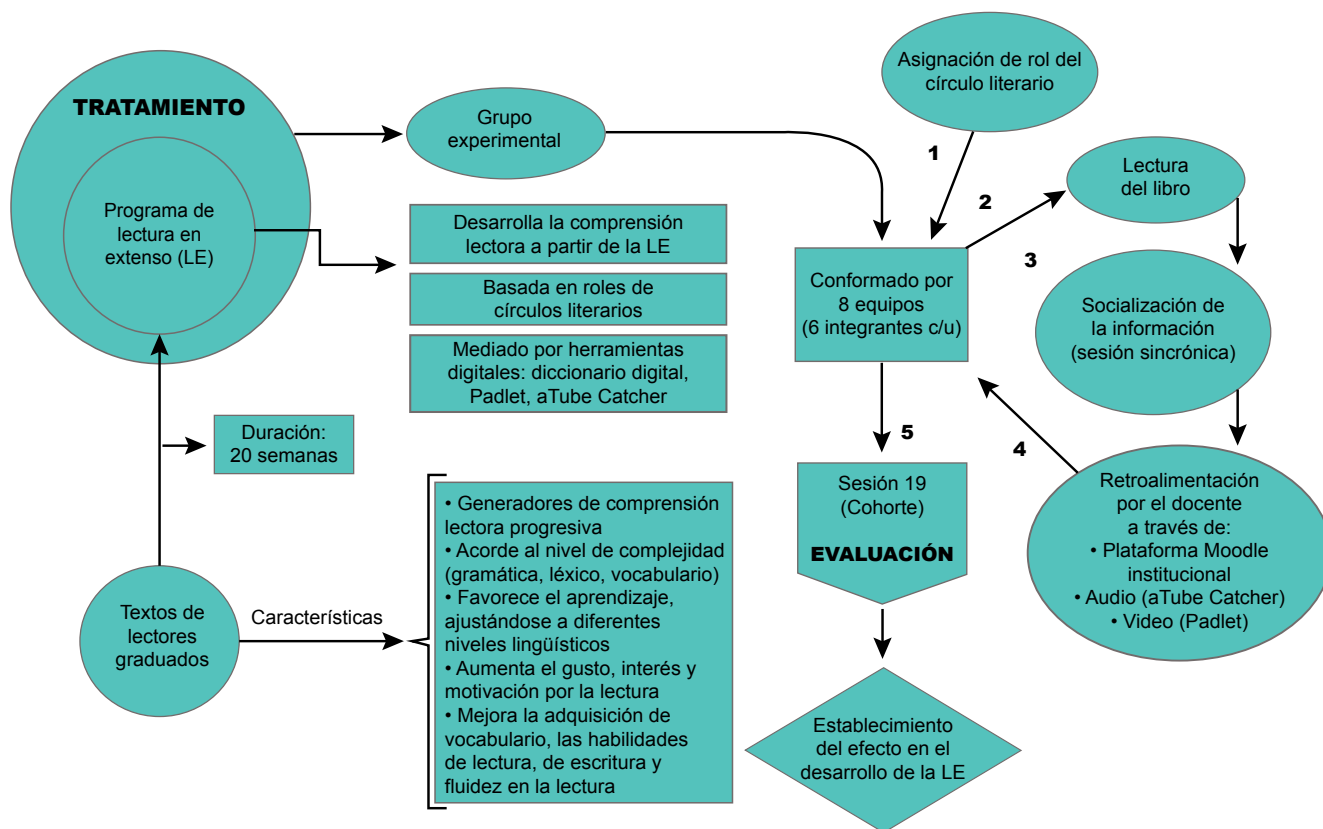
Recomendar la lectura del texto	Si	13 %	100 %
	No	87 %	
Identificar la idea principal del texto	Si	35 %	100 %
	No	65 %	
Nivel de comprensión (autoevaluación)	Muy pobre		
	Pobre	26 %	
	Bueno		6.7 %
	Aceptable	74 %	
	Excelente		93.3 %
Nivel de comprensión (examen estandarizado)	A1-		
	A1	70.82 %	
	A1+	20.83 %	
	A2-	8.35 %	
	A2		6.25 %
	A2+		93.75 %

al diccionario en más de 16 a 20 veces el grupo control y 21 a 25 veces el grupo experimental, y al menos el 90 % de los participantes en ambos grupos consideraban que la lectura era extremadamente difícil. De hecho, el 100 % percibió una lectura muy poco placentera, con poco aprendizaje a partir del texto y muy poca o poca familiaridad con el contenido; además de problemas para identificar la idea principal del texto (más del 95 %), lo cual detonó una posibilidad casi nula de recomendar el texto. En consecuencia, al menos el 10 % de los estudiantes se auto percibía con un nivel de comprensión muy pobre. Estos resultados coincidieron con el nivel de comprensión lectora obtenido en el examen estandarizado, en el que más del 70 % presentó problemas de aprehensión de textos (niveles A1- y A1).

Las dificultades de comprensión lectora suelen estar asociadas a la falta de bagaje léxico, como lo mostró la necesidad del uso recurrente del diccionario y la falta del uso de estrategias adecuadas para este tipo de lectura,

lo cual contribuye a un proceso de lectura lento. Dichos resultados coinciden con estudios donde se señalan a las estrategias cognitivas de percepción, memoria y atención, como elementos cruciales para fomentar la LE (Banda, 2019), estrategias de resumen o de inferencia, de monitoreo, de identificación de idea principal y representación del conocimiento, para desarrollar la LE en modalidades mediadas por tecnología (Flores-González, 2019).

La percepción de la lectura como una actividad nada placentera frecuentemente detona actitudes negativas por parte de los estudiantes, debido a los requerimientos que el proceso por sí mismo implica, como comprensión entre líneas, identificación de relaciones semánticas, y la vinculación entre el conocimiento previo y nuevo, entre otros. Al respecto, se ha establecido que, el medio por el cual se socializa la lectura es fundamental y depende de la edad y estilo de aprendizaje de los lectores, de manera tal que, para los jóvenes, el medio idóneo es digital (Diel, 2019).



■ **Figura 1. Modelo tecno-pedagógico (albergado en plataforma Moodle institucional).**
 Figure 1. Techno-pedagogical model (hosted on the institutional Moodle platform).

La familiaridad con el contenido del texto es otro elemento determinante en el proceso de comprensión lectora de una lengua extranjera, toda vez que, si el lector conoce el tema, empleará menos tiempo en el proceso de lectura, recurrirá con menor frecuencia al diccionario y comprenderá más, contribuyendo al desarrollo de la lectura extensiva placentera con enriquecimiento lexical. Es por ello que la lectura es estratégica, ya que depende de la familiaridad del lector con el tema y de la naturaleza del material (Pinzás, 2001). Es decir, el estudiante modifica su estrategia de lectura acorde al conocimiento que tiene del texto que pretende comprender (Cooper, 1998; Salas, 2012). No obstante, es necesario resaltar que la familiaridad no es el único elemento para desarrollar una comprensión lectora

aceptable. Esto se puede apreciar en el grupo control, el cual registró en la fase inicial mejor comprensión lectora, pero muy poca familiaridad con los temas, a diferencia de el grupo experimental, el cual, manifestó menor comprensión lectora a pesar de señalar mayor familiaridad con el tema. Esta destreza mejoraría hasta la fase de tratamiento al trabajar su LE con estrategias mediadas por tecnología y los círculos literarios, ya que ambas estrategias promueven una aproximación a la lectura a través de la representación gráfica u oral, que va más allá del conocimiento del tema, posibilitando la identificación de ideas principales, relaciones semánticas y discursivas entre los elementos del texto y privilegiando el pensamiento superior (Goa y Wodai, 2022; Liu y Tang, 2022) y la comprensión

de textos (Clerici, 2020; Rodríguez-Chavira y Cortés-Montalvo, 2021). Lo anterior se corrobora en el grupo control que no mejoró su LE dado que continuaron su proceso en el aula tradicional.

Intervención educativa

Los resultados de la evaluación de seguimiento, realizado en la sesión 19, se muestran en la Tabla 3. El avance obtenido es evidente. Los estudiantes leyeron 7 textos en total en no más de 30 min, sin tener que hacer uso del diccionario (lo que habla de motivación y una mayor confianza) e identificando la idea principal de texto (100 %). Su percepción de la lectura fue mayoritariamente considerada como muy fácil (98 %) y demasiado placentera (91 %), manifestando demasiado aprendizaje (95 %) y demasiada familiaridad con el contenido del texto (99 %), lo cual les permitió recomendar (100 %) dichas lecturas. El 92.3 % se autoevaluaba con un nivel de comprensión excelente, sin embargo, no se realizó un examen estandarizado que lo confirmase.

La estrategia de usar círculos literarios mostró resultados favorables (aunque en esta etapa no se contrasta con el grupo control). A pesar de que su implementación como apoyo en la docencia no es nueva, lo innovador es el modelo tecno-pedagógico en ambientes virtuales, para desarrollar el pensamiento crítico, reflexivo y analítico, al compartir e intercambiar significados, como lo demuestra el estudio de Velásquez-García (2019), que confirma el uso de círculos literarios para la lectura comprensiva, como un proceso interactivo que coadyuva a esclarecer dudas, construir nuevas ideas e intercambiar información.

En esta estrategia educativa destacó el rol activo de los estudiantes, generando un proceso de andamiaje caracterizado por la colaboración y participación activa; componente básico en los roles de los círculos literarios (Ramírez y Vargas, 2018) para promover la LE y tener un acercamiento a la aprehensión de un escrito digital, iniciando así una actividad virtual de reformulación de los textos,

para finalmente representar de manera gráfica u oral su comprensión lectora utilizando herramientas digitales como Padlet o el diccionario digital. De hecho, este modelo tecno-pedagógico permite reducir la consulta del diccionario y desarrollar familiaridad con el texto al proporcionar lecturas digitales interactivas con aprendizaje ubicuo, lo cual guía a los estudiantes para mostrar su aprensión del texto de manera escrita y oral con el apoyo de los roles de círculos literarios donde se observan cuatro formas distintas de acercamiento a la lectura y comprensión entre líneas, a saber: gráfica, oral, asociativa y analítica, de acuerdo con los estudios de Velásquez-García (2019) y POGIL (2021). En el presente estudio, fue posible observar la presencia de las mismas:

a) Acercamiento gráfico. Se dio mediante el empleo del rol responsable de los pasajes, pues la identificación de escenas esenciales en un texto le permite, con Padlet, representar gráficamente imágenes, dibujos, mapas y fotografías que facilitan plasmar la idea principal y en general su comprensión de manera creativa, novedosa y significativa, como lo señala Velásquez-García (2019).

b) Acercamiento oral. El rol de coleccionista cultural ayudó al estudiante a identificar y seleccionar elementos culturales e identitarios propios de la lengua, para hacer la comparación entre la lengua materna y la extranjera, con la intención de comprender un texto, generar competencias generales, conexiones culturales y lingüísticas, hallazgos que coinciden con los de Pérez (2020). Cabe resaltar que este elemento posibilitó una lectura fácil y placentera con aprendizaje basado en la competencia intercultural.

c) Acercamiento asociativo. Esta aproximación se realizó a través del rol de conector. De esta manera, los estudiantes relacionaron sus experiencias previas con los contenidos de las lecturas para identificar su propósito, posibilitando el desarrollo de habilidades de abstracción, integración y construcción colectiva en sus discusiones, debates e intercambios

de interpretaciones y discernimientos orales o escritos, elementos que se encuentran presentes en el estudio de Velásquez-García (2019).

d) Acercamiento analítico. En esta forma de entender un texto subyacen tres roles. El primero es guía de debate, el cual desarrolló en el estudiante habilidades de curiosidad por el saber, motivación para la interacción entre compañeros, escucha atenta a las aportaciones, flexibilidad en el intercambio de ideas y uso del lenguaje respetuoso e incluyente; actitudes que coinciden con los hallazgos de Revelo y col. (2018), donde señalan la importancia del respeto para el intercambio de opiniones, en un ambiente cordial. El segundo es el de resumidor, que fomentó el pensamiento deductivo y analítico, al seleccionar la información base del texto y reconocer elementos claves para la LE, como personajes, descripción del tiempo, espacio, similitudes y diferencias. El último corresponde al maestro de las palabras (rol que coadyuvó a disminuir el uso del diccionario). Esta manera de abordar la lectura promovió el pensamiento interpretativo de las ideas, aportes y visión general de los textos, contribuyendo al enriquecimiento de vocabulario (Martínez-Olvera y Esquivel-Gámez, 2017; Cárdenas y col., 2019), además de profundizar en la estructura del idioma y su uso correcto en diversos géneros textuales (Velásquez-García, 2019).

Como se observa, las cuatro formas de abordar la LE, con uso de círculos literarios, permitió un aprendizaje autónomo, activo y dinámico, con un discernimiento analítico, asociativo y deductivo del texto. También, de manera general, los estudiantes asumieron una responsabilidad y compromiso grupal, elementos cruciales en el proceso de lectura y aprendizaje (Bautista y col., 2022).

En cuanto al proceso de aprendizaje con el modelo tecno-pedagógico, se distinguen tres elementos fundamentales:

a) Pedagógico. Evidenciado en los docentes al ser curadores de materiales (selección y crea-

ción de actividades) y mediadores del proceso de aprendizaje *ad hoc* a los objetivos y medios tecnológicos educativos (Juárez y col., 2017).

b) Social. Desarrollo de trabajo colaborativo como fase inicial al emplear roles de círculos literarios, fomentando en el estudiante relaciones interpersonales durante el proceso de interacción para detonar conocimiento (Peñalva y Leiva, 2019).

c) Técnico. La lectura extensiva en lengua extranjera mediada por la tecnología ayuda a leer una gran cantidad de textos, sin presión curricular o estrés académico; dando pauta a la libertad de temas, placer por la lectura, búsqueda de significados, comprensión general y desarrollo de la velocidad de lectura (Ng y col., 2019), contraponiéndose a la habitual lectura intensiva, estructurada y obligatoria en cursos de idiomas.

Otro aspecto sustancial, en esta fase, está representado por el aprendizaje ubicuo en dichos entornos virtuales, el cual, gracias a las herramientas tecnológicas utilizadas (Padlet y diccionario digital), permitió promover un proceso flexible y dinámico de enseñanza para gestionar, controlar, dirigir y colaborar en la generación del conocimiento mediado por multiplataformas, recursos y medios digitales (Novoa y col., 2020), beneficiando el desarrollo de la abstracción textual y razonamiento lingüístico del idioma (Chicaiza y col., 2017).

Se observó un proceso de internalización, correspondiente a una mediación individual y posteriormente colectiva (Sesento, 2017), donde lo más significativo fueron los recorridos cognitivos a través del análisis, reflexión, reformulación y autogestión del conocimiento, con apoyo de herramientas operables en plataforma Moodle institucional.

Postratamiento

En este tercer seguimiento o cohorte (Tabla 4), se aprecian las oportunidades que ofrecieron los círculos literarios para practicar la

LE, las cuales fueron significativas y percibidas como herramientas de aprendizaje colaborativo, que ayudaron a comprender un texto con niveles de excelente (93.3 %) y bueno (6.7 %) a nivel A2 y A2+, respectivamente. También posibilitó leer en grandes cantidades con escasa ayuda del diccionario; es decir, 280 textos en versión digital, con una velocidad promedio de 17.14 min (Delgado y col., 2018; Clinton, 2019; Zapata-Vega, 2021), así como, disfrutar de dicha actividad (demasiado placer 92 %; mucho placer 8 %). En este punto, un dato importante es que el grupo experimental mejoró su familiaridad con el texto sin recurrir al diccionario debido a su acercamiento analítico al momento de leer y específicamente al rol de maestro de las palabras que proporciona explicaciones en contexto de palabras clave de manera significativa, contribuyendo al enriquecimiento de su bagaje léxico. Estos hallazgos se ven reflejados en los estudios de Ng y col. (2019).

Se observaron percepciones positivas por parte de los lectores con respecto a los textos de lectores graduados (muy fáciles 89 % y fáciles 11 %), dado que los círculos literarios fomentan la reflexión sobre el contenido, trabajo colaborativo en grupos interactivos y tasas altas de finalización de tareas en los ejercicios de comprensión lectora (Pongsatornpipat, 2020), aumentando la confianza y motivación de los estudiantes para comunicarse con sus compañeros en inglés, mediante diferentes recorridos cognitivos mediados por tecnología (Flores-González, 2021). Al respecto, estudios de Espinoza y col. (2017), Villafuerte y col. (2017), Strauss (2018) y Bautista y col. (2022), mencionan que los estudiantes presentan un nivel óptimo de participación, interés por concluir las actividades y las tareas demandadas por el docente, debido a las prácticas interactivas de LE con uso de herramientas tecnológicas.

A partir de los resultados, se confirma que los círculos literarios permiten el desarrollo de la LE a tal grado que, el nivel de comprensión del grupo experimental, según su percepción,

pasó de pobre (94 %) a excelente (93.3 %) y de muy pobre (6 %) a bueno (6.7 %) (Tablas 3 y 4), lo cual se ratifica con los resultados del nivel de comprensión en el examen estandarizado final, donde todos los alumnos alcanzaron el nivel requerido por los planes y programas de estudio, siendo A2 y A2+. Esto permite confirmar la asociación entre las variables de estudio: círculos literarios y LE.

Indudablemente para llegar a estos resultados, hay otros aspectos que mediaron y guiaron el proceso de lectura como la familiaridad con el contenido del texto (100 %), la aplicación de estrategias de lectura para identificar la idea principal del texto (100 %), información específica, realizar inferencias o predicciones, fomentando el placer por leer (92 %) y en consecuencia la recomendación de dichos textos (100 %).

En contraste, los resultados del grupo control mostraron una mejora mínima en su nivel de comprensión lectora (el 16.66 % con nivel A1- obtuvo nivel A1) (Tablas 3 y 4), a pesar de expresar su aceptación por el desarrollo de la LE en un ambiente de aprendizaje tradicional. Este grupo (Tabla 4) leyó 96 textos en un rango de 31 min a 60 min, consultando el diccionario (95 %) más de 100 veces, lo cual hizo que percibieran la lectura como muy difícil (72 %), no recomendable (87 %) y muy poco o poco placentera (100 %) con limitado aprendizaje de vocabulario a partir del texto (muy poco o poco, 96 %) debido a la insuficiente familiaridad con su contenido (muy poca o poca, 100 %). De hecho solo el 35 % logró identificar la idea principal. Estos datos confirman la importancia y pertinencia de la inclusión de círculos literarios en el proceso de comprensión lectora de la lengua extranjera inglés.

Entre las limitantes del estudio está el enfoque metodológico, ya que al ser de tipo cuantitativo sólo se obtuvieron datos estadísticos sobre los niveles de la competencia lectora y LE, los cuales se pueden complementar con datos cualitativos, para una visión más amplia

del estudio. Otra limitante está en la muestra (96 estudiantes), comparado con la población total de la institución. Sin embargo, este estudio representa un primer acercamiento, que permitirá conocer a detalle el estado del fenómeno en cuestión. También es importante destacar que, al trabajar con la comprensión lectora, se requiere de una práctica constante con periodos prolongados de tiempo para obtener resultados precisos, variados y repetibles que permitan generalizarlos.

Finalmente, los hallazgos posibilitan vislumbrar futuras investigaciones, como estudiar las mediaciones virtuales para la mejora de la lectura en inglés sin la presencia del docente, empleo de aplicaciones de lectura para abatir errores comunicativos en interacciones orales, uso de estrategias de LE en ambientes virtuales, o los aportes prácticos sobre la lectura intensiva en lenguas, entre otros. Adicionalmente, se puede replicar en otros idiomas para conocer su efecto.

CONCLUSIONES

La implementación del modelo tecno-pedagógico, basado en roles de los círculos literarios en ambientes virtuales para la lectura en extenso (LE) contribuyó a la innovación de la enseñanza, a través de una intervención didáctica colaborativa, con uso de herramientas digitales (Padlet y diccionario digital) para promover la lectura crítica y placentera en grandes cantidades y el aprendizaje autónomo-ubicuo, validado mediante instrumentos de evaluación estandarizados. Se logró mejorar las habilidades lectoras en su precisión, velocidad, motivación y confianza, a través de la participación en una comunidad digital virtual. El modelo propuesto intensificó los medios, recursos y vías digitales para transformar la instrucción tradicional de lectura pasiva en los salones de clase a una LE activa en ambientes virtuales, elementos indispensables en la formación y la educación actual.

REFERENCIAS

- Abdullah, T., Choo, Y. B., and Samat, N. A. (2021). Online literature circles in learning hamlet among pre-service teachers. *Arab World English Journal*. 12(4): 37-52.
- Aka, N. (2019). Reading performance of Japanese high school learners following a one-year extensive reading program. *Reading in a Foreign Language*. 31(1): 1-18.
- Ateek, M. (2021). Extensive reading in an EFL classroom: Impact and learners' perceptions. *Eurasian Journal of Applied Linguistics*. 7(1): 109-131.
- Banda, Z. (2019). Diseño de un sistema de estrategias cognitivas de atención, percepción y memoria para mejorar la capacidad de la comprensión lectora en el área de comunicación en los estudiantes 2do grado de educación secundaria de la Institución Educativa Ciro Alegría Santa Rosa. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/6872/>. Fecha de consulta: 1 de julio de 2022.
- Bautista, R., Carvajal, A., Andrade, D., and Flores, J. (2022). Enhancing reading skills through literary circles strategy in EFL students. *Conciencia Digital*. 5(1.1): 606-617.
- Bui, T. and Macalister, J. (2021). Online extensive reading in an EFL context: Investigating reading fluency and perceptions. *Reading in a Foreign Language*. 33(1): 1-29.
- Bustamante, M. E., Hernández, S., Restrepo, M. V. y Ríos, P. A. (2019). La comprensión lectora fortalecida por los textos expositivos. *Ciencias Sociales y Educación*. 8(16): 133-147.
- Cabrera, M., Martínez, M. y Rosales, F. (2021). La orientación de la lectura extensiva desde una concepción interdisciplinaria para la formación profesional pedagógica del estudiante de la carrera licenciatura en educación. Español-literatura. *Revista Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica*. 2(15): 115-133.
- Cárdenas, S., Galimberti, J., and Romane, P. (2019). College students' perceptions about literature circles for learning english as a foreign language. *Conference Proceedings UTMACH*. 3(1): 206-216.
- Celik, B. (2017). Effects of extensive reading on learners: How it develops certain points in vocabulary and sentence structure. *International Journal of English Linguistics*. 8(2): 73.
- Chicaiza, R. P. M., Escobar, M. C. C. y Hernández, W. G. (2017). Espacio virtual iconográfico de aprendizaje ubicuo orientado al desarrollo del pensamiento lógico en bachillerato general unificado. *REFCaLE: Revista Electrónica*

Formación y Calidad Educativa. 5(2): 85-98.

Clerici, C. (2020). Revisitar la enseñanza de la lectura y la escritura mediada por tecnologías en educación superior. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. (61): 97-105.

Clinton, V. (2019). Reading from paper compared to screens: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Research in Reading*. 42(2): 288-325.

Consejo de Europa (2018). Common European Framework of Reference for languages: learning, teaching, assessment. Companion volume with new descriptors. [En línea]. Disponible en: <https://rm.coe.int/common-european-framework-of-reference-for-languages-learning-teaching/16809ea0d4/>. Fecha de consulta: 11 de julio de 2022.

Cooper, D. (1998). *Cómo mejorar la comprensión lectora*. Madrid: Visor. 461 Pp.

Delgado, P., Vargas, C., Ackerman, R., and Salmerón, L. (2018). Don't throw away your printed books: A meta-analysis on the effects of reading media on reading comprehension. *Educational Research Review*. 25: 23-38.

Díaz, B. (2021). Educación en pandemia: ¿un año perdido para América Latina? [En línea]. Disponible en: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2021/03/educacion-en-pandemia-un-ano-perdido-para-america-latina/>. Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2022.

Diel, M. (2019). *Lecturas, pantallas y adolescentes lectores*. Uruguay: Universidad ORT. 151 Pp.

Espinoza, O., Muñoz, R., Oñate, N. y Vargas, R. (2017). La ansiedad y su relación con la producción escrita en el aprendizaje del inglés como lengua extranjera en estudiantes de tercer año de una carrera de Pedagogía Educación Media en inglés de una universidad regional en Chile. [En línea]. Disponible en: <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/1141/>. Fecha de consulta: 23 de junio de 2022.

Flores-González, E. (2021). The emotions of upper secondary level students in a virtual learning environment. *ECORFAN Journal-Taiwan*. 5(9): 14-23.

Flores-González, N. (2019). Promoting extensive reading in a blended learning modality: Students' perceptions. *Journal of Teaching and Educational Research*. 5(16): 43-54.

Gamboa-González, Á. M. (2017). Reading comprehension in an english as a foreign language setting: Teaching strategies for sixth graders based on the interactive model of reading. *FOLIOS*. 45: 159-175.

Goa, E. and Wodai, T. (2022). The Effect of Literature Circles Approach on Students Extensive Reading. *ICRRD, Quality Index Research Journal*. 3(2): 146-154.

Haerazi, H. and Irawan, L. A. (2017). The effectiveness of ECOLA technique to improve reading comprehension in

relation to motivation and self-efficacy. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*. 15(01) : 61-76.

Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: McGRAW-HILL. 774 Pp.

Herrera, L. J. P. and Kidwell, T. (2018). Literature circles 2.0: Updating a classic strategy for the 21st century. *Multicultural Education*. 25(2): 17-21.

Hossu, R. and Roman, A. F. (2019). Primary teachers' metacognitive awareness of reading strategies. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*. 67: 1862-1869.

Juárez, D., Torres, C. y Herrera, L. (2017). Las posibilidades educativas de la curación de contenidos: una revisión de literatura. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*. 9(2): 116-131.

Klijnsstra, A. (2021). Lectura graduada en español (A1/A2) para estimular las competencias literarias e interculturales. [En línea]. Disponible en: <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/40020/>. Fecha de consulta: 14 de junio de 2022.

Liu, J. and Tang, J. (2022). Using Reading Circles to Connect Readers with Text: *Extensive Reading*. *Pacific International Journal*. 5(3): 112-117.

López, L. (2017). La lectura graduada en el aprendizaje lexical del idioma inglés. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/11427/1/T-UC-0010-1834.pdf>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2022.

Martínez-Olvera, W. y Esquivel-Gámez, I. (2017). Estrategias de lectura comprensiva del inglés para bachilleres, apoyadas en materiales multimedia. *Campus Virtuales*. 6(1): 9-22.

McLean, S. and Rouault, G. (2017). The effectiveness and efficiency of extensive reading at developing reading rates. *System*. 70: 92-106.

Moreno, M. A., García-Rodríguez, A. y Gómez-Díaz, R. (2017). Conversando en la nube: Cómo organizar un club de lectura virtual. *Revista General de Información y Documentación*. 27(1): 177-200.

Ng, Q., Renandya, W., and Chong, M. (2019). Extensive reading: theory, research and implementation. *TEFLIN Journal*. 30(2): 171-186.

Novoa, P., Cancino, R., Uribe, Garro, L. y Méndez, G. (2020). El aprendizaje ubicuo en el proceso de enseñanza aprendizaje. *Revista Multi-Ensayos*. 2-8.

Ntereke, B. B. and Ramoroka, B. T. (2017). Reading competency of first-year undergraduate students at University of Botswana: A case study. *Reading & Writing*. 8(1): 11.

- Ochoa-Vásquez, M. A. y Ramírez-Montoya, M. S. (2017). Técnicas de evaluación de comprensión lectora en inglés con formación mediada por tecnologías para mejorar el rendimiento estudiantil universitario. *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*. 8(1): 225-250.
- Okasha, M. A. (2020). Using strategic reading techniques for improving EFL reading skills–AWEJ. *Arab World English Journal*. 11(2): 311-322.
- Par, L. (2020). The Relationship between reading strategies and reading achievement of the EFL Students. *International Journal of Instruction*. 13: 223-238.
- Park, J. (2016). Integrating reading and writing through extensive reading. *ELT Journal*. 70(3): 287-295.
- Peñalva, A. y Leiva, J. J. (2019). Metodologías cooperativas y colaborativas en la formación del profesorado para la interculturalidad. *Tendencias Pedagógicas*. (33): 37-46.
- Perassi, M., Cariello, M. E., Castañeda, L. y Bonell, C. (2017). La enseñanza de la lectura y la escritura integrada a la formación profesional. *Revista Educación en Ingeniería*. 12(23): 4-8.
- Pérez, C. (2020). Círculos literarios: El poder de la lectura en el desarrollo de competencias. *Foro de Profesores de E/LE*. 16: 297-310.
- Pino-Silva, J. (2009). Extensive reading through the internet: is it worth the while? *International Journal of English Studies*. 9(2): 81-96.
- Pinzás, J. (2001). *Leer pensando*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 132 Pp.
- POGIL, Process Oriented Guided Inquiry Learning (2021). POGIL's website. [En línea]. Disponible en: <https://pogil.org/>. Fecha de consulta: 12 de julio de 2022.
- Pongsatornpipat, W. (2021). Interactive group in extensive reading to enhance reading ability of Thai undergraduate students. *LEARN Journal: Language Education and Acquisition Research Network*. 14(2): 342-371.
- Ramírez, L. y Vargas, M. (2018). Implementación de círculos de lectura para promover prácticas de literacidad colaborativas como parte de las clases de plan lector en inglés del colegio del rosario de santodomingo. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10554/35343/>. Fecha de consulta: 23 de junio de 2022.
- Revelo, O., Collazos, A. y Jiménez, J. (2018). El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura *Tecnológicas*. 21(41): 115-134.
- Rodríguez-Chavira, G. y Cortés-Montalvo, J. A. (2021). Mediación tecnológica en el fomento de la lectura y la escritura en adolescentes, en *Sinéctica*. [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.31391/S2007-7033\(2021\)0056-005/](https://doi.org/10.31391/S2007-7033(2021)0056-005/). Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2022.
- Salas, P. (2012). El desarrollo de la comprensión lectora en los estudiantes del tercer semestre del nivel medio superior de la Universidad Autónoma de Nuevo León. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/3230/1/1080256466.pdf>. Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2022.
- Sánchez, X. A. C. and Gavilánez, L. F. P. (2017). Learners' TM attitudes toward extensive reading in EFL (English as a Foreign Language) contexts. *Revista Publicando*. 4(12): 259-268.
- Septarini, B. (2017). Peer Tutoring: An Effective Technique To Teach Reading Comprehension, in *KnE Social Sciences*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18502/kss.v1i3.745/>. Fecha de consulta: 18 de julio de 2022.
- Sesento, L. (2017). Reflexiones sobre la pedagogía de Vigotsky, en *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*. [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/cccss/2017/02/vigotsky.html/>. Fecha de consulta: 12 de julio de 2022.
- Shih, Y. C., Chern, C., and Reynold, B. L. (2018). Bringing Extensive Reading and Reading Strategies into the Taiwanese Junior College Classroom, in *Reading in a Foreign Language*. [En línea]. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1176299/>. Fecha de consulta: 5 de junio de 2022.
- Simbolon, N., Marbun, I., and Simanjuntak, E. B. (2020). Evaluating Reading Comprehension Ability Through the SQ4R Model, in *Utopía y Praxis Latinoamericana*. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/279/27964115048/html/>. Fecha de consulta: 1 de julio de 2022.
- Srisang, P. and Everatt, J. (2021). Lower and higher level comprehension skills of undergraduate efl learners and their reading comprehension, in *LEARN Journal: Language Education and Acquisition Research Network*. [En línea]. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1284505/>. Fecha de consulta: 2 de julio de 2022.
- Strauss, S. (2018). Towards an expanded cognitive developmental science understanding of human teaching, in *Journal for the Study of Education and Development*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02103702.2018.1495891/>. Fecha de consulta: 2 de julio de 2022.
- Suk, N. (2016). The effects of extensive reading on reading comprehension, reading rate, and vocabulary acquisition, in *Reading Research Quarterly*. [En línea]. Disponible en: <https://ila.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rrq.152/>. Fecha de consulta: 22 de junio de 2022.
- Tosun, D. K. and Doğan, B. (2020). The effects of literature circles on reading fluency, reading comprehension and reader responses: A mixed method study, in *EDUCATION AND SCIENCE*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v17i2.1745>

doi.org/10.15390/EB.2020.8716/. Fecha de consulta: 5 de julio de 2022.

Trujillo, S. (2014). El estudio de la comprensión lectora en Latinoamérica: necesidad de un enfoque en la comprensión. *Innovación Educativa*. 14(64): 47-55.

Velásquez-García, M. (2019). Círculos Literarios en el desarrollo de la lectura comprensiva del idioma inglés. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19875/>. Fecha de consulta: 30 de junio de 2022.

Villafuerte, J. S., Intriago, E. y Romero, A. (2017). e-Círculo Literario aplicado en la clase de inglés. Una innovación educativa después del terremoto de 2016 en Ecuador, en *Apertura*. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=68853736004/>. Fecha de consulta: 5 de julio de 2022.

Voogel, M. (2019). Sterker burgerschapsonderwijs biedt kansen voor moderne vreemdetalen: Andere woorden doen anders denken, in *Levende Talen Magazine*. [En línea]. Disponible en: <https://lt-tijdschriften.nl/ojs/index.php/ltn/article/view/1894/>. Fecha de consulta: 6 de abril de 2022.

Wang, S. and Kim, H. (2021). Extensive reading research in the EFL classroom of China: A Qualitative Meta-Analysis, in *Chinese Journal of Applied Linguistics*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/CJAL-2021-0007/>. Fecha de consulta: 6 de mayo de 2022.

Zapata-Vega, S. M. (2021). Revisión sistemática de estrategias para fomentar la lectura crítica del idioma inglés en nivel educativo superior, en *In Crescendo*. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uladech.edu.pe/index.php/increscendo/article/view/2310/>. Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022.



Imagen de Canva educativo

Intención de uso de estrategias fiscales en empresas familiares en el sur de Tamaulipas, México

Tax strategies' intention of use in family-owned business in southern Tamaulipas, Mexico

Daniel Eduardo Paz-Pérez

RESUMEN

Las empresas familiares tienen gran importancia social y económica en el mundo, ya que representan casi el 90 % de los negocios en diversas regiones, generan más de la mitad del empleo y producen más de dos terceras partes del Producto Interno Bruto en muchos países. Suelen basarse en su experiencia comercial y en el conocimiento de su clientela, pero deben contar con un plan de estrategias fiscales para asegurar su supervivencia, ya que se desarrollan en ambientes cada vez más competitivos e impredecibles. El objetivo de esta investigación fue mostrar la intención de uso de estrategias fiscales por las empresas de corte familiar en el municipio de El Mante, ubicado al sur de Tamaulipas, México, y su relación con el conocimiento empresarial, legal y directivo de sus propietarios. Se recogieron las respuestas obtenidas en entrevista directa con los propietarios o directores de negocios, utilizando un cuestionario con escalas de Likert validado y se aplicaron las pruebas estadísticas recomendadas. Se encontró suficiente dominio de los empresarios en los temas de administración del negocio familiar, normas y actores relacionados con el comercio, así como suficiente grado de acuerdo en la intención del uso de estrategias fiscales y planes de negocios, competencias que pueden acrecentarse laborando para la empresa familiar. El principal hallazgo es la evidencia de una débil correlación entre el conocimiento legal y directivo de los propietarios de empresas familiares con el uso de las estrategias fiscales, así como una muy débil correlación con el conocimiento empresarial. La intención de uso de estrategias fiscales requiere de tales conocimientos por parte de los empresarios, quienes toman decisiones considerando los intereses de la familia, estiman necesaria la planeación financiera y aprovechan la bondad de las estrategias fiscales.

PALABRAS CLAVE: empresas, familia, estrategias, fiscal, Tamaulipas.

ABSTRACT

Family-owned businesses have paramount social and economic importance worldwide since they represent almost 90 % of businesses in various regions, generate more than half of the employment and produce more than two-thirds of the Gross Domestic Product in many countries. Decisions are based on their commercial experience and knowledge of their customer base. However, they must also employ a fiscal strategy to ensure their subsistence, since they face each more competitive and unpredictable environment. The objective of this research was to show the intention to use tax strategies by family businesses in the municipality of El Mante, located in Southern Tamaulipas, Mexico, and its relationship with the entrepreneurial, legal, and managerial knowledge of their owners. Responses were collected through a direct interview with the business owners or the CEO. Additionally, a questionnaire with validated Likert scales was used, and the recommended statistical tests were administered. Findings indicate that there is sufficient mastery of entrepreneurs in areas such as the management of the family business, regulations and actors related to trade, as well as a sufficient degree of agreement regarding the intention to use fiscal strategies and business plans, competencies that can be increased by working for the family business. The main finding is the evidence of a weak correlation between the legal and managerial knowledge of family business owners with the use of tax strategies, as well as a very weak correlation with entrepreneurial knowledge. The intention to use tax strategies requires such knowledge by business owners, who make decisions based on family's interests, consider financial planning as necessary and take advantage of the benevolence of tax strategies.

KEYWORDS: business, family, strategy, taxation, Tamaulipas.

*Correspondencia: depaz@itsmante.edu.mx/Fecha de recepción: 29 de enero de 2022/Fecha de aceptación: 28 de octubre de 2022/Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de El Mante, carretera Nacional Mante-Ciudad Valles km. 6.7, Congregación Quintero, El Mante, Tamaulipas, México, C. P. 89930.

INTRODUCCIÓN

Las empresas familiares son organizaciones, generalmente lucrativas, que se desarrollan en forma similar a las empresas tradicionales, con algunas particularidades que les hacen diferentes; se suelen confundir con las pequeñas y medianas empresas (pymes) por su tamaño, incluso pueden ser grandes, y además cotizar en las bolsas de valores (Niebler, 2015; Patiño-Martínez, 2019), aunque están caracterizadas por la existencia de una familia que controla una parte significativa de su capital o que ostenta sus puestos directivos clave (Rodríguez-Crespo, 2020).

Existen varias creencias en torno a las empresas familiares. Ojeda-Hidalgo y col. (2015) señalaron que el emprendimiento es el paso antecedente en la formación de este tipo de negocios, aseveración que coincide con Guerrero y Santamaría-Velasco (2020). También se sabe que las empresas familiares pueden ser exitosas y transformarse en grandes generadoras de empleo si enfrentan con éxito el traspaso generacional; como muestra, más del 90 % de las compañías que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores pertenecen a esta categoría (KPMG, 2013; Durán-Encalada y San-Martín, 2014; KPMG, 2015; 2019).

La empresa familiar es uno de los principales agentes de crecimiento en la sociedad, pues contribuye notablemente a su desarrollo económico y social; nacen como organizaciones poco complejas, caracterizadas generalmente por la dirección y liderazgo individual masculino. Aunado a ello, en México ven reducida la participación y remuneración de la mujer (Cabello-Chavez y col., 2004; Gómez-Betancourt y col., 2012; Guzmán-Acuña, 2013; Hernández-Flores y col., 2017; Palacios, 2018; Rizo-Rivas, 2021). Para abordar su estudio es preciso reconocer la falta de un acuerdo sobre lo que es una empresa familiar, ya que a la fecha no existe una definición en el marco legal de la mayoría de los países, sino que se utilizan tres criterios generales ampliamente difundidos para identificarlas: el control de la propiedad, una implicación familiar y el deseo de continuidad (IEF, 2015; Rodríguez-Crespo, 2020).

En la literatura se recoge la infinidad de desafíos y problemas particulares que las empresas familiares enfrentan. Muchos negocios de este tipo, descuidan los aspectos contables y fiscales, y no utilizan modelos de planeación estratégica que pudieran serles útil para permanecer en el mercado, acrecentar el patrimonio para las nuevas generaciones y lograr la rentabilidad deseada (Araya-Leandro, 2017; Caamal-Yam y col., 2019). Por señalar un ejemplo, en 2015, entre las principales 50 empresas familiares de todo el mundo, se ubicaban 2 empresas mexicanas, por el monto de su valor de capitalización: Femsa e Inbursa (Credit Suisse Research Institute, 2015); y para 2018, ya solo se encontraba América Móvil (Credit Suisse Research Institute, 2018). En ambos reportes, este instituto resalta la importancia de las organizaciones familiares, que representan 4 de cada 5 negocios en el mundo, producen más de 2 tercios del producto interno bruto (PIB) de varias regiones y generan la mayor parte del empleo a nivel mundial.

Las empresas familiares suelen basarse en términos de intuición y experiencia comercial, así como en el conocimiento de su clientela (Sánchez-Losoya y col., 2015), pues sus directivos carecen muy comúnmente de la preparación profesional que les permita diseñar e implementar estrategias efectivas. Se le llama estrategia al conjunto de reglas, maniobras o métodos que sirven de guía para asegurar decisiones óptimas que ayuden a lograr los objetivos y metas previstos a largo plazo (Gasca-Pliego y col., 2010; Agüeros-Sánchez y Gaona-Partida, 2017). Las estrategias nacen por la necesidad empresarial, pero su uso puede devenir en el desarrollo de la inteligencia de negocios que incrementa la competitividad de las empresas (Cervantes-Mejía y col., 2015; Ahumada-Tello y Perusquia-Velasco, 2016; Slusarczyk-Antosz y Morales-Merchán, 2016).

De acuerdo con Palop-Marro (2013); Flores-Ortiz y col. (2015), toda empresa utiliza al menos una estrategia, la tenga en forma explícita o no; por ello la empresa familiar debe contar con un plan estratégico que permita resul-

tados satisfactorios para garantizar su supervivencia, pues esta se desarrolla en ambientes cada vez más competitivos, cambiantes e impredecibles (Slusarczyk-Antosz y Morales-Merchán, 2016; Araya-Leandro, 2017). La planeación puede incluir estrategias de tipo financiero, operativo, mercadológico, fiscal, entre otros; una estrategia fiscal puede ser considerada como la posibilidad que tiene el contribuyente o empresario de elegir una alternativa que sea lícita para llevar a cabo sus operaciones y que ésta le genere algún beneficio (Hernández-Sandoval y col., 2019). Para Sánchez-Vega (2021), una estrategia fiscal es “la aplicación de una técnica, táctica, maniobra, habilidad, destreza, experiencia, conocimiento, pericia o capacidad, con el fin de optimizar la carga tributaria dentro del marco legal y prevenir los resultados esperados”.

La planeación fiscal es un derecho para los contribuyentes y, en palabras de Antúnez-Álvarez (2010), es “un mero y simple producto de la interpretación jurídica”, pero el uso de estrategias fiscales pone a las empresas bajo la lupa constante de la autoridad, ya que su uso agresivo puede erosionar la base tributaria y ocasionar una disminución excesiva en la recaudación, por lo que su práctica es combatida por las autoridades tributarias en muchos países (Contreras-Gómez, 2016; Rodríguez-Rodríguez, 2016; Bárcenas-Puente y Andrade-Oseguera, 2019). Una adecuada planeación fiscal le permitirá al empresario visualizar las consecuencias de sus decisiones en el tema tributario y actuar del modo que más le convenga, subsanando las afectaciones a su organización dentro del marco legal (Castro-Alfaro, 2016; Villasmil-Molero, 2017; Caamal-Yam y col., 2019).

Este trabajo se apoya en lo expuesto por el Instituto de la Empresa Familiar (IEF, 2015) en España, que señala que en la literatura académica se pueden encontrar muchos estudios empíricos sobre las grandes empresas que cotizan en bolsa, pero no abundan sobre las pequeñas y medianas empresas. Al respecto, Soto-Maciel (2013) señala que las líneas de inves-

tigación sobre la empresa familiar en México se encuentran completamente inexploradas, y este es uno de los pocos trabajos que estudian la estrategia fiscal en la empresa familiar.

El objetivo de la presente investigación fue mostrar la intención de uso de estrategias fiscales por las empresas de corte familiar en el municipio de El Mante, ubicado al sur de Tamaulipas, México, y su relación con el conocimiento empresarial, legal y directivo de sus propietarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo es un estudio descriptivo de tipo transversal, con enfoque cuantitativo. El tamaño de muestra de propietarios de empresas familiares se obtuvo utilizando el informe de Censos Económicos 2019, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020a). En dicho documento se identificaron un total de 112 589 entidades económicas en Tamaulipas, de las cuales 4 401 se ubicaron en el municipio de El Mante. De acuerdo con la consultora KPMG (2019), el 95 % de las empresas en México son de corte familiar, por lo que el universo muestral considerado fue de 4 181. Finalmente, con un nivel de confianza del 95 %, se calculó la muestra de 370 empresas y se encuestaron a 384.

En la Tabla 1 se observan los porcentajes de distribución estatal de empresas, de acuerdo a la metodología del INEGI (2020c), clasificadas según el número de empleados como micro, pequeñas, medianas y grandes empresas. Considerando que la vocación agroindustrial de El Mante es diferente a las regiones turísticas e industriales de Tamaulipas, se utilizó a manera de contraste, una distribución alternativa de las empresas en el estado y en el municipio, mostrada en las columnas 4 y 5, tomando la información de la Radiografía de empresas familiares en México de San-Martín-Reyna y Durán-Encalada (2015), que considera para Tamaulipas valores diferentes a los del INEGI. Con estos datos se calculó la muestra esperada de empresas familiares en El Mante y al final se agrega el total de empresas encontradas, por tamaño.

■ **Tabla 1. Empresas familiares en Tamaulipas, por estrato.**
 Table 1. Family-owned businesses in Tamaulipas, by stratum.

Nombre del estrato	Empleados	% de distribución estatal según INEGI*	% de distribución estatal según Radiografía**	Empresas familiares en El Mante**	**Distribución muestral esperada	Distribución muestral encontrada
Micro	de 0 a 10	105 554 (93.8 %)	56 857 (50.5 %)	2 111 (50.5 %)	187	261 (68 %)
Pequeña	de 11 a 50	5 521 (4.9 %)	43 910 (39.0 %)	1 631 (39.0 %)	144	121 (31.5 %)
Mediana	de 51 a 250	1 131 (1.0 %)	11 259 (10.0 %)	418 (10.0 %)	37	2 (0.5 %)
Grande	251 y más	383 (0.3 %)	563 (0.5 %)	21 (0.5 %)	2	0 (0 %)
Total		112 589 (100 %)	112 589 (100 %)	4 181	370	384 (100 %)

*Calculado usando la distribución estatal de empresas según INEGI (2020c).

**Calculadas usando la distribución estatal estimada por Radiografía de empresas familiares en México de San-Martín-Reyna y Durán-Encalada (2015).

Se usó la entrevista semi estructurada como técnica de recolección directa de datos, a propietarios y directores de las empresas. Para identificar los conocimientos y prácticas o estrategias con los que dirige a su organización y su percepción sobre el uso de las estrategias fiscales y financieras, se aplicó un cuestionario con escala tipo Likert de 5 puntos, donde el valor 1 significó conocimiento nulo y el valor 5 significó conocimiento completo. Para describir el nivel de dominio de los empresarios se utilizó el escalamiento aditivo propuesto por Likert (Hernández-Sampieri y col., 2014: 242-243), el cual considera el número de ítems o afirmaciones para calificar la escala; ya que el cuestionario aplicado presenta 5 opciones de respuesta para cada una de las 3 dimensiones de la variable conocimientos, la puntuación mínima posible (1+1+1+1+1) es 6, mientras que la puntuación máxima posible (5+5+5+5+5) es 30. En el caso de las estrategias se utilizó la escala de aceptación diseñada en el instrumento de recolección, que contempla un rango de 1 a 5, donde 1 es muy en desacuerdo y 5 es muy de acuerdo; para

conocer el % de aceptación de los empresarios con las estrategias fiscales propuestas se utilizó la media aritmética de las respuestas 4 y 5 de la escala de Likert, que son de acuerdo y muy de acuerdo. También se incluyó en el mismo, una sección para conocer el perfil del empresario. Los datos fueron obtenidos en papel y vaciados a una hoja de cálculo electrónica, posteriormente fueron analizados para buscar la relación entre las variables independientes o predictoras y la variable dependiente o condicionada, mediante varias herramientas de estadística descriptiva como frecuencia absoluta, frecuencia relativa, parámetros de tendencia central (media, mediana, moda) y parámetros de dispersión, utilizando el programa estadístico para las ciencias sociales (SPSS, por sus siglas en inglés: Statistical Package for the Social Sciences) versión 28 (López-Aguado y Gutiérrez-Provecho, 2019).

El cuestionario inicial incluía 10 preguntas relacionadas con el perfil del empresario y 35 preguntas (ítems) sobre las dos variables de es-

tudio (conocimientos y estrategias). Para la variable independiente “conocimientos” se incluyeron 18 preguntas en el cuestionario, divididas en 3 dimensiones relacionadas con la forma en cómo dirigen su organización: conocimiento de la empresa, conocimientos legales y conocimientos directivos, cada una con 6 preguntas. Para la variable dependiente “estrategias” se utilizaron 17 preguntas en una única dimensión sobre el uso o aplicación de estrategias fiscales y financieras, así como, la implicación familiar del negocio.

El instrumento original fue validado mediante una prueba piloto con 10 empresarios voluntarios, dentro de la categoría que se buscaba, quienes sugirieron eliminar la pregunta “tamaño de la empresa”, quedando 9 ítems en la sección del perfil, pues desconocían la categorización de su negocio, la cual se calcula a partir del número de personas con y sin sueldo que laboran en ellas (INEGI, 2020b). En esta prueba se encontraron valores de confiabilidad alfa de Cronbach insuficientes, relacionados con las preguntas de la variable dependiente estrategias. Algunas afirmaciones estaban redactadas en sentido negativo (“Es caro e innecesario tener un asesor legal que apoye al Director de la empresa familiar”), otras causaron confusión (“La familia es el mayor obstáculo para que la empresa familiar crezca”) o no estaban relacionadas con la estrategia fiscal (“Los sucesores no ponen el mismo interés a la empresa que los fundadores”) por lo que se eliminaron 8 ítems de la variable estrategias, para quedar finalmente 9 ítems.

El cuestionario final incluyó una sección de 9 preguntas de identificación de la empresa familiar (perfil del empresario) y las 27 preguntas sobre las variables de interés (Tabla 2); 18 ítems de la variable conocimientos y 9 ítems de la variable estrategias, cuyo análisis estadístico de confiabilidad mediante la prueba alfa de Cronbach arrojó un resultado altamente aceptable (0.907, 0.931 y 0.925) para las tres dimensiones de la primera variable y aceptable (0.749) para la segunda (Rodríguez-Rodríguez y Reguant-Álvarez, 2020).

Una vez validado el instrumento, se hizo un recorrido por las áreas comerciales de 7 de las 10 localidades más pobladas del municipio: Ciudad Mante, Congregación Quintero, Nueva Apolonia, Ejido Celaya, los poblados El Abra, Los Aztecas y El Limón (INEGI, 2020d), para realizar entrevistas personales, donde se aplicó el cuestionario a los propietarios o directores de empresas; también se hicieron entrevistas en 5 despachos contables a empresarios de varios poblados del municipio. Se recogió la información de 384 empresas (Tabla 1).

Se realizó un análisis exploratorio de datos. Inicialmente se revisó la normalidad y homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett) para comprobar que existía una distribución normal de los datos y que no presentaban asimetría ni curtosis importante. Enseguida, se hizo un análisis factorial, aplicando pruebas de Kaiser-Meyer-Olkin y esfericidad con resultados satisfactorios de adecuación del muestreo (Tabla 3), encontrando un índice KMO con valor altamente aceptable (0.904) y significancia de 0.000 0 que se considera válida (López-Aguado y Gutiérrez-Provecho, 2019).

El análisis de componentes principales (Tabla 4a) permitió identificar las variables que explicaban la varianza acumulada, utilizando rotación de los factores varimax. Se encontraron 6 componentes principales con valor acumulado de 70.475 % (Tabla 4b), por lo que el resultado se consideró aceptable de acuerdo a Mavrou (2015). También se comprobó que las variables se distribuyeran normalmente mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor parte de las empresas eran de tamaño micro (68 %) y pequeño (31.5 %) (Tabla 1). Estos resultados muestran que la microempresa predomina en la región, ya que San-Martín-Reyna y Durán-Encalada (2015) registraron una prevalencia del 50.5 % para dicho tamaño de empresa, y de 89.5 % para micro y pequeñas empresas, contrastando con el INEGI (2020c) que reportó 93.8 % como micro em-

■ Tabla 2. Estudio de confiabilidad alfa de Cronbach.
Table 2. Cronbach's alpha reliability study.

Variable Conocimientos						
Dimensión CONEMP/Conocimiento empresarial (alfa de Cronbach 0.907)						
Código	Ítems	Media	DE*	Correlación total de elementos corregida	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido	Conocimiento del empresario** %
N1	Conoce todas las actividades a las que se dedica su empresa	4.79	0.495	0.698	0.925	95.8
N2	Conoce a todas las personas que laboran en su empresa	4.78	0.584	0.752	0.918	95.5
N3	Conoce la historia y origen de su empresa	4.7	0.777	0.83	0.911	94.0
N4	Conoce a todos los fundadores de su empresa	4.74	0.713	0.815	0.911	94.7
N5	Conoce los productos que fabrica o vende su empresa	4.82	0.534	0.865	0.906	96.4
N6	Conoce los departamentos que integran su empresa	4.79	0.582	0.839	0.907	95.8
Dimensión CONLEG /Conocimiento legal (alfa de Cronbach 0.931)						
L1	Conoce las normas legales que rigen a su empresa	3.94	1.087	0.814	0.916	78.9
L2	Conoce las normas comerciales que rigen a su empresa	3.95	1.089	0.838	0.913	78.9
L3	Conoce las normas fiscales que rigen a su empresa	3.74	1.211	0.813	0.916	74.8
L4	Conoce las dependencias vinculadas con su empresa	3.9	1.119	0.829	0.914	78.1
L5	Conoce abogados que pueden asesorar a su empresa	3.68	1.313	0.746	0.926	73.5
L6	Conoce contadores que pueden asesorar a su empresa	4.05	1.179	0.765	0.922	81.0
Dimensión CONDIR /Conocimiento directivo (alfa de Cronbach 0.925)						
D1	Sabe lo que es una estrategia	4.07	0.927	0.774	0.914	81.4
D2	Sabe lo que es un plan estratégico	3.93	1.002	0.836	0.905	78.6
D3	Sabe cómo poner en marcha una estrategia	3.8	1.146	0.86	0.901	76.0
D4	Sabe cómo crear un plan de negocios	3.8	1.147	0.829	0.905	76.0
D5	Sabe cómo aprovechar beneficios fiscales	3.5	1.266	0.719	0.924	70.0

continúa...

D6	Sabe cómo lograr el éxito dirigiendo una empresa	4.05	0.995	0.726	0.919	81.0
Variable Estrategias						
Dimensión ESTRAT/Estrategias fiscales y financieras (alfa de Cronbach 0.749)						
Código	Ítems	Media	DE*	Correlación total de elementos corregida	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido	Aceptación del empresario*** %
E1	Utilizar estrategias fiscales es bueno para mejorar la situación económica de la empresa	3.8	0.933	0.386	0.732	68.8
E2	Con un plan adecuado puede disminuirse el impacto de los impuestos en las empresas	3.63	1.047	0.485	0.717	63.5
E3	Los beneficios legales o fiscales están allí para ser aprovechados, no deben pasarse por alto	3.93	0.977	0.51	0.714	77.1
E4	Es necesario hacer un plan financiero para que la empresa no fracase o quiebre	4.02	0.967	0.421	0.727	82.0
E5	Los fundadores deben dar a conocer a sus herederos sus planes antes de retirarse o morir	3.79	1.105	0.423	0.727	71.1
E6	Las empresas familiares también deben planear sus operaciones comerciales o productivas	4.16	0.822	0.512	0.717	87.8
E7	No existe una forma legal y correcta de disminuir el pago de impuestos en las empresas	3.22	1.146	0.271	0.753	42.2
E8	Las empresas familiares deben tener Consejo Familiar para resolver sus problemas internos	3.47	1.255	0.426	0.728	60.4
E9	Un gerente con más conocimientos financieros ayudaría a que la empresa no tenga más deudas	3.53	1.16	0.463	0.720	59.9

*Desviación estándar.

**Representa el conocimiento promedio de los empresarios en cada ítem.

***Representa el porcentaje de empresarios que seleccionaron las opciones de acuerdo o muy de acuerdo.

Tabla 3. Prueba de KMO y Bartlett.

Table 3. KMO-Bartlett test.

Prueba		Valor
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.904
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	7 285.17
	gl	351
	Sig.	0.000 0

■ **Tabla 4a. Análisis de componentes principales: estadísticas de elementos de resumen.**
 Table 4a. Analysis of main components: statistics of summary items.

	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Máximo / Mínimo	Varianza	N de elementos
Medias de elemento	4.021	3.224	4.818	1.594	1.494	0.209	27
Varianzas de elemento	1.022	0.245	1.723	1.478	7.027	0.180	27
Covarianzas entre elementos	0.269	-0.045	1.22	1.265	-26.821	0.074	27
Correlaciones entre elementos	0.266	-0.051	0.895	0.946	-17.581	0.051	27

■ **Tabla 4b. Análisis de componentes principales: varianza total explicada.**
 Table 4b. Analysis of main components: explained total variance.

Varianza total explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	9.096	33.689	33.689	9.096	33.689	33.689
2	3.772	13.970	47.659	3.772	13.970	47.659
3	2.721	10.076	57.735	2.721	10.076	57.735
4	1.270	4.705	62.440	1.270	4.705	62.440
5	1.139	4.220	66.660	1.139	4.220	66.660
6	1.030	3.815	70.475	1.030	3.815	70.475

presas y 98.7 % como micro y pequeñas empresas. Este último documento señala que las empresas con hasta 100 trabajadores tienen como dueña a una mujer en un 36.6 %, similar a El Mante, donde las mujeres propietarias de empresas en el mismo rango de trabajadores (menos de 100) eran el 38.5 % del total. El perfil de las empresas de corte familiar en El Mante arrojó una prevalencia de empresas dedicadas al comercio (Tabla 5), con un rango de existencia de entre 11 y 30 años, pocas empresas longevas (> 30 años), de las cuales el 91.6 % funcionaban como empresas societales y 8.4 % como empresas individuales, y más del 45 % de ellas eran dirigidas aún por sus fundadores.

El porcentaje de conocimiento o aceptación de cada ítem se presenta en la Tabla 2. En la Ta-

bla 6 se muestra los niveles de dominio o conocimiento y los de acuerdo o aceptación del empresario que mide cada dimensión de las variables. La mayoría de los entrevistados (88 %: Tabla 6) manifestaron un conocimiento empresarial (CONEMP) bastante completo, lo que significa que conocen en más del 80 % sus negocios. Los porcentajes de este conocimiento, en general, se representan por ítem a continuación (Tabla 2): conoce todas las actividades del negocio (95.8 %), el personal (95.5 %), la historia empresarial (94.0 %) y sus fundadores (94.7 %), los productos que ofrece (96.4 %) y las áreas de la empresa (95.8 %), probablemente por ser los dueños o directores de las empresas. Dicho dominio no está relacionado con la edad, el giro del negocio o el grado de educación, sino que pudo haber sido acrecentado laborando para la empresa familiar.

■ **Tabla 5. Perfil de la comunidad empresarial de El Mante.**
 Table 5. Business community profile.

	Perfil				
Propietario	Hombres	Mujeres	Pareja		
	56.5 %	38.5 %	5.0 %		
Tipo de empresa	Individual		Colectiva (sociedad)		
	91.9 %		8.1 %		
Antigüedad	< 10 años	11 a 30 años	31 a 50 años	> 50 años	
	46.3 %	38.3 %	10.2 %	5.2 %	
Tamaño	Micro	Pequeñas	Medianas	Grandes	
	68.0 %	31.5 %	0.5 %	0 %	
Empleados	0	1 a 10	11 a 30	31 a 50	> 50
	26.5 %	67.7 %	3.9 %	1.6 %	0.3 %
Giro	Agrícola	Comercio	Servicios	Otros	
	6.0 %	48.2 %	22.6 %	23.2 %	
Director actual	Fundador	Sucesor	No familiar		
	78.4 %	17.4 %	4.2 %		
Experiencia	Ninguna	Poca	Suficiente		
	34.6 %	39.1 %	26.3 %		
Nivel educativo	Básica	Media	Superior	Posgrado	
	24.5 %	39.0 %	34.4 %	2.1 %	

■ **Tabla 6. Nivel de dominio y de aceptación en función a la puntuación de las respuestas por cada dimensión.**

Table 6. Level of mastery and acceptance level based on the score of answers for each dimension.

Dominio	Puntuación				
Rango de puntuación obtenido en la escala de Likert	6	de 7 a 12	de 13 a 18	de 19 a 24	de 25 a 30
Porcentaje de la puntuación total de la escala de Likert	20 %	21 % a 40 %	41 % a 60 %	61 % a 80 %	81 % a 100 %
Nivel de conocimiento	Nulo	Bajo	Regular	Suficiente	Completo
Empresarial	0 %	0 %	3 %	9 %	88 %
Legal	0 %	0 %	3 %	52 %	45 %
Directivo	0 %	0 %	3 %	57 %	40 %
Aceptación	Puntuación				
Rango de puntuación obtenido en la escala de Likert	9	de 10 a 18	de 19 a 27	de 28 a 36	de 37 a 45
Porcentaje de la puntuación total de la escala de Likert	20 %	21 % a 40 %	41 % a 60 %	61 % a 80 %	81 % a 100 %
Nivel de aceptación	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Muy de acuerdo
Estrategias	0 %	0 %	3 %	74 %	23 %

Respecto a la dimensión conocimientos legales del negocio (CONLEG), se nota un suficiente conocimiento por más de la mitad de los entrevistados (52 %: Tabla 6), es decir, que manifestaron conocer entre 61 % y 80 % los aspectos legales. Los porcentajes de este conocimiento, en general, se representan por ítem a continuación (Tabla 2): conoce sobre normas legales (78.9 %), comerciales (78.9 %) y fiscales (74.8 %), dependencias relacionadas con el giro del negocio (78.1 %) abogados (73.5 %) y contadores (81.0 %) que asesoren a la empresa. Sobre este punto, la implicación es la independencia con el grado educativo del entrevistado, encontrando que 63.5 % tienen educación media básica terminada y solo 36.5 % tienen estudios de licenciatura y posgrado (Tabla 5); los conocimientos legales pueden ser producto de la formación empresarial de quienes integran la empresa familiar, que comúnmente dirigen los fundadores y sus sucesores directos.

En relación al conocimiento directivo (CONDIR), más de la mitad (57 %: Tabla 6) de los empresarios de El Mante manifestaron tener un suficiente conocimiento sobre como dirigir su negocio. Los porcentajes de este conocimiento, en general, se representan por ítem a continuación (Tabla 2): sabe lo que es una estrategia (81.4 %), planes estratégicos (78.6 %), cómo poner en marcha una estrategia (76.0 %), cómo crear un plan de negocios (76.0 %), cómo aprovechar los beneficios fiscales (70.0 %) y cómo lograr el éxito empresarial (81.0 %); sin embargo, respecto al uso de los beneficios fiscales (Tabla 2: ítem D5) llama la atención que la proporción de quienes tienen un conocimiento del tema desde nulo a regular (49.2 %) es mayor que quienes manifiestan conocerlo en forma suficiente (21.6 %) o completa (29.2 %).

La aplicación de la planeación estratégica en las empresas familiares implica una toma de decisiones gerenciales sobre el negocio familiar, las finanzas corporativas y el conocimiento de estrategias fiscales y financieras; respecto a la dimensión aplicación de estrategias

fiscales y financieras (ESTRAT), se encontró un nivel de acuerdo del 74 % en la intención de uso de las estrategias propuestas a los empresarios (Tabla 6); en cuanto a los resultados por ítems se reportó que un 71.1 % de los propietarios toman decisiones gerenciales considerando los intereses de la familia (Tabla 2: ítem E5 y E8), un 82.0 % de los directivos considera necesaria la planeación financiera y 87.8 % cree que también se debe hacer una planeación comercial o productiva, un 77.1 % reconoce la bondad de aprovechar a su favor las estrategias fiscales, pero 42.2 % considera incorrecto o ilegal disminuir los impuestos mediante la planeación fiscal (Tabla 2).

En la comprobación de la bondad de ajuste de la muestra realizada a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 7), se observa que la significancia para todas las dimensiones en estudio a un nivel de confianza del 95 % es menor a 0.05, ya que el P valor es igual a 0.000 0 en todos los casos, encontrando que la aplicación de estrategias fiscales y financieras sí requiere de conocimientos empresariales, legales o directivos por parte de los dueños de empresas familiares en El Mante, Tamaulipas.

Adicional a lo anterior, mediante la prueba de Correlación de Spearman se estableció la relación entre las variables independientes o predictoras y la variable dependiente o condicionada en estudio, habiendo encontrado una correlación positiva entre ellas (Tabla 8). Se observó una correlación con efecto débil, de acuerdo a Pérez-Tejada (2008), entre las empresas familiares estudiadas y la aplicación de estrategias fiscales y financieras (ESTRAT) y los conocimientos legales (CONLEG: $P = 0.260$) y directivos (CONDIR: $P = 0.285$) que tiene su propietario actual, y con un efecto nulo si se refiere a los conocimientos sobre la empresa (CONEMP: 0.044), su manejo interno y sus productos, que indica ausencia de correlación.

Las empresas familiares juegan un papel importante en el empresariado mexicano, pues

■ **Tabla 7. Resumen de prueba de bondad de ajuste.**

Table 7. Goodness of fit test summary.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de ESTRAT es normal con la media 33.54 y la desviación estándar 5.467	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	0.000 0 ¹	Rechazar la hipótesis nula
La distribución de CONEMP es normal con la media 28.61 y la desviación estándar 3.193	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	0.000 0 ¹	Rechazar la hipótesis nula
La distribución de CONLEG es normal con la media 23.26 y la desviación estándar 6.045	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	0.000 0 ¹	Rechazar la hipótesis nula
La distribución de CONDIR es normal con la media 23.16 y la desviación estándar 5.562	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	0.000 0 ¹	Rechazar la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05.

¹Prueba de Lilliefors corregida.

■ **Tabla 8. Análisis de correlación entre la dimensión estrategias y las de conocimientos (n = 284).**

Table 8. Analysis of correlation between the strategies dimension and that of knowledge (n = 284).

Correlaciones			
DIMENSIÓN	CONEMP	CONLEG	CONDIR
ESTRAT	0.044	0.260**	0.285**

**La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

representan más del 95 % del total de las empresas (KPMG, 2019); en ellas, el conocimiento del sector donde se desenvuelve la empresa es considerado un aspecto clave de éxito con mayor importancia en la empresa familiar que en la tradicional (González y Olivie, 2018), lo que se confirma con los resultados obtenidos de las empresas de esta categoría en El Mante, Tamaulipas. Los propietarios o directores de empresas presentan en promedio un dominio completo sobre los aspectos del conocimiento interno de la empresa, sus áreas y productos, así como un nivel de dominio suficiente en los temas legales que atañen a todo negocio formal, esto es principalmente los aspectos contables y jurídicos; igual dominio suficiente presentan en el conocimiento directivo (Tabla 6). Lo anterior, sostiene lo

estudiado por Guerrero y Santamaría-Velasco (2020: 16), quienes encontraron que los conocimientos y las habilidades básicas, como las referidas al comercio y la administración de negocios, apuntalan la intención decidida de los emprendedores en la región del Bajío.

Respecto a la dimensión de conocimientos empresariales analizada (CONEMP), se requiere un análisis interno de las capacidades materiales y humanas de la organización para que los gerentes sean capaces de realizar la planeación estratégica que incluya una planificación tributaria adecuada (Villasmil-Molero, 2017). Para implementar dicha estrategia, Hernández-Sandoval y col. (2013) coincidieron que, el empresario debe conocer su empresa e identificar su patrimonio -el cual involucra ries-

gos de tipo legal, fiscal y laboral- antes de poder utilizar los esquemas legales que mejor le convengan, pero acusan que es una tarea difícil. Abundando en el tema, Almaraz-Alvarado (2018) propuso que la estructura familiar es la que permite el aprendizaje y traspaso de este conocimiento, concordando con Araya-Leandro (2017: 25). Y Palacios (2018) añadió el término “formación empresarial” como una interrelación entre la actividad individual, familiar y corporativa de los integrantes de la empresa familiar, y señaló que dicha formación puede ser muy útil en la administración empírica del negocio que puede producir resultados tanto adecuados como adversos, razón por la cual puede haberse encontrado una correlación de muy baja intensidad entre estos conocimientos y la intención de uso de estrategias fiscales en las empresas del Mante, Tamaulipas ($P = 0.044$) (Tabla 8).

En cuanto a la dimensión de conocimientos legales (CONLEG), éstos pueden ser producto de la formación empresarial de los integrantes de la empresa familiar; en el presente trabajo se encontró una correlación positiva baja entre dicha dimensión y la aplicación de estrategias fiscales y financieras ($P = 0.255$), lo cual puede entenderse al reconocer que las habilidades administrativas y los conocimientos técnicos representan insumos al servicio de la organización, pero cuando se requieren conocimientos especializados en la empresa existen las opciones de profesionalizar al personal o buscar el talento externo, a fin de dar solución a los problemas detectados (Gaona-Tamez y col., 2019); esto confirma la postura de Ibarra-Cisneros y col. (2017); Hernández-Reyes y Moreno-Luce (2018), quienes reportaron que los empresarios descuidan la parte del dominio administrativo de sus negocios y dejan algunas decisiones importantes en sus contadores, de quienes esperan sean profesionistas preparados académicamente y responsables, lo que afecta la competitividad de las pymes por falta de estrategias adecuadas, incluyendo las de tipo fiscal; si, por el contrario, los directivos cuentan con dicho conocimiento, ello puede devenir en la aplicación de es-

trategias efectivas, un ejemplo es la conformación de *holdings* o sociedades que ayudan a optimizar los recursos financieros (Hernández-Sandoval y col., 2013).

Sobre la dimensión de los conocimientos directivos que poseen los propietarios (CONDIR), se detectó que su uso en la implementación de estrategias familiares puede ayudar a estas empresas a sortear crisis o enfrentar cambios inesperados, y pueden definir el éxito futuro de la organización (Palacios, 2018). Por su parte, Araya-Leandro (2017) propuso que dichos conocimientos incluyen los principios, valores y creencias que determinan las decisiones empresariales, y para darles continuidad y lograr el traspaso generacional también deberán tomarse en cuenta los intereses de los propietarios, si se quiere lograr una ventaja y dirigir correctamente una empresa familiar, como también señalan Cabello-Chávez y col. (2004) y Rizo-Rivas (2021). Por ello, resulta interesante encontrar una baja correlación positiva entre dichos conocimientos directivos y la aplicación de estrategias fiscales y financieras ($P = 0.269$). En la Radiografía de la Empresa Familiar, San-Martín-Reyna y Durán-Encalada (2015: 38) reportaron que el 71 % de las empresas mexicanas no utilizan la planeación estratégica; en forma similar, mientras el 41 % de los entrevistados en un estudio colombiano manifestó conocer determinados beneficios tributarios aplicables a empresas socialmente responsables, solamente el 14 % los aprovechó (Cruz-Botache y col., 2020). Esta es una explicación plausible a los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde la connotación de lo anterior se apoya en que más del 50 % de las microempresas y hasta 59.8 % de las pequeñas y medianas empresas tienen una escasa capacidad administrativa y prefieren tercerizar las tareas relacionadas con los impuestos y las finanzas a un profesional (INEGI, 2019), bien sea por su mayor entendimiento sobre normas jurídicas y toma de decisiones (Villasmil-Molero, 2017; Caamal-Yam y col., 2019) o por temor a las sanciones de la autoridad tributaria ante el uso de la planeación fiscal agresiva, señalada antes por

Contreras-Gómez (2016); Rodríguez-Rodríguez (2016) y Bárcenas-Puente y Andrade-Oseguera (2019).

Para Soto-Figueroa (2021), la planeación fiscal ofrece tres beneficios: reduce el costo fiscal para la empresa, elimina el riesgo de multas al otorgar certidumbre en la aplicación de los beneficios legales y mejora el flujo de efectivo al diferir los impuestos; y aunque la mayoría de los propietarios de empresas familiares de El Mante, Tamaulipas cuentan con conocimientos esenciales para dirigir su negocio, menos de la mitad no utilizan a su favor una planeación estratégica y dejan de obtener beneficios fiscales o financieros, por un desconocimiento específico del tema o por aversión al riesgo que implican; sustenta lo anterior la afirmación de Rodríguez-Crespo (2020: 172), quien señaló que muchas empresas familiares también fracasan por el escaso conocimiento del mercado, de las estrategias legales y financieras. Al respecto, es interesante notar en el presente estudio, que mientras un 77.1 % de los empresarios consideran que los beneficios y estrategias fiscales se deben aprovechar, un 42.2 % considera que no existe una forma legal y correcta de disminuir el pago de impuestos, por ello solo 3 de cada 5 empresarios aceptarían utilizar la planeación fiscal (Tabla 2).

Contreras y col. (2015); Castro-Alfaro (2016) recomiendan que el empresario tenga conocimiento de los beneficios fiscales existentes para su propio beneficio, el cual se puede trasladar a su comunidad empresarial.

Por otro lado, una de las limitaciones para hacer un estudio más amplio en la región fue la imposibilidad de colaboración con otros investigadores, dado el aislamiento social en vigor por la pandemia del COVID-19, que también restringió la aplicación de entrevistas al formato personal para recoger la información directamente de los propietarios y con las restricciones impuestas, por lo que llevó más tiempo del planeado, sin embargo los resultados permiten proponer que la Secretaría de Desarrollo Económico capacite a los empresarios de El

Mante, al igual que a los de Tamaulipas, sobre los beneficios fiscales que existen para sostener unas finanzas sanas y prósperas en el negocio familiar, con la finalidad de que sea un negocio rentable y atractivo para los propietarios, quienes no solo obtienen ingresos familiares, sino también generan empleos a otras familias.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio permitieron identificar los perfiles de la comunidad empresarial del municipio de El Mante, quienes en general, presentan un completo dominio interno de sus empresas, así como suficientes conocimientos legales –invaluables– para la toma de decisiones estratégicas, y conocimientos directivos de cómo administrar estratégicamente un negocio familiar, con los cuales pueden contribuir al éxito y continuidad de la empresa familiar. También, al identificar las prácticas de uso de las estrategias fiscales entre dicho empresariado, se encontró que el conocimiento interno de la empresa no tiene una importancia significativa en ello, siendo los dominios legales y directivos los que determinan con mayor peso los cambios en la utilización de dichas estrategias; esto implica que los directivos o propietarios de negocios familiares pueden estar al mando recientemente y desconocer gran parte de sus empresas y aún así utilizar a su favor las estrategias fiscales, apoyándose en su percepción del mundo legal o financiero y en su habilidad como estrategas. Por último, también se reportó que el propietario de empresas familiares no siempre utiliza las estrategias a su favor, dado que los beneficios y estrategias fiscales o financieras en los negocios es un tema que los propietarios soslayan, prefieren un asesor contable o fiscal que resuelva asuntos que consideran sensibles. Además, es interesante notar que solo 3 de cada 5 empresarios aceptarían utilizar la planeación fiscal, para aprovechar los beneficios y estrategias fiscales, mientras el resto considera que no existe una forma legal y correcta de disminuir el pago de impuestos. A partir de los resultados obtenidos se reconoce la necesidad de un análisis de mayor profundidad en este campo del co-

nocimiento, utilizando etnografía o estudio de casos, y se propone continuar la investigación sobre el uso de estrategias fiscales por el empresariado tamaulipeco, ahora con una vi-

sión regional, por lo que se considera un tema no agotado y pertinente para futuras líneas de trabajo.

REFERENCIAS

- Agüeros-Sánchez, F. y Gaona-Partida, L. A. (2017). El uso de la planeación estratégica para mejorar la productividad y la competitividad. En D. Herrera-González, G. Ramírez-Martínez y J. A. Rosas-Castro (Eds.), *Mipymes y empresa familiar. Diversidad y Complejidad Organizacional en América Latina* (pp. 449-488). Ciudad de México: Grupo Editorial Hess, SA de CV.
- Ahumada-Tello, E. y Perusquia-Velasco, J. M. (2016). Inteligencia de negocios: estrategia para el desarrollo de competitividad en empresas de base tecnológica. *Contaduría y Administración*. 61: 127-158.
- Almaraz-Alvarado, A. (2018). La empresa familiar y las familias empresariales en México: una propuesta teórica. En A. Almaraz y L. A. Ramírez (Eds.), *Familias empresariales en México, Sucesión generacional y continuidad en el siglo XX* (pp. 57-94). Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.
- Antúnez-Álvarez, R. (2010). *El Derecho Fiscal y su interpretación*. Zapopan, Jalisco: Editorial Seo de Urgel, SA de CV. 618 Pp.
- Araya-Leandro, A. (2017). Modelos de planeación estratégica en las empresas familiares. *Tec Empresarial*. 11(1): 23-34.
- Bárceñas-Puente, J. L. y Andrade-Oseguera, M. A. (2019). El proyecto BEPS y la planeación fiscal. *Revista de Aplicaciones del Derecho*. 3(9): 37-50.
- Caamal-Yam, E., Cortes-Pérez, I. D. y Solís-Vargas, K. G. (2019). La planeación fiscal como estrategia para la toma de decisiones. *Tlatemoani*. 187-206.
- Cabello-Chávez, A., Reyes-Avellaneda, R. y Solís-Pérez, P. C. (2004). El Perfil Organizacional de las PyMEs (Microempresas, Pequeñas y Medianas Empresas) en el sector manufacturero: un análisis integral. *Administración y Organizaciones*. 69-89.
- Castro-Alfaro, A. (2016). Estrategias para la disminución de la carga impositiva en las organizaciones empresariales. *Enfoque Disciplinario*. 1(1): 21-34.
- Cervantes-Mejía, M. D., Mares-Bañuelos, O., Macías-Calleros, R. y Aparicio-Rosas, V. (2015). Características funcionales, de empresas familiares lideradas por estudiantes de LAE en la DES FCAT, en *Compendio Investigativo de Academia Journals Córdoba 2015*. [En línea]. Disponible en: <https://www.academiajournals.com/pubcordoba2015>. Fecha de consulta: 12 de enero de 2018.
- Contreras-Gómez, C. (2016). *Planificación fiscal. Principios, metodología y aplicaciones*. Madrid: Editorial Universitaria Ramon Areces. 357 Pp.
- Contreras, M. E., Paillacho, L. C. y Hulett, N. L. (2015). Aspectos legales y fiscales de las donaciones y liberalidades establecidas en la Ley del Impuesto Sobre la Renta. *Actualidad Contable Faces*. 18(30): 33-48.
- Credit Suisse Research Institute (2015). The Family Business Model. Zurich: Credit Suisse AG. [En línea]. Disponible en: <https://www.credit-suisse.com/media/assets/corporate/docs/about-us/research/publications/csri-family-business-model-2015.pdf>. Fecha de consulta: 26 de junio de 2016.
- Credit Suisse Research Institute (2018). The CS Family 1000 in 2018. Zurich: Credit Suisse AG. [En línea]. Disponible en: <https://www.credit-suisse.com/media/assets/corporate/docs/about-us/research/publications/the-cs-family-1000-in-2018.pdf>. Fecha de consulta: 30 de mayo de 2019.
- Cruz-Botache, L. P., Vélez-Romero, C. A. y Romero-Restrepo, M. (2020). Beneficios tributarios por la adopción de políticas de responsabilidad social empresarial (RSE). *Dictamen Libre*. 13(26): 17-36.
- Durán-Encalada, J. A. y San-Martín-Reyna, J. M. (2014). Estudio comparativo de la empresa familiar en México en el contexto mundial. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*. 21-54.
- Flores-Ortiz, M. V., Vega-López, A. y Chávez-Moreno, E. A. (2015). Factores de contingencia que inciden en la profesionalización de las empresas familiares del sector comercio en Tijuana BC México. *Revista Internacional Administración y Finanzas*. 15-29.
- Gaona-Tamez, L. L., Hernández-Sandoval, R. H. y Aguilera-Mancilla, G. (2019). La profesionalización de las empresas familiares, una necesidad para su

continuidad. *VinculaTégica*. 811-819.

Gasca-Pliego, E., Piña-Libien, H. R., Olvera-García, J. y Hurtado-Salgado, J. (2010). *Diccionario de términos jurídicos universitarios* (Primera edición). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México. 110 Pp.

Gómez-Betancourt, G., Betancourt-Ramírez, J. L. y Zapata-Cuervo, N. (2012). Empresas familiares multigeneracionales. *Entramado Unilibre Cali*. 38-49.

González, E. y Olivie, C. (2018). *Empresa familiar, emprendimiento e intraemprendimiento*. Madrid: EAE Business School. 81 Pp.

Guerrero, M. y Santamaría-Velasco, C. A. (2020). Ecosistema y actividad emprendedora en México: un análisis exploratorio. *Perfiles Latinoamericanos*. 28(55): 227-251.

Guzmán-Acuña, J. (2013). Mujeres profesionistas y mercados laborales: México y Tamaulipas. En O. M. Hernández-Hernández y R. Vera-Vázquez (Eds.), *Tra-bajo y género en Tamaulipas* (pp. 103-118). Ciudad Victoria: El Colegio de Tamaulipas.

Hernández-Flores, E., Jiménez-Almaguer, K. P., Trujillo-Reyes, J. C., Paredes-Cuahquentzi, M. y Nava-Mozo, V. (2017). Problemática de la participación de la mujer en la empresa familiar, factores órganos de gobierno, resultados preliminares. En D. Herrera-González, G. Ramírez-Martínez y J. A. Rosas-Castro (Eds.), *Mipymes y empresa familiar. Diversidad y Complejidad Organizacional en América Latina* (pp. 87-121). Ciudad de México: Grupo Editorial Hess, SA de CV.

Hernández-Reyes, L. A. y Moreno-Luce, R. G. (2018). La importancia de la contabilidad y la responsabilidad del contador hacia el contribuyente. *Horizontes de la Contaduría en las Ciencias Sociales*. 5(9): 69-78.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, M. D. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edición). México: McGraw-Hill. 600 Pp.

Hernández-Sandoval, R. H., De-la-Garza-Cienfuegos, S. P. y Gaona-Tamez, L. L. (2013). La Holding, estrategia fiscal para las empresas familiares. *Revista Global de Negocios*. 1(1): 1-11.

Hernández-Sandoval, R. H., Gaona-Tamez, L. L., Aguilera-Mancilla, G. y Torres-Hernández, E. A. (2019). Copropiedad como estrategia fiscal para atenuar la carga tributaria en México. *Revista de Aplicaciones del Derecho*. 3(9): 12-22.

Ibarra-Cisneros, M. A., González-Torres, L. A. y Demuner-Flores, M. D. R. (2017). Competitividad

empresarial de las pequeñas y medianas empresas manufactureras de Baja California. *Estudios Fronterizos* 18(35): 107-130.

IEF, Instituto de la Empresa Familiar (2015). *La empresa familiar en España 2015*. Madrid: Instituto de la Empresa Familiar. 108 Pp.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) 2018. Ciudad de México. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/enaproce/2018/>. Fecha de consulta: 10 de octubre de 2022.

INEGI, Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (2020a). Censos Económicos 2019. Resultados definitivos Conferencia de Prensa. Obtenido de Censos Económicos 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ce/2019/doc/pprd_ce19.pdf. Fecha de consulta: 26 de abril de 2021.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía - México (2020b). Censos económicos 2019. Micro, pequeña, mediana y gran empresa. Estratificación de los establecimientos. Ciudad de México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía - México. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825198657.pdf. Fecha de consulta: 31 de agosto de 2021.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020c). INEGI. Censos Económicos 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ce/2019/tabulados/capance19_02.xlsx. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2021.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020d). Censo de Población y Vivienda 2020. Obtenido de Principales resultados por localidad (ITER). [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Microdatos>. Fecha de consulta: 15 de octubre de 2022.

KPMG, International Cooperative (2013). *Empresas familiares en México: el desafío de crecer, madurar y permanecer*. México DF: KPMG Cárdenas Dosal, S.C. 36 Pp.

KPMG, International Cooperative (2015). *Una visión de la empresa familiar excelente*. Madrid: Instituto de la Empresa Familiar. [En línea]. Disponible en: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2015/11/vision-empresa-familiar-excelente.pdf>.

Fecha de consulta: 27 de julio de 2021.

KPMG, International Cooperative (2019). *Empresas Familiares en México. Tiempo de sucesión en un escenario disruptivo*. Ciudad de México: KPMG Cárdenas Dosal SC. [En línea]. Disponible en: <https://www.delineandoestrategias.com.mx/empresas-familiares-en-mexico-tiempo-de-sucesion-en-un-escenario-disruptivo>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2021.

López-Aguado, M. y Gutiérrez-Provecho, L. (2019). Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*. 12(2): 1-14.

Mavrou, I. (2015). Análisis factorial exploratorio: Cuestiones conceptuales y metodológicas. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada*. (19): 71-80.

Niebler, A. (2015). *Informe sobre las empresas familiares en Europa*. Brussels: Comisión de Industria, Investigación y Energía del Parlamento de Europa. [En línea]. Disponible en: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2015-0223_ES.html. Fecha de consulta: 20 de abril de 2021.

Ojeda-Hidalgo, J. F., Linares-Rodríguez, A. K. y García-Gasca, D. M. (2015). Causas de emprendimiento en empresas familiares: Caso Ferreterías. En Z. M. Cruz-Sánchez, G. Ramírez-Martínez, O. Lozano-Carrillo, L. D. Velasco-Estrada, A. Zebadúa-Sánchez, J. A. Rosas-Castro, ... y A. L. León-Ayala (Eds.), *Emprendimiento e innovación en la Mipyme familiar: casos* (pp. 24-35). México, D.F.: Grupo Editorial Hess, S.A. de C.V.

Palacios, L. (2018). Grupo Salinas: formación empresarial de cuatro generaciones. En A. Almaraz y L. A. Ramírez (Eds.), *Familias empresariales en México, sucesión generacional y continuidad en el siglo XX* (pp. 255-296). Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.

Palop-Marro, F. (2013). La inteligencia para competir: nuevo paradigma en la dirección estratégica de las organizaciones en un mundo globalizado. *Cuadernos de Estrategia*. (162): 135-175.

Patiño-Martínez, A. V. (2019). Las Empresas Familiares. *Revista RELAYN*. 56-60.

Pérez-Tejada, H. E. (2008). *Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud* (Tercera edición). México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. 815 Pp.

Rizo-Rivas, J. M. (2021). *Planear, jugar y ganar. Estrategia para lograr los objetivos de una empresa y*

su rentabilidad. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos. 146 Pp.

Rodríguez-Crespo, H. E. (2020). *La gestión del cambio de las empresas familiares: sus riesgos y retos en Bogotá – Colombia: Principia Iuris*. 17(37): 157-173.

Rodríguez-Rodríguez, A. M. (2016). La contabilidad sobre las estrategias fiscales de las operaciones del grupo. ¿Un marco de información para la fiscalidad? *Instituto de Estudios Fiscales*. 15: 123-130.

Rodríguez-Rodríguez, J. y Reguant-Álvarez, M. (2020). Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*. 13(2): 1-13.

San-Martín-Reyna, J. M. y Durán-Encalada, J. A. (2015). *Radiografía de la empresa familiar en México*. San Andrés Cholula, Puebla: Fundación Universidad de las Américas, Puebla. 104 Pp.

Sánchez-Losoya, M., Rios-Silva, L. O., Canela-Cruz, D., Guerrero-Contreras, M. E. y Polanco-López, L. A. (2015). Modelo de Ventas de Mayoreo para Sucesores de Donaciano Terrones S.A. de C.V.: Diagnóstico, en *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals en Tecnologías Estratégicas Colima 2015*. [En línea]. Disponible en: <https://www.academiajournals.com/pubcolima2015>. Fecha de consulta: 26 de abril de 2020.

Sánchez-Vega, J. A. (2021). *La estrategia fiscal y el fideicomiso. Esquemas reportables al SAT*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos. 163 Pp.

Slusarczyk-Antosz, M. y Morales-Merchán, N. H. (2016). Análisis de las estrategias empresariales y de las TIC. *3c Empresa*. 5(1) 29-46.

Soto-Figueroa, M. (2021). *Transmisión patrimonial estratégica. Herencias, donaciones usufructo y fideicomisos*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos. 289 Pp.

Soto-Maciel, A. (2013). La empresa familiar en México. Situación actual de la investigación. *Contaduría y Administración*. 58(2): 135-171.

Villasmil-Molero, M. C. (2017). La planificación tributaria: Herramienta legítima del contribuyente en la gestión empresarial. *Dictamen Libre*. 20: 121-128.



Imágenes de: Canva educativo

Calidad microbiológica: detección de *Aeromonas* sp y *Pseudomonas* sp en garrafones provenientes de pequeñas plantas purificadoras de agua

Microbiological quality: detection of *Aeromonas* sp and *Pseudomonas* sp in jugs from small water purification establishments

Berenice Venegas, Marco Antonio Tello-Hernández, Verónica Cepeda-Cornejo, Dalia Molina-Romero*

RESUMEN

Las plantas purificadoras de agua que carecen de un adecuado sistema de control de calidad pueden generar problemas de salud pública. El objetivo de este estudio fue examinar la calidad microbiológica del agua proveniente de pequeñas plantas purificadoras de la ciudad de Puebla, así como, determinar la existencia de bacterias *Aeromonas* sp y *Pseudomonas* sp, y caracterizar si presentan un fenotipo patógeno oportunista. Se recolectaron 70 muestras de garrafones de agua de 25 establecimientos. La cuantificación bacteriana se realizó mediante el método de goteo en placa. Se comprobaron los géneros microbianos mediante análisis bioquímico. En las cepas que mostraron discrepancia se utilizó la identificación molecular con base a secuencias parciales del gen 16S rRNA para confirmar su especie y se les evaluaron sus características de patogenicidad: multirresistencia a antibióticos, producción de biopelícula y actividad hemolítica. El 40 % de las plantas purificadoras no cumplieron con la calidad microbiológica del agua para consumo humano. El 41.4 % de los garrafones de agua muestreados incumplió la normativa, presentando coliformes totales 35.7 %, *Pseudomonas* 30 %, *Enterococcus faecalis* 8.6 % y bacterias coliformes fecales el 5.7 %. Se obtuvieron 56 aislados, provenientes de los 29 garrafones contaminados; 10 de ellos se caracterizaron molecularmente, resultando 7 aislados relacionados con especies diferentes de *P. aeruginosa* y 3 con especies de *Aeromonas*. De los aislados de *Pseudomonas*, 5 presentaron resistencia a 2 familias de antibióticos y 2 mostraron multirresistencia. El 36 % de los 10 aislados produjeron hemólisis y biopelícula. Dos cepas de *Aeromonas* mostraron resistencia a Cefalosporina 3a generación pero no produjeron hemólisis. Los 10 aislados analizados fueron clasificados como no patógenos. Es necesario un seguimiento sanitario más estricto para lograr el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales relacionadas con el consumo de agua purificada, para evitar dañar la salud de los consumidores.

PALABRAS CLAVE: Coliformes, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, biopelícula, multirresistencia.

ABSTRACT

Water purification establishments that lack an adequate quality control system can cause public health problems. The objective of this study was to examine the microbiological quality of water from small purification establishments in the city of Puebla, as well as to determine the existence of *Aeromonas* sp and *Pseudomonas* sp bacteria, and to characterize whether they present an opportunistic pathogenic phenotype. 70 water jug samples were collected from 25 establishments. Bacterial quantification was performed using the drop plate method. Microbial genera were determined by biochemical analysis using the standard methodology. In the strains that showed discrepancy, molecular identification based on partial sequences of the 16S rRNA gene was used to confirm their species, and their pathogenic characteristics were evaluated: multiresistance to antibiotics, biofilm production, and hemolytic activity. The results showed that 40 % of the purification establishments did not comply with the microbiological quality of water for human consumption. Similarly, 41.4 % of the jugs of water sampled failed to comply with the regulations, presenting total coliforms 35.7 %, *Pseudomonas* 30 %, *Enterococcus faecalis* 8.6 % and fecal coliform bacteria 5.7 %. Likewise, 56 isolates were obtained from the 29 contaminated jugs, of which 10 were molecularly characterized, resulting in 4 different species for *P. aeruginosa* and 3 for *Aeromonas*. Of the 7 *Pseudomonas* isolates, 5 presented resistance to 2 families of antibiotics and 2 showed multiresistance. In total, 36 % of the 10 isolates produced hemolysis and biofilm. Two *Aeromonas* strains showed resistance to 3rd generation Cephalosporin but did not produce hemolysis. The 10 isolates analyzed were classified as non-pathogenic. A stricter sanitary monitoring is necessary to achieve compliance with national and international standards related to the consumption of purified water, to avoid harming the health of consumers.

KEYWORDS: Coliforms, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, biofilm, multiresistance.

*Correspondencia: dalia.molina@correo.buap.mx/Fecha de recepción: 9 de agosto de 2022/Fecha de aceptación: 9 de noviembre de 2022/Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Biológicas, Ciudad Universitaria, boulevard Valsequillo y Av. San Claudio, Ed. BIO1, colonia Jardines de San Manuel, Puebla, Puebla, México, C. P. 72592.

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para los procesos biológicos y el mantenimiento de los ecosistemas, por lo que es importante para los organismos vivos (Pichel y col., 2019). Son varios los factores que afectan la calidad del agua, siendo los más notables las actividades antropogénicas en los asentamientos urbanos, el aumento de la industrialización y la generación de desechos (Ji y col., 2021; OMS, 2022), que contribuyen a la presencia de agentes infecciosos, químicos tóxicos y radiaciones en el agua, de acuerdo al Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015b). La contaminación del agua es un problema de salud pública y su consumo puede causar enfermedades gastrointestinales que pueden llevar a la muerte, como gastroenteritis hemorrágica, cólera y diarrea aguda (Gutiérrez-Del-Río y col., 2018). Las bacterias coliformes causan estas enfermedades (Loyola y col., 2020).

Las infecciones diarreicas provocan alta morbilidad tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, debido a su alta incidencia en la población de niños menores de 5 años y adultos mayores (Saxena y col., 2015; OMS, 2017). Este tipo de enfermedades representa, para ambos grupos de naciones, un alto costo económico a nivel de salud e impacto social (Kamal y Abdel-Latef, 2015; Sacchetti y col., 2015).

Las bacterias comúnmente consideradas agentes etiológicos de la diarrea aguda son los diferentes patotipos de *Escherichia coli*, *Salmonella* sp, *Campylobacter* sp, *Yersinia* sp, *Vibrio cholerae* y *Enterococcus faecalis* (Wu y col., 2011; DOF, 2015b; DOF, 2021).

También se han identificado otros géneros como patógenos oportunistas que causan diarrea en personas inmunocomprometidas, como *Pseudomonas* sp, *Klebsiella* sp y *Aeromonas* sp. Estas bacterias han sido aisladas del agua potable, de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015b). Así mismo, *Aeromonas* es capaz de sobrevivir en agua que ha sido clorada, y su presencia se ha asociado con enfermedades gastrointestinales en hu-

manos y animales (Skwor y col., 2014; Miyagi y col., 2017).

La patogenicidad de un microorganismo es la habilidad de causar daño a un hospedero (Madigan y col., 2015), una bacteria patógena emplea diferentes factores de virulencia para dañar y adaptarse contra los diferentes mecanismos de defensa del hospedero (Jurado-Martín y col., 2021). La formación de biopelícula confiere virulencia en bacterias patógenas oportunistas, ya que ayuda a la adhesión y a la colonización bacteriana, reduce la sensibilidad a los antibióticos y evita que el sistema inmunológico reconozca a la bacteria (Chenia y Duma, 2017). La multirresistencia es definida como la resistencia al menos a un antibiótico de tres o más familias diferentes, esto favorece a las bacterias patógenas para continuar con la infección en su hospedero (Madigan y col., 2015), sin ser eliminado aún con el suministro de antibióticos. Estas bacterias aumentan la morbilidad y la mortalidad en la población (Nath y col., 2020). La hemólisis es considerada un factor de virulencia, debido a que la bacteria produce y transporta proteínas y toxinas que destruyen al eritrocito, la hemoglobina y otras células (Madigan y col., 2015).

Aeromonas y *Pseudomonas* han sido descritas como bacterias multirresistentes a antibióticos y formadoras de biopelícula (Govender y col., 2021); algunas especies de estos géneros bacterianos se han reportado con capacidad hemolítica (Nowrotek y col., 2021). La biopelícula es una estructura constituida por exopolisacáridos y bacterias, que le otorga a la comunidad bacteriana protección ante el estrés ambiental (Sala-Comorera y col., 2016). En el caso de las bacterias patógenas, la biopelícula le confiere atributos para el establecimiento de la infección al hospedero, además, que es un ambiente idóneo que favorece la transferencia horizontal de genes que codifican la resistencia a antibióticos. La presencia de estas bacterias en el agua puede ser una fuente de diseminación de dichos genes de multirresistencia entre los miembros de la comunidad bacteriana (Mulamattathil y col., 2014).

Las Naciones Unidas se han encargado de generar políticas de prevención para reducir las enfermedades gastrointestinales provocadas por la contaminación del agua (Cerna-Cortes y col., 2019). La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) es responsable de desarrollar estándares internacionales para cumplir con los requisitos que garantizan la calidad del agua y promover la salud de las poblaciones (DOF, 2015c; Pichel y col., 2019). En México, las Normas Oficiales Mexicanas establecidas por el gobierno federal, regulan el saneamiento del agua para consumo personal y doméstico. Estos lineamientos establecen y describen los límites permisibles de los indicadores bacteriológicos, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua que se entrega al consumidor (DOF, 2021): 1) coliformes fecales y totales (DOF, 2015c), 2) *Pseudomonas aeruginosa* (DOF, 2015b), 3) *Enterococcus faecalis* (DOF, 2015b), 4) *Vibrio cholerae* (Loyola y col., 2020), y 5) esporas de *Clostridium* reductoras de sulfito (Miyagi y col., 2017); asimismo, determinan los análisis a los que debe someterse el agua para evaluar el control sanitario del agua (DOF, 2015a).

En México, existen procesos de potabilización de agua en la red municipal de agua que cumplen con los estándares establecidos; sin embargo, los consumidores han optado por obtener agua de establecimientos dedicados a la purificación y embotellamiento debido a su desconfianza hacia los sistemas de abastecimiento, sus métodos y características organolépticas del agua local (DOF, 2015b; DOF, 2021). Aunque, se tiene evidencia que cuestiona el cumplimiento de las normas sanitarias por parte de establecimientos dedicados a la purificación y venta de agua para consumo humano, particularmente de las plantas más pequeñas. La mala calidad de agua que comercializan estas empresas (Aziz y col., 2017; Mohamed y col., 2020), es consecuencia del incumplimiento de las normas sanitarias (DOF, 2015b), o el mal uso de etiquetas y sellos de garantía de empresas que si cumplen con los estándares solicitados (Pichel y col., 2019).

Los estudios de la calidad del agua realizados a pequeñas plantas potabilizadoras, se han en-

focado en grandes ciudades, como la Ciudad de México (Cerna-Cortes y col., 2019); sin considerar la producción de biopelícula y la multirresistencia a antibióticos; además de la identificación del género *Aeromonas* y especies del género *Pseudomonas* distintas a *P. aeruginosa*.

El objetivo de este estudio fue analizar la calidad del agua proveniente de pequeñas plantas purificadoras de la ciudad de Puebla, en función de los indicadores bacteriológicos (coliformes fecales y totales, *P. aeruginosa* y *E. faecalis*) establecidos en las normas nacionales e internacionales; así mismo, identificar a las bacterias que presenten un fenotipo patógeno oportunista, mediante la determinación de multirresistencia a antibióticos, la capacidad de hemólisis y la formación de biopelícula.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de la muestra

La ciudad de Puebla se encuentra en la parte centro occidental del estado de Puebla, México (98°17'38.76" W, 98°01'12.72" W; 18°50'12.48" N, 19°13'51.24" N). Presenta un clima predominante subhúmedo y templado, con lluvias de verano, de acuerdo a la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010).

Las muestras de agua (n = 70) fueron recolectadas a partir de 25 plantas purificadoras de pequeña escala, localizadas en la zona norponiente (NP) y suroriente (SO) en la ciudad de Puebla. Durante el periodo de marzo a noviembre de 2019, se realizó la compra de al menos 1 garrafón de agua de 20 L por semana, proveniente de 1 de las 25 purificadoras pequeñas, hasta completar dos muestras en cada establecimiento (n = 50). Únicamente en 10 establecimientos se compraron dos muestras adicionales (n = 20), debido a la detección de contaminación microbiana. Se verificó que los garrafo- nes estuvieran bien cerrados y con el sello de garantía del proveedor. El día de la compra, a cada garrafón se le quitó el empaque y se tomó una muestra de 350 mL, que se colocó en un recipiente estéril debidamente rotulado. Las muestras se mantuvieron en frío (4 °C a 8 °C) para su análisis inmediato (DOF, 2015c).

Análisis de indicadores bacteriológicos

Para la identificación de coliformes totales, fecales y de las bacterias de *P. aeruginosa* se utilizó el método del número más probable (NMP) con tres réplicas para *P. aeruginosa* y cinco réplicas para coliformes totales y coliformes fecales (Mahapatra y col., 2015; Daley y col., 2018; Zhou y col., 2019). Para la determinación de las bacterias coliformes totales se realizó una prueba presuntiva con caldo Lauril sulfato (Bioxon) a 37 °C, en una incubadora (Labnet, modelo I5110A, New York, EUA), por un periodo de 24 h a 36 h. El análisis confirmatorio se llevó a cabo con caldo bilis verde brillante al 2 % (Bioxon) a 44 °C, en una incubadora (Labnet, modelo I5110A, New York, EUA) durante 24 h (DOF, 2015c; Miyagi y col., 2017). Una muestra se consideró positiva para coliformes totales si presentaba > 1.1 NMP para 100 mL de agua; las muestras negativas fueron aquellas que tenían concentraciones no detectables de bacterias o < 1.1 NMP por 100 mL de agua (Miyagi y col., 2017).

El límite permisible de *P. aeruginosa* es < 1.1 NMP por 100 mL; coliformes fecales = 0 NMP en 100 mL (Loyola y col., 2020) y para *E. faecalis* < 1.1 NMP en 100 mL (DOF, 2015b; Pant y col., 2016).

Se trabajó el método de goteo en placa para cuantificar las bacterias. Se establecieron diluciones decimales seriadas para cada muestra, con un volumen final de 1 mL. Posteriormente, se inocularon 20 µL de cada dilución en placas con medios selectivos. Para cuantificar los coliformes totales y fecales, se utilizaron agar MacConkey y agar eosina azul de metileno (Bioxon) (Farkas y col., 2012; Mohamed y col., 2020). Las bacterias *P. aeruginosa* se detectaron usando un medio selectivo agar leche; y *E. faecalis* utilizando agar bilis esculina (BD Difco) (DOF, 2015a; Pant y col., 2016). Las placas se mantuvieron a 35 °C, en una incubadora (Labnet, modelo I5110A, New York, EUA) durante 24 h.

Selección de los aislados

A partir de las 70 muestras de agua de garrafón colectadas y analizadas, 29 resultaron con-

taminadas. De los 29 garrafones con poblaciones bacteriológicas, se obtuvieron 56 cepas (en 27 garrafones se colectaron 2 cepas en cada uno, por lo que sumaron 54; y en 2 garrafones se colectó 1 cepa por garrafón, obteniendo 2 cepas). El criterio de selección fue la morfología colonial, se buscó que esta fuese idéntica al interior de cada muestra.

Identificación bioquímica

Las colonias presuntivas aisladas (56) se examinaron mediante tinción de Gram. Posteriormente, se realizó una identificación bioquímica a través de la prueba estándar (Farkas y col., 2012) y el kit de identificación TM Identification Systems Enteric/Nonfermenter (BBL Crystal) (Nath y col., 2020). Los 21 aislados identificados de acuerdo con la NOM-127-SSA1-202 como *P. aeruginosa* carecieron de un perfil bioquímico preciso, 14 cepas presentaron un perfil bioquímico similar a *P. aeruginosa*, en un 70 %, y 7 aislados mostraron un perfil ambiguo (40 % de semejanza). Las 25 colonias de coliformes totales se clasificaron, de acuerdo con su perfil bioquímico, como *Enterobacter cloacae* (13) y *Serratia marcescens* (12), pero de estas últimas, 3 colonias presentaron un perfil ambiguo (35 % de semejanza) para coliformes totales. A los 10 aislados (7 de mayor ambigüedad para *P. aeruginosa* y 3 para coliformes, específicamente *Serratia marcescens*) se les realizó la amplificación parcial del gen 16S rRNA, para la confirmación del género bacteriano. El aislado *Escherichia* sp M3 se utilizó como control positivo para *Escherichia coli*, ya que presentó un perfil bioquímico bien definido.

Identificación molecular del gen 16S rRNA

La identificación molecular de las muestras que fueron ambiguas en el género bacteriano (n = 10) se realizó mediante el análisis de secuencias parciales del gen 16S rRNA. El ADN se extrajo usando un kit de purificación de ADN genómico (Promega Co., EE. UU.). Los oligonucleótidos conservados empleados para la reacción de PCR fueron fD1 (5'-AGAGTTT GATCCTGGCTCAG-3') y rD1 (5AAGGAGGTG ATCCAGCC-3'). Para ello, se utilizó el reactivo Master MIX (Invitrogen), que amplifica un frag-

mento de 1500 pb, que corresponde al 90 % de la longitud del gen 16S rDNA, en un termociclador (Bio-Rad, T100, Berkeley, Estados Unidos de América) (Chenia y Duma, 2017). La amplificación por PCR se llevó a cabo de la siguiente forma: desnaturalización inicial a 94 °C durante 5 min, seguida de 30 ciclos de desnaturalización a 94 °C durante 30 s, alineamiento a 59 °C durante 30 s y extensión a 72 °C durante 1 min. Se realizó una etapa de extensión de 10 min a 72 °C después del último ciclo, para asegurar la síntesis completa del fragmento. La amplificación del gen se verificó con una electroforesis en gel de agarosa al 1 %, y la tinción se realizó con bromuro de etidio al 0.5 %. El marcador de peso molecular empleado para verificar el tamaño del amplificado fue de 1 Kb (Thermo Scientific). El gel fue visualizado bajo luz ultravioleta con un fotodocumentador (Witeg, WGD-30, Korea). Los genes purificados se enviaron a secuenciar a la Unidad de Síntesis y Secuenciación de DNA-UNAM.

Las secuencias parciales se analizaron con el programa informático denominado herramienta de búsqueda de alineación local básica (BLAST, por sus siglas en inglés: Basic Local Alignment Search Tool) del Centro Nacional para la Información Biotecnológica, que es parte de la Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos (NCBI, por sus siglas en inglés: National Center for Biotechnology Information). El programa BLAST permitió identificar el género bacteriano de los aislados, mediante la búsqueda de secuencias similares en la base de datos internacional del GenBank del NCBI. Los parámetros que indicaron que los aislados pertenecían a un determinado género fueron el porcentaje de identidad superior al 97 % y un valor de E igual a 0 (Aziz y col., 2017; Nath y col., 2020). Las secuencias parciales de los 7 aislados de *Pseudomonas* se alinearon con las secuencias de otros organismos de este mismo género. Los 3 aislados inicialmente identificados como coliformes (*Serratia marcescens*) se alinearon con especies de *Aeromonas*. Lo anterior de acuerdo con las secuencias disponibles en la base de datos del GenBank. Las

secuencias utilizadas correspondieron a los siguientes números: MF716716.1, MK652096.1 y KRO06248.1 para *Aeromonas*; MH211267.1, KJ756337.1, MH304251.1, MG833399.1 y AF390747.1 para las diferentes especies de *Pseudomonas*; y para *Escherichia* sp MH465145.1.

Las secuencias parciales de los 10 aislados y las especies relacionadas filogenéticamente fueron analizadas por alineamientos múltiples de secuencia, para esta determinación se utilizó el programa CLUSTAL-X, y la historia evolutiva se especificó con la construcción de un árbol filogenético y se aplicó el algoritmo de máxima verosimilitud del programa MEGA (versión 7).

Ensayo de cristal violeta para biopelícula en microplacas

La formación de biopelícula en microplacas se cuantificó mediante la tinción cristal violeta reportada por Elhariry y col. (2012) y Huerta y col. (2016). Los cultivos se dejaron crecer durante una noche (18 h) y se diluyeron en una proporción de 1:1000 en caldo glicerol fosfato (GP), las diluciones se transfirieron a microplacas de 96 pozos, a un volumen de 200 µL por pozo. Posteriormente, la placa se mantuvo durante 48 h a 37 °C sin agitación, en una incubadora (Labnet, modelo I5110A, New York, EUA). Los pozos fueron aspirados y lavados con agua destilada y se secaron al aire. Las biopelículas se tiñeron durante 15 min con 250 µL de solución de cristal violeta al 1 %. Los pozos se lavaron minuciosamente con agua corriente y se dejaron secar al aire. La cuantificación del cristal violeta se realizó solubilizando al cristal violeta con etanol durante 30 min y se midió la absorbancia a la densidad óptica de 620 nm, en un espectrofotómetro de ELISA (ThermoLab, LabX Mutiskan, Ontario, Canada). La formación de la biopelícula fue normalizada con la concentración de proteína en función de la densidad óptica (DO/mg de proteína), que fue medida con el espectrofotómetro (DLAB, SP_UV-1100, Beijing, China). Cada determinación se realizó con 9 repeticiones. La cepa control utilizada fue

Pseudomonas putida KT2440, cepa formadora de biopelícula, característica previamente documentada (Liu y col., 2017).

Se establecieron tres niveles de producción de biopelícula utilizando los criterios de clasificación de Basson y col. (2008): nivel bajo ≥ 0.2 y ≤ 0.3 , nivel moderado > 0.3 y < 0.8 , nivel alto > 0.8 de DO/mg de proteína.

Prueba de resistencia a antibióticos

Se empleó el método de difusión en disco para 12 agentes antimicrobianos (Multibac I.D): Nitrofurantoína (NF 300 μg), Sulfametoxazol (SXT 25 μg), Cloranfenicol (CL 30 μg), Norfloxacina (NOF 10 μg), Ciprofloxacina (CPF 5 μg), Netilmicina (NET 30 μg), Cefotaxima (CFX 30 μg), Cefalotina (CF 30 μg), Gentamicina (GE 10 μg), Carbenicilina (CB 100 μg), Amikacina (AK 30 μg) y Ampicilina (AM 10 μg). Las placas se mantuvieron durante 48 h a 37 °C en incubadora Labnet (modelo I5110A, New York, EUA), siguiendo las técnicas descritas por Mohamed y col. (2020); Nowrotek y col. (2021). La sensibilidad fue interpretada de acuerdo con los estándares del Instituto de Normas de Laboratorio Clínico (Nowrotek y col., 2021). La cepa control utilizada fue *Pseudomonas putida* KT2440 por su multirresistencia a antibióticos (Baltrus y col., 2021).

Detección de hemólisis

Se analizó la presencia del factor de virulencia de reacción hemolítica de eritrocitos. Se utilizó la base del agar sangre (Bioxon) más el 5 % de eritrocitos de conejo. Los aislados bacterianos fueron sembrados y se mantuvieron a 37 °C en incubadora Labnet (modelo I5110A, New York, EUA), durante 24 h a 48 h (Skwor y col., 2014; Nath y col., 2020). La cepa control utilizada fue *Pseudomonas putida* KT2440, carente de capacidad hemolítica, característica que se evidenció en este estudio. El tipo de hemólisis presente en las cepas se caracterizó como α (parcial), β (completa), o γ (ausente).

Criterios de patogenicidad

Los criterios establecidos en este experimento para designar a la bacteria como patógeno

oportunista fueron: presentar dos factores de virulencia, 1) producir biopelícula en alta concentración y 2) mostrar actividad hemolítica; aunado a la ventaja de la multirresistencia, resistente al menos a un antibiótico de tres o más familias diferentes. En contraste, una bacteria se considera no patógena cuando presenta un solo factor de virulencia y no posee multirresistencia a antibióticos.

Datos y análisis estadístico

La calidad bacteriológica del agua se examinó siguiendo los métodos de las Normas Oficiales Mexicanas y de la OMS (2017). Se calcularon la media aritmética y el error estándar. Las mediciones de incidencia de contaminación se describieron mediante frecuencias relativas. La incidencia de los indicadores bacteriológicos fue analizada por región mediante una comparación de Chi-cuadrado, teniendo como variables categóricas a las filas (x): las zonas NP y SO y, columnas (y): el tipo de indicador microbiológico, agrupados en 3 categorías: 1) coliformes totales, 2) coliformes fecales más *Enterococcus faecalis* y 3) *Pseudomonas* sp). La biopelícula producida por las 10 cepas bacterianas y el grupo control, fue comparado mediante un análisis de varianza (ANOVA) paramétrico de una vía. Los datos fueron transformados con la ecuación: $\log(x) + 2.4036$, para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se hicieron las comparaciones *a posteriori* a través de la prueba de diferencias honestamente significativas (HSD, por sus siglas en inglés: Honestly Significant Difference) de Tukey-Kramer (Software JMP 10.0.0, Copyright© 2012 SAS Institute Inc.).

RESULTADOS

Indicadores bacteriológicos

El análisis bacteriológico de las 70 muestras de agua indicó que 29 de ellas (41.4 %) estuvieron contaminadas y no cumplieron con la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021), así como las normas internacionales (Tabla 1), en tanto que 41 (58.6 %) de ellas si cumplieron con la calidad microbiológica adecuada. De las 70 muestras (Tablas 1 y 2), únicamente

■ **Tabla 1.** Muestras de agua de garrafón provenientes de pequeñas plantas purificadoras con indicadores bacteriológicos por encima de las recomendaciones de la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021).
 Table 1. Samples of jug water from small purification establishments with bacteriological indicators above the recommendations of NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021).

Microorganismos indicadores	*Muestras con contaminación bacteriana		**Plantas purificadoras que presentaron agua con contaminación bacteriana	
	(n)	(%)	(n)	(%)
Bacterias coliformes totales	25	35.7	10	40
Bacterias coliformes fecales	4	5.7	4	16
<i>Enterococcus faecalis</i>	6	8.6	5	20
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ***	21	30.0	10	40

*Total de muestras (n = 70), total de muestra contaminadas (n = 29); **Plantas purificadoras (n = 25), plantas purificadoras contaminadas (n = 10). Se empleó el análisis de frecuencia relativas. ***De acuerdo con el método oficial de la NOM-127-SSA1-2021.

■ **Tabla 2.** Frecuencia de indicadores microbiológicos en muestras de agua contaminadas, procedentes de dos regiones de la ciudad de Puebla.

Table 2. Frequency of microbiological indicators in contaminated water samples from two regions of the city of Puebla.

Indicadores microbiológicos*			
Regiones	Coliformes totales	Coliformes fecales y <i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ***
Norponiente (NP)	13	7 (3 y 4)**	12
Suroriente (SO)	12	3 (1 y 2)**	9

*La prueba de Chi-cuadrado no indicó diferencias estadísticamente significativas (P < 0.05). Valores obtenidos de 56 aislados provenientes de 29 muestras contaminadas. **Se indica el número de coliformes fecales y *Enterococcus faecalis*, respectivamente. ***De acuerdo con el método oficial de la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021).

25 (35.7 %) presentaron contaminación por coliformes totales y 4 (5.7 %) reportaron bacterias coliformes fecales, mientras que 21 (30 %) registraron *Pseudomonas aeruginosa* y 6 (8.6 %) *E. faecalis*. Los garrafones de agua contaminados con bacterias coliformes totales y *Pseudomonas* se reportaron en 40 % (n = 10) de las 25 plantas purificadoras evaluadas; 4 de estas 10 plantas presentaron bacterias coliformes fecales y 5 *E. faecalis* (Tabla 1). El análisis de Chi-cuadrado indicó que no hubo diferencia significativa (P < 0.05) entre el tipo de indicador microbiológico detectado para cada zona de la ciudad (NP y SO) (Tabla 2).

Las muestras de agua presentaron una población bacteriana de coliformes totales entre

10² NMP/100 mL a 10⁶ NMP/100 mL, mientras que para coliformes fecales la población bacteriana fluctuó entre 10⁴ NMP/100 mL a 10⁵ NMP/100 mL. Las muestras con presencia de *E. faecalis* registraron poblaciones entre 10³ NMP/100 mL a 10⁶ NMP/100 mL; mientras que las poblaciones de *P. aeruginosa* se encontraron en el orden de 10⁴ NMP/100 mL a 10⁶ NMP/100 mL (Tabla 3).

Identificación bioquímica

En el caso *P. aeruginosa*, se reportaron 21 organismos presentes en las muestras contaminadas mediante la técnica indicada por la NOM-201-SSA1-2015 (DOF, 2015b) (Tabla 4). La norma establece como prueba positiva para esta especie la producción de sideróforos en el medio

■ **Tabla 3. Identificación cuantitativa de los indicadores bacteriológicos en las muestras de agua de garrafón provenientes de pequeñas plantas purificadoras que no cumplen con la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021).**

Table 3. Quantitative identification of bacteriological indicators in jug water samples from small purification establishments that do not comply with NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021).

Microorganismos indicadores	Límite permisible*	Cuento de población bacteriana en las muestras UFC/100 mL				
		1.1 (n)	10 ² a 10 ³ (n)	10 ³ a 10 ⁴ (n)	10 ⁴ a 10 ⁵ (n)	10 ⁵ a 10 ⁶ (n)
Bacterias coliformes totales	< 1.1 NMP	0	2	2	19	2
Bacterias coliformes fecales	0 NMP	0	0	0	4	0
<i>Enterococcus faecalis</i>	< 1.1 NMP	0	0	3	2	1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> **	< 1.1 NMP	0	0	0	17	4

*Límites bacteriológicos permisibles de acuerdo con la OMS (2017) y la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021); plantas purificadoras (n = 25), muestras de agua (n = 70); UFC: unidades formadoras de colonias. Se presenta la media de tres experimentos independientes. La n representa las muestras positivas con la correspondiente población de cada indicador bacteriológico. **De acuerdo con el método oficial de la NOM-127-SSA1-2021.

■ **Tabla 4. Identificación bioquímica estándar de los organismos presentes en las muestras positivas de agua de garrafón provenientes de pequeñas plantas purificadoras.**

Table 4. Standard biochemical identification of bacterial genera in positive samples of jug water from small purification establishments.

Género bacteriano	Muestras positivas	
	(n)	(%)
<i>Enterobacter cloacae</i> (coliforme total)	13	44.8
<i>Serratia marcescens</i> (coliforme total)	12**	41.4
<i>Enterococcus faecalis</i>	6	20.7
<i>Pseudomonas</i> sp	21*	72.4
<i>Escherichia coli</i> (coliforme fecal)	4	13.8

Se analizaron 56 aislados provenientes de las 29 muestras positivas a contaminación. *7 aislados de *Pseudomonas* y **3 aislados de *Serratia* presentaron incongruencias en la identificación del género bacteriano por bioquímica estándar.

selectivo agar leche, visualizados como pigmentos fluorescentes amarillo-verdoso. Sin embargo, al realizar la identificación bioquímica estándar para dicha bacteria, se detectaron discrepancias en las pruebas enzimáticas para la degradación de la fuente de carbono y de aminoácidos, así como, la producción de otros sideróforos, que dificultaron su confirmación. Se encontraron 7 cepas que mostraron eleva-

da inconsistencia en las pruebas bioquímicas confirmatorias para *Pseudomonas aeruginosa*.

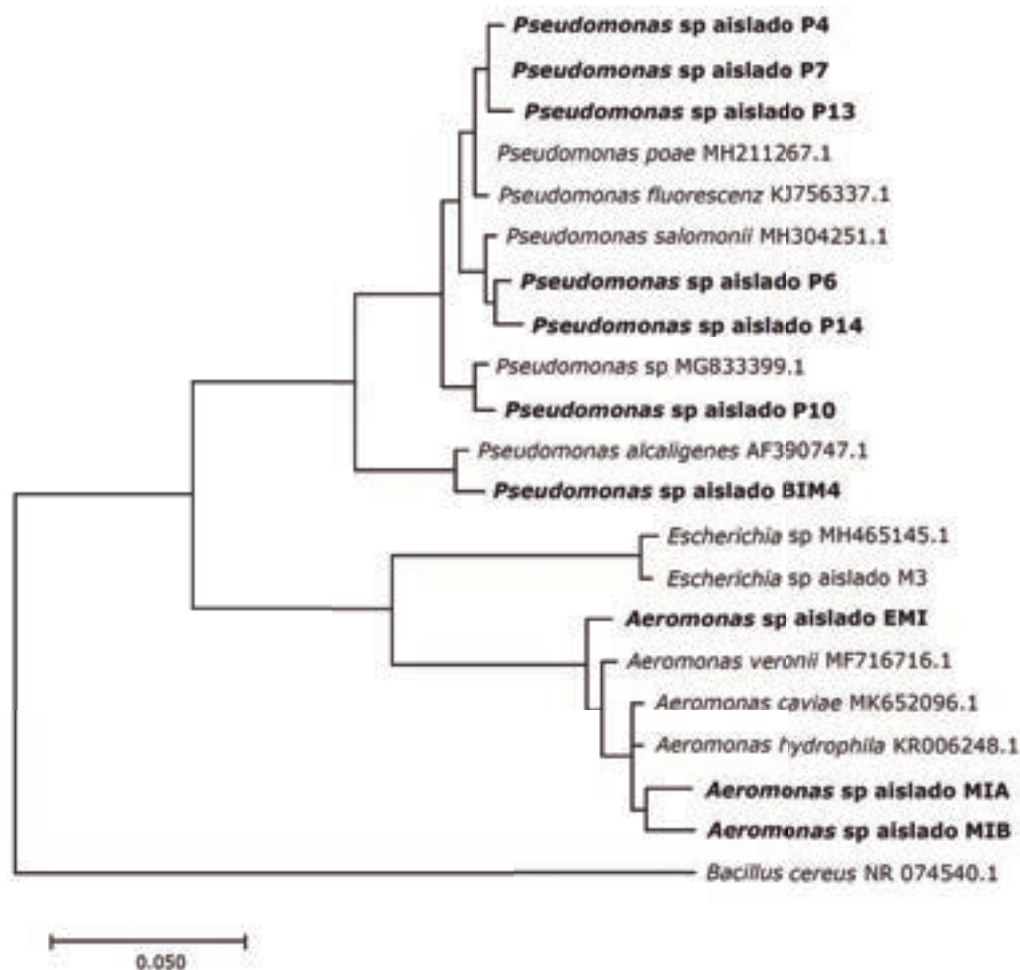
Los 56 aislados obtenidos de las 29 muestras de agua fueron identificados mediante pruebas microbiológicas y reportados en la Tabla 4. Los organismos *E. cloacae*, *E. faecalis* y *E. coli* fueron corroboradas bioquímicamente. En el caso de *S. marcescens* (coliformes totales), 3 cepas

no pudieron ser confirmadas, ya que mostraron variaciones en la degradación de la fuente de carbono y aminoácidos.

Análisis molecular

El análisis molecular identificó que los aislados inicialmente identificados como *P. aeruginosa*, mediante la NOM-201-SSA1-2015, si pertenecen al género *Pseudomonas*, pero se sugiere

que están relacionados filogenéticamente con las especies *P. alcaligenes*, *P. salomonii*, *P. fluorescens* y *P. poae* (Figura 1). Por otra parte, los aislados identificados inicialmente como *S. marcescens* (aislados EMI, MIA y MIB) en realidad forman parte del género *Aeromonas* y presentan relación filogenética con las especies *Aeromonas veronii*, *Aeromonas caviae* y *Aeromonas hydrophila*.



■ Figura 1. Árbol filogenético basado en el análisis de la secuencia parcial del gen del 16S rRNA, de 7 aislados de *Pseudomonas* y 3 aislados de *Aeromonas* (en negritas) que muestra la relación filogenética con los taxones cercanos.

Figure 1. Phylogenetic tree based on partial sequence analysis of the 16S rRNA gene of 7 *Pseudomonas* isolates and 3 *Aeromonas* isolates (in bold) showing the phylogenetic relationship with nearest taxa.

Según un análisis de alineamiento realizado con BLAST. El aislado *Escherichia* sp M3 se utilizó como control positivo. La historia evolutiva de las secuencias se construyó con el algoritmo de estimación de máxima verosimilitud (EMV). La longitud de las secuencias alineadas es de 800 pb. Los números de acceso se indican junto a los nombres de los aislados. La barra de escala representa los valores de distancia. El análisis se realizó con MEGA versión 7.

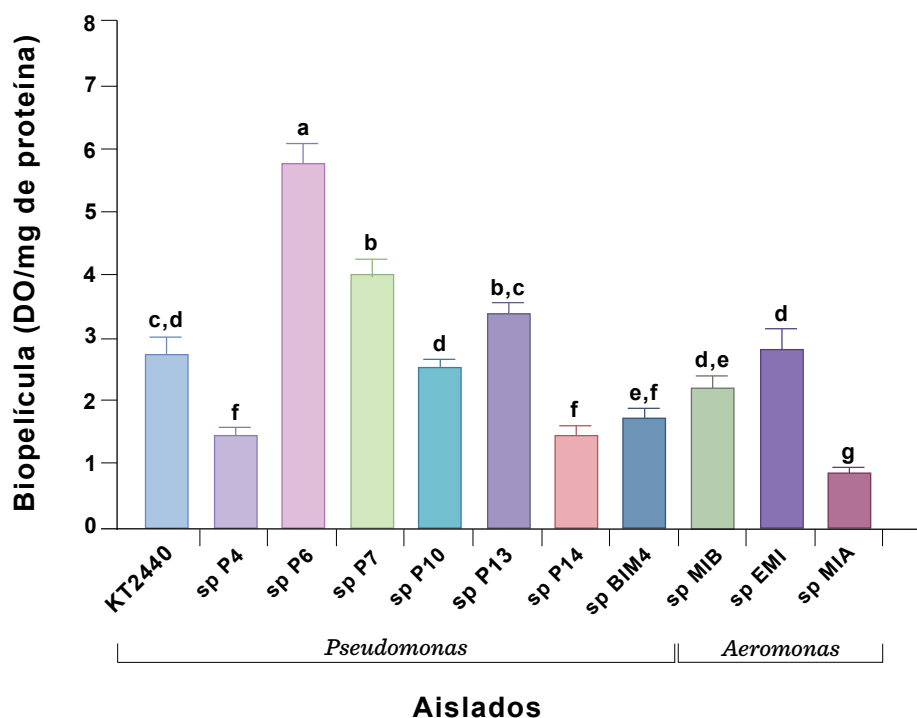
Cuantificación de biopelícula

La presencia y la cuantificación de la biopelícula se le determinó a los 10 aislados confirmados por estudios moleculares y a la cepa control *Pseudomonas putida* KT2440; todos los aislados presentaron producción de biopelícula. En la comparación de la producción de biopelícula entre los aislados se detectó diferencia entre los aislados ($F_{0.05, 10,87} = 109.5$, $P < 0.0001$). La comparación a posteriori de Tukey-Kramer indicó que el aislado *Pseudomonas* sp P6 presentó significativamente los niveles más elevados de producción de biopelícula con un promedio de 5.87 (DO)/mg de proteína, y el aislado de *Aeromonas* sp MIA presentó los niveles significativamente más bajos ($P < 0.001$) con 0.90 (DO)/mg de proteína (Figura 2).

Resistencia a antibióticos y hemólisis

Las cepas con resistencia a un mayor número de antibióticos fueron el control *P. putida* KT2440 y el aislado *Pseudomonas* sp P14, que son resistentes a 9 y 8 antibióticos, respectivamente (Tablas 5 y 6). Los aislados del género *Pseudomonas* son resistentes a norfloxacina, excepto la cepa control KT2440 y el aislado de *Aeromonas* sp MIA.

Los aislados de *Pseudomonas* sp P14 y *Aeromonas* sp EMI son bacterias multirresistentes, así como la cepa control *P. putida* KT2440 (Tabla 6), en contraste, los aislados *Pseudomonas* sp BIM4 y *Pseudomonas* sp P4 presentaron la mayor susceptibilidad a antibióticos (Tabla 5). La tendencia de la mayoría de los aislados de *Pseudomonas* sp mostraron re-



■ Figura 2. Cuantificación de biopelícula de *Pseudomonas* y *Aeromonas* por la técnica de microplaca mediante la tinción con cristal violeta (Huerta y col., 2016).

Figure 2. Quantification of the biofilm of *Pseudomonas* and *Aeromonas* isolates by the microplate technique using crystal violet staining (Huerta y col., 2016).

Se muestra la media y el error estándar de las nueve réplicas. El análisis de varianza de una vía (ANOVA) señala diferencias estadísticas significativas en al menos uno de los grupos ($F = 109.5$, $P < 0.0001$). Las letras diferentes representan una diferencia estadísticamente significativa. La cepa *Pseudomonas putida* KT2440 es el control positivo.

■ Tabla 5. Perfil de resistencia a antibióticos de las cepas bacterianas aisladas en las muestras de agua de garrafón provenientes de pequeñas plantas purificadoras.

Table 5. Profile of resistance to antibiotics of the bacterial strains isolated in the samples of jug water from small purification establishments.

Aislado	Antibióticos	Clasificación
<i>Pseudomonas putida</i> KT2440*	<i>Nitrofurantoína</i>	Nitrofuranos
	<i>Sulfametoxazol</i>	Sulfonamidas
	<i>Ciprofloxacina</i>	Quinolona 2ª generación
	<i>Cefotaxima</i> ⁺ , <i>Cefalotina</i> [∞]	Betalactámicos/ Cefalosporinas ⁺ 3ª generación, [∞] 1ª generación
	<i>Gentamicina</i>	Aminoglucósidos
	<i>Carbenicilina</i> , <i>Ampicilina</i>	Betalactámicos/ Penicilinas
	<i>Cloranfenicol</i>	Fenicoles
<i>Pseudomonas</i> sp P4	Norfloxacina, Ciprofloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Gentamicina	Aminoglucósidos
<i>Pseudomonas</i> sp P6	Norfloxacina, Ciprofloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Netilmicina, Gentamicina, Amikacina	Aminoglucósidos
<i>Pseudomonas</i> sp P7	Norfloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Netilmicina, Gentamicina, Amikacina	Aminoglucósidos
<i>Pseudomonas</i> sp P10	Norfloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Netilmicina, Gentamicina, Amikacina	Aminoglucósidos
<i>Pseudomonas</i> sp P13	Norfloxacina, Ciprofloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Netilmicina, Gentamicina, Amikacina	Aminoglucósidos
<i>Pseudomonas</i> sp P14	Sulfametoxazol	Sulfonamidas
	Norfloxacina, Ciprofloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Netilmicina, Gentamicina, Amikacina	Aminoglucósidos
	Cefotaxima	Betalactámicos / Cefalosporinas 3ª generación
	Carbenicilina	Betalactámicos/ Penicilinas
<i>Pseudomonas</i> sp BIM4	Norfloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Netilmicina, Amikacina	Aminoglucósidos
<i>Aeromonas</i> sp MIB	Cefotaxima	Betalactámicos / Cefalosporinas 3ª generación
<i>Aeromonas</i> sp EMI	Nitrofurantoína	Nitrofuranos
	Norfloxacina, Ciprofloxacina	Quinolonas 2ª generación
	Cefotaxima	Betalactámicos/ Cefalosporinas 3ª generación
	Gentamicina, Amikacina	Aminoglucósidos
	Ampicilina	Betalactámicos/ Penicilinas
<i>Aeromonas</i> sp MIA	Cefalotina	Betalactámicos/ Cefalosporinas 1ª generación
	Carbenicilina, Ampicilina	Betalactámicos/ Penicilinas

Para la determinación del perfil de resistencia se utilizó el método de difusión en disco para 12 agentes antimicrobianos. La hemólisis se evidenció por la capacidad de las bacterias de lisar eritrocitos utilizando el agar sangre. *Cepa control *Pseudomonas putida* KT2440.

■ Tabla 6. Producción de biopelícula, resistencia a antibióticos y grado de hemólisis de los 10 aislados de agua contaminada procedentes de pequeñas purificadoras.

Table 6. Production of biofilm, resistance to antibiotics and degree of hemolysis in the 10 isolates of contaminated water from small purification establishments.

Aislado	Producción de biopelícula	Resistencia a antibióticos	Hemólisis	*Fenotipo de patogenicidad
<i>Pseudomonas putida</i> KT2440*	Intermedia	Multirresistente	γ (sin hemólisis)	No patógeno
<i>Pseudomonas</i> sp P4	Intermedia	Resistente a dos familias	α (hemólisis parcial)	No patógeno
<i>Pseudomonas</i> sp P6	Alta	Resistente a dos familias	α (hemólisis parcial)	No patógeno
<i>Pseudomonas</i> sp P7	Alta	Resistente a dos familias	α (hemólisis parcial)	No patógeno
<i>Pseudomonas</i> sp P10	Intermedia	Resistente a dos familias	γ (sin hemólisis)	No patógeno
<i>Pseudomonas</i> sp P13	Alta	Resistente a dos familias	β (hemólisis completa)	No patógeno
<i>Pseudomonas</i> sp P14	Intermedia	Multirresistente	γ (sin hemólisis)	No patógeno
<i>Pseudomonas</i> sp BIM4	Intermedia	Resistente a dos familias	γ (sin hemólisis)	No patógeno
<i>Aeromonas</i> sp MIB	Intermedia	Resistente a una familia	γ (sin hemólisis)	No patógeno
<i>Aeromonas</i> sp EMI	Alta	Multirresistente	γ (sin hemólisis)	No patógeno
<i>Aeromonas</i> sp MIA	Baja	Resistente a una familia	γ (sin hemólisis)	No patógeno

*En este estudio se establece el fenotipo de patógeno oportunista y no patógeno de los aislados caracterizados molecularmente. 1) Patógeno oportunista, presenta dos factores de virulencia: producción de biopelícula alta y hemólisis; además, posee la ventaja de ser multirresistente. 2) No patógeno, presenta un único factor de virulencia: producción de biopelícula o hemólisis.

sistencia a dos familias de antibióticos, y los tres aislados de *Aeromonas* MIB y MIA fueron resistentes a betalactámicos.

Los aislados del género *Pseudomonas* sp P4, P6 y P7 presentaron hemólisis parcial. La cepa KT2440 (control), P10, P14 y BIM4 no presentaron hemólisis y solo el aislado de *Pseudomonas* sp P13 presentó hemólisis completa. En el caso del género *Aeromonas*, ninguno aislado presentó hemólisis (Tabla 6).

En este estudio, los 10 aislados caracterizados molecularmente fueron clasificados como no patógenos, dado que se requieren al menos 2 factores de virulencia y la multirresistencia a antibióticos para considerarlos como patógenos oportunistas (Tabla 6).

DISCUSIÓN

El 40 % de las pequeñas plantas purificadoras de la ciudad de Puebla, México, comercializan agua contaminada con coliformes fecales,

coliformes totales, *E. faecalis* y *Pseudomonas* sp (cepas presuntivas *P. aeruginosa*) (Tablas 1 y 2), de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2021). Existen pocos estudios que analizan la presencia de indicadores bacteriológicos en el agua de garrafón proveniente de pequeñas plantas purificadoras. Abada y col. (2019) y Cerna-Cortes y col. (2019) determinaron la calidad bacteriológica del agua obtenida de pequeños establecimientos dedicados a su purificación, de Arabia Saudita y de la Ciudad de México, respectivamente, y encontraron bacterias coliformes totales en más del 60 % de sus muestras, y entre el 3 % y el 23 % de las muestras presentaron coliformes fecales, los cuales concuerdan con lo aquí reportado.

En el presente estudio, se registraron seis muestras de agua con contaminación por *E. faecalis*. Algunas investigaciones demostraron que esta bacteria se caracteriza por su capacidad de transferir genes que codifican para la resistencia a antimicrobianos (Chacón y col., 2018; Cho y col., 2020), a pesar de que no cuenta con un potencial alto de virulencia (Enayati y col., 2015).

Existen reportes que establecen la presencia de *Enterococcus* sp en muestras de agua del grifo de Dharan, Nepal (Pant y col., 2016); por lo anterior, el monitoreo de esta bacteria es importante, ya que corrobora la presencia de contaminación fecal.

El análisis de Chi-cuadrado indicó la falta de asociación entre las zonas NP y SO con el indicador bacteriológico, mostrando similitud en la presencia de las bacterias contaminantes en ambas zonas. En el estudio de Tyagi y col. (2015) se realizó la comparación de coliformes fecales y totales en dos regiones del estado de Uttarakhand en la India, Garhwal y Kumaun; encontrando un mayor grado de contaminación en la región Kumaun. No obstante que la investigación de Tyagi se llevó a cabo en agua proveniente de cuerpos de agua naturales. Otros trabajos comparan los marcadores microbiológicos en diferentes fuentes, como tinacos municipales y botellas de agua, sin con-

siderar el origen por zonas (Pant y col., 2016). Las investigaciones que contrastan el agua proveniente de agua embotellada por regiones son escasas en la literatura y este estudio contribuye a establecer la existencia de indicadores microbiológicos por zonas.

Las muestras contaminadas presentaron varias especies de *Pseudomonas* distintas a *P. aeruginosa*, además de *Aeromonas* (Figura 1). Asimismo, solo 2 organismos aislados, más el control, mostraron resistencia a más de dos familias de antibióticos, por lo que, se consideran bacterias multirresistentes; además produjeron biopelícula.

Los resultados indicaron que las muestras de agua contaminadas presentaron hasta 100 000 veces más bacterias coliformes totales (Tabla 3) que lo estipulado en las normas nacionales e internacionales. Los coliformes totales (*Klebsiella*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Serratia* y *Proteus*) son indicadores bacteriológicos que están estrechamente relacionados con la contaminación ambiental de suelos, ríos, superficies foliares de plantas y aguas residuales (Wu y col., 2011). Además, un porcentaje pequeño de las muestras de agua contaminada con bacterias coliformes totales (5.7 %), reportó altas poblaciones de *E. coli* (Tabla 3). Dicha bacteria es representativa de los coliformes fecales (DOF, 2015b), lo que sugiere la existencia de contaminación fecal en el agua (Daley y col., 2018). La presencia de *E. coli* está estrechamente relacionada con el aumento de infecciones gastrointestinales en la población (Saxena y col., 2015) por lo que, no debería estar en el agua para consumo humano (Chacón y col., 2018).

Dentro de los indicadores bacteriológicos considerados estratégicos al determinar la calidad de agua para consumo humano, está el análisis de *P. aeruginosa*. El género *Pseudomonas* es ubicuo en la naturaleza y se encuentra comúnmente en la microflora autóctona de las aguas, incluso en aquellas con bajos niveles de nutrientes (Camiade y col., 2020; Nordstedt y col., 2020).

Los resultados de este estudio señalaron que 21 de las muestras de agua embotellada contaminadas con coliformes totales presentaron poblaciones de *Pseudomonas* sp, que superaron en 100 000 veces los límites permisibles establecidos por las normas oficiales. Además, los resultados sugieren que el agua embotellada puede ser un vector de transmisión del género *Pseudomonas* que podrían causar enfermedades en grupos vulnerables y la descomposición de alimentos (Wu y col., 2011).

La versatilidad metabólica que presentan el género *Pseudomonas* y el grupo de las Enterobacterias, en algunas ocasiones, hace variar la producción de metabolitos secundarios; por lo tanto, el perfil bioquímico de estas especies, no siempre coincide con lo establecido en la literatura (Sudan y col., 2018); por ello, se realizaron análisis moleculares para corroborar la identidad del género de los microorganismos aislados.

El análisis filogenético de los 7 aislados de *Pseudomonas* mostró cercanía con las especies *P. alcaligenes*, *P. salomonii*, *P. fluorescens* y *P. poae*. Al respecto, Woodring y Farrell (2019) reportaron que *P. fluorescens* y *P. poae* tienen el potencial genético de ser patógenos oportunistas. Por otra parte, Sala-Comomera y col. (2016), aislaron a otras especies del género *Pseudomonas*, sin aislar a *P. aeruginosa*, y concluyeron que la comunidad bacteriana identificada en el agua purificada por ósmosis reversa no representa un riesgo para la salud (Sacchetti y col., 2015). Es importante, por lo tanto, determinar si las especies de *Pseudomonas*, aisladas en el presente estudio, presentaban patogenicidad. Otro microorganismo de interés para la salud pública es *Aeromonas* sp, que se aísla de forma ubicua de muestras de carne, leche, productos lácteos y agua (Vávrová y col., 2015; Stratev y Odeyemi, 2016). En el presente trabajo, se detectó la existencia de cepas de 3 *Aeromonas*, por lo que se consideró el determinar si mostraban patogenicidad.

En este estudio se identificaron aislados muy cercanamente relacionados con las especies:

A. hydrophila, *A. caviae* y *A. veronii*, que estaban presentes en las muestras contaminadas con coliformes totales. Las características bioquímicas de las especies del género *Aeromonas* sp son similares, lo que dificulta la caracterización y diferenciación fenotípica (Vávrová y col., 2015). *Aeromonas hydrophila* y *A. caviae* son patógenos acuáticos oportunistas que causan infecciones gastrointestinales (Horn y col., 2016) y septicemia en humanos y animales (Stratev y Odeyemi, 2016; Zhou y col., 2019). Los estudios que analizan el género *Aeromonas* en agua embotellada para consumo humano son prácticamente inexistentes. Sin embargo, este género se ha identificado en el agua potable y tiene la capacidad de producir enterotoxinas (Farkas y col., 2012; Miyagi y col., 2017) y su presencia se ha asociado con diarrea infantil (Aziz y col., 2017).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, ha colocado al género *Aeromonas* en la lista de especies candidatas a contaminantes, por lo que la OMS ha propuesto el uso de esta bacteria como marcador de riesgo en los sistemas de distribución de agua (OMS, 2017). Cabe mencionar que, ni el género *Aeromonas*, ni otras especies distintas a *P. aeruginosa*, están reportadas en las normas oficiales como indicadores bacteriológicos del agua para consumo humano; no obstante, han sido catalogadas como bacterias oportunistas que pueden ocasionar daños en pacientes inmunocomprometidos (Wu y col., 2011; Govender y col., 2021).

En este estudio, se analizó la producción de biopelícula en los 4 géneros de *Pseudomonas* y 3 de *Aeromonas*; ambas especies en general mostraron niveles altos e intermedios (Figura 2 y Tabla 6). La biopelícula favorece la colonización de ambos géneros a su hábitat, independientemente de si se trata de cepas patógenas o no patógenas (Maes y col., 2020) y, constituye un ambiente idóneo para la transferencia horizontal de genes de resistencia a antibióticos (Mulamattathil y col., 2014). La cantidad de biopelícula depende de varios factores, y los más reportados son la temperatu-

ra, aireación, disponibilidad de nutrientes y la especie; por ejemplo, Chenia y Duma (2017) observaron que en los aislados de *Aeromonas* procedentes de pescados y agua de mar, la cantidad de biopelícula producida a 30 °C depende de la especie. De forma similar, Elhariry y col. (2012) aislaron a *Pseudomonas* a partir de agua potable, la cual produjo biopelícula de forma moderada a 30 °C. Esta tendencia también se observó en el presente estudio, con los aislados de *Aeromonas* y *Pseudomonas*, lo que corrobora que la cantidad de biopelícula depende de la especie.

Pseudomonas se caracteriza por ser multirresistente a los antibióticos (Horn y col., 2016; Camiade y col., 2020); sin embargo, los resultados de este estudio muestran que la mayoría de los aislados de *Pseudomonas* son resistentes únicamente a dos grupos de antibióticos: Quinolonas (norfloxacina y ciprofloxacina) y Aminoglucósidos (gentamicina, amikacina y netilmicina), por lo que no se podrían considerar como bacterias multirresistentes. Solo dos excepciones mostraron multirresistencia a antibióticos: un aislado de *Pseudomonas* (P14) y un aislado de *Aeromonas* (EMI) (Tabla 6). El trabajo de Sala-Comorera y col. (2016) señaló que, el 95 % de los aislados en agua purificada fueron resistentes a cloranfenicol, aztreonam y cefotaxima.

Camiade y col. (2020) reportaron que los aislados provenientes de restos fecales de humanos y ganado manifestaron resistencia a betalactámicos (penicilinas, cefalosporinas y monobactámicos), fenicoles (cloranfenicol) y sulfonamidas (trimetoprima y sulfametoxazol), pero fueron sensibles a quinolonas y aminoglucósidos, contrario a lo que se reporta en esta investigación. La tendencia observada en la Tabla 5 es semejante al patrón de resistencia a cefalosporinas, cefixima, trimetoprima y sulfametoxazol, en aislados de aguas superficiales y residuales reportado por Govender y col. (2021).

El aislado de *Aeromonas* (EMI) presentó multirresistencia a los antibióticos (gentamicina, ciprofloxacina y betalactámicos), semejante al

perfil de resistencia de los aislados reportados en heces fecales y alimentos por Kamal y Abdel-Latef (2015) y en el 51.6 % de los aislados provenientes de agua de ambientes acuícolas obtenidos por Dhanapala y col. (2021). La resistencia a penicilina y ampicilina se ha reportado en el 100 % de los aislados de *Aeromonas* a partir de granjas piscícolas (Dhanapala y col., 2021), al igual que en la presente investigación.

La actividad hemolítica fue detectada en más de la mitad de los 7 aislados de *Pseudomonas*, en este estudio. La hemólisis en *Pseudomonas* tiende a presentarse con frecuencia en cepas que se comportan como patógenos oportunistas; por ejemplo, en *P. aeruginosa* aislada a partir de basura proveniente de hospital (Nath y col., 2020), en aislados clínicos de *P. aeruginosa* y *P. fluorescens* corroborados en cultivo celular (Rossignol y col., 2008). Un ejemplo particular, es *P. fluorescens*, carece de hemólisis cuando se comporta como saprófita, contrario a las cepas oportunistas provenientes de aislados clínicos que sí presentan hemólisis (Sperandio y col., 2012). Los aislados de *Aeromonas* en este trabajo no generaron hemólisis, a diferencia de lo reportado en los aislados de *A. caviae* a partir de aguas residuales, que producen beta-hemólisis, biopelícula y multirresistencia (Nowrotek y col., 2021). La actividad hemolítica de *Aeromonas* ha sido comprobada en diversos estudios como en pescados y agua de mar (Kamal y Abdel-Latef, 2015), en alimentos y muestras de heces fecales de humanos (Chenia y Duma, 2017).

De acuerdo con la evidencia en la literatura, para asignar a una bacteria como patógena oportunista se requiere evidenciar al menos tres factores de virulencia (Rossignol y col., 2008; Nowrotek y col., 2021). En este estudio se consideraron como patógenos oportunistas a las bacterias aisladas que presentaron los factores de virulencia, biopelícula y hemólisis, y la multirresistencia a antibióticos (Tabla 6). Con estas características ningún aislado fue clasificado como patógeno oportunista. Sin embargo, destaca la presencia de la *Pseudomo-*

nas sp P 13, con alta producción de biopelícula y hemólisis completa, la cual al ser resistente a dos familias de antibiótico podría afectar a pacientes inmunocomprometidos, si el tratamiento adecuado no se da de manera oportuna.

CONCLUSIONES

El 40 % de las pequeñas plantas purificadoras de agua no cumplieron con la normativa de la calidad de agua para consumo humano. La presencia de *Aeromonas* y *Pseudomonas* fue identificada en las muestras contaminadas. Los aislados de estos géneros bacterianos no

se consideraron patógenos oportunistas al no presentar las tres características evaluadas, sin embargo, destaca el amplio número de antibióticos a los cuales se están volviendo resistentes. Es recomendable ampliar la caracterización a nivel molecular y probar la patogenicidad de los aislados de *Aeromonas* y *Pseudomonas* en un modelo animal.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por el apoyo parcial vía distribución del presupuesto designado a la investigación.

REFERENCIAS

- Abada, E., Al-Fifi, Z., Al-Rajab, A. J., Mahdhi, M., and Sharma, M. (2019). Molecular identification of biological contaminants in different drinking water resources of the Jazan region, Saudi Arabia. *Journal of Water and Health*. 17(4): 622-632.
- Aziz, F., Parrado, R. J., Ouazzani, N., Dary, M., Manyani, H., Rodriguez, M. B., and Mandi, L. (2017). Sanitary impact evaluation of drinking water in storage reservoirs in Moroccan rural area. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 24(4): 767-777.
- Baltrus, D. A., Smith, C., Derrick, M., Leligdon, C., Rosenthal, Z., Mollico, M., and Clark, M. (2021). Genomic Background Governs Opposing Responses to Nalidixic Acid upon Megaplasmid Acquisition in *Pseudomonas*. *MSphere*. 6(1): e00008-21.
- Basson, A., Flemming, L. A., and Chenia, H. Y. (2008). Evaluation of Adherence, Hydrophobicity, Aggregation, and Biofilm Development of *Flavobacterium johnsoniae*-Like Isolates. *Microbial Ecology*. 55(1): 1-14.
- Camiade, M., Bodilis, J., Chaftar, N., Riah-Anglet, W., Gardères, J., Buquet, S., ..., and Pawlak, B. (2020). Antibiotic resistance patterns of *Pseudomonas* spp. isolated from faecal wastes in the environment and contaminated surface water. *FEMS Microbiology Ecology*. 96(2): fiae008.
- Cerna-Cortes, J. F., Cortes-Cueto, A. L., Villegas-Martínez, D., León-Montes, N., Salas-Rangel, L. P., Rivera-Gutiérrez, S., ..., and González, Y. M. J. A. (2019). Bacteriological quality of bottled water obtained from Mexico City small water purification plants: Incidence and identification of potentially pathogenic nontuberculous mycobacteria species. *International Journal of Food Microbiology*. 306: 108260.
- Chacón, L., Arias, V., Barrantes, K., Beita-Sandí, W., Reyes, L., and Achí, R. (2018). Enterococci as a key parameter for water quality index: Purires River, Costa Rica. *Journal of Water and Health*. 16(6): 1007-1017.
- Chenia, H. Y. and Duma, S. (2017). Characterization of virulence, cell surface characteristics and biofilm-forming ability of *Aeromonas* spp. isolates from fish and sea water. *Journal of Fish Diseases*. 40(3): 339-350.
- Cho, S., Jackson, C. R., and Frye, J. G. (2020). The prevalence and antimicrobial resistance phenotypes of *Salmonella*, *Escherichia coli* and *Enterococcus* sp. in surface water. *Letters in Applied Microbiology*. 71(1): 3-25.
- Daley, K., Truelstrup-Hansen, L., Jamieson, R. C., Hayward, J. L., Piorkowski, G. S., Krkosek, W., ..., and Huang Y. (2018). Chemical and microbial characteristics of municipal drinking water supply systems in the Canadian Arctic. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(33): 32926-32937.
- Dhanapala, P. M., Kalupahana, R. S., Kalupahana, A. W., Wijesekera, D. P. H., Kottawatta, S. A., Jayasekera, N. K., ..., and Jagoda, S. D. S. (2021). Characterization and Antimicrobial Resistance of Environmental and Clinical *Aeromonas* Species Isolated from Fresh Water Ornamental Fish and Associated Farming Environment in Sri Lanka. *Microorganisms*. 9(10): 2106.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2015a). NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de

- microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/2015#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 6 de abril de 2021.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2015b). NOM-201-SSA1-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420977&fecha=22/12/2015#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 6 de abril de 2021.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2015c). NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (Termotolerantes) y *Escherichia coli* - Método del número más probable en tubos múltiples, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5433394&fecha=18/04/2016#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 6 de abril de 2021.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2021). NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 6 de abril de 2021.
- Elhariry, H., Gherbawy, H., El-Deeb, B., and Alalhi, A. (2012). Molecular Identification and Biofilm-Forming Ability of Culturable Aquatic Bacteria in Microbial Biofilms Formed in Drinking Water Distribution Networks. *Geomicrobiology Journal*. 29(6): 561-569.
- Enayati, M., Sadeghi, J., Nahaei, M. R., Aghazadeh, M., Pourshafie, M. R., and Talebi, M. (2015). Virulence and antimicrobial resistance of *Enterococcus faecium* isolated from water samples. *Letters in Applied Microbiology*. 61(4): 339-45.
- Farkas, A., Dragan-Bularda, M., Ciataras, D., Bocos, B., and Tigan, S. (2012). Opportunistic pathogens and faecal indicators in drinking water associated biofilms in Cluj, Romania. *Journal of Water and Health*. 10(3): 471-483.
- Govender, R., Amoah, I. D., Adegoke, A. A., Singh, G., Kumari, S., Swalaha, F. M., ..., and Stenström, T. A. (2021). Identification, antibiotic resistance, and virulence profiling of *Aeromonas* and *Pseudomonas* species from wastewater and surface water. *Environmental monitoring and assessment*. 193(5):294.
- Gutiérrez-Del-Río, I., Marín, L., Fernández, J., Álvarez-San-Millán, M., Ferrero, F. J., Valledor, M., ..., and Lombo, F. (2018). Development of a biosensor protein bullet as a fluorescent method for fast detection of *Escherichia coli* in drinking water. *PLoS One*. 13(1): e0184277.
- Horn, S., Pieters, R., and Bezuidenhout, C. (2016). Pathogenic features of heterotrophic plate count bacteria from drinking-water boreholes. *Journal of Water and Health*. 14(6): 890-900.
- Huerta, J. M., Aguilar, I., López-Pliego, L., Fuentes-Ramírez, L. E., and Castañeda, M. (2016). The Role of the ncRNA RgsA in the Oxidative Stress Response and Biofilm Formation in *Azotobacter vinelandii*. *Current Microbiology*. 72(6): 671-679.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 de los Estados Unidos Mexicanos, Puebla, Puebla. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=21114#collapse-Resumen>. Fecha de consulta: 19 de octubre de 2022.
- Ji, L., Li, Y., Zhang, G., and Bi, Y. (2021). Anthropogenic Disturbances Have Contributed to Degradation of River Water Quality in Arid Areas. *Water*. 13(22): 3305.
- Jurado-Martín, I., Sainz-Mejías, M., and McClean, S. (2021). *Pseudomonas aeruginosa*: An Audacious Pathogen with an Adaptable Arsenal of Virulence Factors. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(6): 3128.
- Kamal, G. and Abdel-Latef, E. (2015). Detection of Aerolysin, Hemolysin genes and Antimicrobial susceptibility of *Aeromonas hydrophila* isolated from retail foods and human stool. *Global Veterinaria* 14(4): 528-534.
- Liu, H., Xiao, Y., Nie, H., Huang, Q., and Chen, W. (2017). Influence of (p) ppGpp on biofilm regulation in *Pseudomonas putida* KT2440. *Microbiological Research*. 204: 1-8.
- Loyola, S., Sanchez, J. F., Maguiña, E., Canal, E., Castillo, R., Bernal, M., ..., and Rocha, C. A. (2020). Fecal contamination of drinking water was associated with diarrheal pathogen carriage among children younger than 5 years in three Peruvian rural communities. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 102(6): 1279-1285.
- Madigan, T. M., Martinko, M. J., Bender, K. S., Buckley, D. H., and Stahl, D. A. (2015). *Brock biology of microorganism*. (Fourteenth edition). United State

of America: Pearson Education. 1041 Pp.

Maes, S., De-Reu, K., Van-Weyenberg, S., Lories, B., Heyndrickx, M., and Steenackers, H. (2020). *Pseudomonas putida* as a potential biocontrol agent against *Salmonella* Java biofilm formation in the drinking water system of broiler houses. *BMC Microbiology*. 20(1): 373.

Mahapatra, A., Padhi, N., Mahapatra, D., Bhatt, M., Sahoo, D., Jena, S., ..., and Chayani, N. (2015). Study of biofilm in bacteria from water pipelines. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 9(3): DC09-DC11.

Miyagi, K., Sano, K., and Hirai, I. (2017). Sanitary evaluation of domestic water supply with storage tanks and detection of *Aeromonas*, enteric and bacteria in domestic water facilities in Okinawa Prefecture on Japan. *Water Research*. 119: 171-177.

Mohamed, A., Nyerere, A., Sang, W. K., and Ngayo, M. (2020). Bottled water brands are contaminated with multidrug resistant bacteria in Nairobi, Kenya. *F1000 Research*. 9: 1337.

Mulamattathil, S. G., Bezuidenhout, C., and Mbewe, M. (2014). Biofilm formation in surface and drinking water distribution systems in Mafikeng, South Africa. *South African Journal of Science*. 110(11-12): 01-09.

Nath, S., Sinha, A., Singha, Y. S., Dey, A., Bhattacharjee, N., and Deb, B. (2020). Prevalence of antibiotic-resistant, toxic metal-tolerant and biofilm-forming bacteria in hospital surroundings. *Environmental Analysis, Health and Toxicology*. 35(3): e2020018.

Nordstedt, N. P., Chapin, L. J., Taylor, C. G., and Jones, M. L. (2020). Identification of *Pseudomonas* spp. That Increase Ornamental Crop Quality During Abiotic Stress. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1754.

Nowrotek, M., Jałowicki, Ł., and Płaza, G. (2021). Fluoroquinolone Resistance and Virulence Properties Among Wastewater *Aeromonas caviae* Isolates. *Microbial Drug Resistance*. 27(2): 179-189.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2017). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda en *Organización Mundial de la Salud*. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>. Fecha de consulta: 30 de abril de 2021.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2022). Agua para consumo humano, en *Organización Mundial de la Salud*. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. Fecha de consulta: 30 de abril de 2021.

Pant, N. D., Poudyal, N., and Bhattacharya, S. K. (2016). Bacteriological quality of bottled drinking water versus municipal tap water in Dharan municipality, Nepal. *Journal of Health, Population and Nutrition*. 35(1):1-6.

Pichel, N., Vivar, M., and Fuentes, M. (2019). The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. *Chemosphere*. 218: 1014-1030.

Rosignol, G., Merieau, A., Guerillon, J., Veron, W., Lesouhaitier, O., Feuilloley, M., and Orange, N. (2008). Involvement of a phospholipase C in the hemolytic activity of a clinical strain of *Pseudomonas fluorescens*. *BMC Microbiology*. 8(1): 189.

Sacchetti, R., De-Luca, G., Guberti, E., and Zanetti, F. (2015). Quality of Drinking Water Treated at Point of Use in Residential Healthcare Facilities for the Elderly. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12(9): 11163-11177.

Sala-Comorera, L., Blanch, A. R., Vilaró, C., Galofré, B., and García-Aljaro, C. (2016). *Pseudomonas*-related populations associated with reverse osmosis in drinking water treatment. *Journal of Environmental Management*. 182: 335-341.

Saxena, G., Bharagava, R. N., Kaithwas, G., and Raj, A. (2015). Microbial indicators, pathogens and methods for their monitoring in water environment. *Journal of Water and Health*. 13(2): 319-339.

Skwor, T., Shinko, J., Augustyniak, A., Gee, C., and Andraso, G. (2014). *Aeromonas hydrophila* and *Aeromonas veronii* predominate among potentially pathogenic ciprofloxacin and tetracycline resistant *aeromonas* isolates from Lake Erie. *Applied and Environmental Microbiology*. 80(3): 841-848.

Sperandio, D., Decoin, V., Latour, X., Mijouin, L., Hillion, M., Feuilloley, M. G., ..., and Merieau, A. (2012). Virulence of the *Pseudomonas fluorescens* clinical strain MFN1032 towards *Dictyostelium discoideum* and macrophages in relation with type III secretion system. *BMC Microbiology*. 12(1): 1-10.

Stratev, D. and Odeyemi, O. A. (2016). Antimicrobial resistance of *Aeromonas hydrophila* isolated from different food sources: A mini-review. *Journal of Infection and Public Health*. 9(5): 535-544.

Sudan, S. K., Pal, D., Bisht, B., Kumar, N., Chaudhry, V., Patil, P., ..., and Krishnamurthi, S. (2018). *Pseudomonas fluvialis* sp. nov., a novel member of the genus *Pseudomonas* isolated from the river Ganges, India. *International Journal of Systematic*

and *Evolutionary Microbiology*. 68(1):402-408.

Tyagi, S., Singh, P., Sharma, B., Singh, R., Dobhal, R., and Uniyal, D. P. (2015). Bacteriological Assessment of Drinking Water Sources of Uttarakhand, India. *National Academy Science Letters-India*. 38(1): 37-44.

Vávrová, A., Balážová, T., Sedláček, I., Tvrzová, L., and Šedo, O. (2015). Evaluation of the MALDI-TOF MS profiling for identification of newly described *Aeromonas* spp. *Folia Microbiologica*. 60(5): 375-383.

Woodring, T. S. and Farrell, J. J. (2019). Pseudomonas poae-Associated Fatal Septic Transfusion Reaction, Peoria, Illinois, USA, 2017. *Emerging Infectious Diseases*. 25(8): 1445-1451.

Wu, J., Long, S. C., Das, D., and Dorner, S. M. (2011). Are microbial indicators and pathogens correlated? A statistical analysis of 40 years of research. *Journal of Water and Health*. 9(2): 265-278.

Zhou, H., Gai, C., Ye, G., An, J., Liu, K., Xu, L., and Cao, H. (2019). *Aeromonas hydrophila*, an Emerging Causative Agent of Freshwater-Farmed white leg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Microorganisms*. 7(10): 450.



Imágenes de: Canva educativo

Recubrimiento biodegradable antifúngico a base de quitosano y aceite esencial de cítricos para la conservación de papaya (*Carica papaya* L.) en poscosecha

Biodegradable antifungal coating based on chitosan and citrus essential oil for the conservation of papaya (*Carica papaya* L.) in postharvest

María del Rosario García-Mateos^{1*}, Joel Corrales-García², Teresita Cornejo-Vivar², Lyzbeth Hernández-Ramos³

RESUMEN

La papaya es una fruta climatérica altamente perecedera. La antracnosis, enfermedad provocada por hongos, es una de las principales causas de pérdida poscosecha. La actividad de extractos vegetales ha permitido la inhibición del desarrollo de microorganismos, en particular se ha reportado la actividad antifúngica de aceites esenciales. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de un recubrimiento biodegradable a base de quitosano con aceite esencial de cítricos, aplicado en etapa poscosecha, en las propiedades físicoquímicas, fisiológicas e inhibición del crecimiento del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de papaya (*Carica papaya* L.). El recubrimiento se preparó con quitosano, glicerol, ácido acético, aceite esencial de *Citrus reticulata* (0.5 %, 1.0 % y 1.5 %) y Tween[®] 80. La solución se aplicó con una brocha en la epidermis de los frutos de papaya y se almacenaron a temperatura ambiente (24 °C ± 2 °C) por 10 d, junto con los frutos testigo. Las variables evaluadas en los frutos fueron color, pH, sólidos solubles totales (SST), firmeza, pérdida de peso, producción de CO₂, de etileno y daño por antracnosis. Se utilizó un modelo estadístico completamente al azar. Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias por la prueba de Tukey (P < 0.05). El recubrimiento aplicado retrasó el cambio de color de la epidermis de los frutos de papaya, la pérdida de peso, firmeza y SST respecto a los frutos testigo. Los cambios estuvieron asociados a la modificación de la tasa de respiración y de producción de etileno de los frutos con recubrimiento. La matriz del quitosano conteniendo aceites esenciales, usada como recubrimiento, mejoró significativamente la vida de anaquel de la papaya y disminuyó más del 80 % el daño por antracnosis.

PALABRAS CLAVE: aceite esencial, cítricos, papaya, quitosano, antracnosis.

ABSTRACT

Papaya is a highly perishable climacteric fruit. Anthracnose, a disease provoked by fungus, is one of the main causes of postharvest losses. The activity of plant extracts has allowed the inhibition of the development of microorganisms; in particular, the antifungal activity of essential oils has been reported. The aim of this research was to evaluate the effect of a biodegradable antifungal coating based on chitosan with citrus essential oil in the physicochemical and physiological properties and the antifungal activity of postharvest papaya (*Carica papaya* L.). The coating was prepared with chitosan, glycerol, acetic acid, essential oil of *Citrus reticulata* (0.5 %, 1.0 % and 1.5 %) and Tween[®] 80. The solution was applied with a brush to the epidermis of the postharvest papaya fruits and stored at room temperature (24 °C ± 2 °C) for 10 d. The variables evaluated in the fruits were color, pH, °Brix, firmness, weight loss, production of CO₂ and ethylene and anthracnose damage. An analysis of variance (ANOVA) was performed under a completely randomized design and a comparison of Tukey means (P < 0.05). The coating applied delayed the color change of the epidermis of the papaya fruits, these maintained the high firmness values with respect to the control fruits. The changes were associated with the modification of the respiration rate and ethylene production of the coated fruits. The chitosan matrix containing essential oils used as a coating significantly improved shelf life of papaya and decreased anthracnose damage by 80 %.

KEYWORDS: essential oil, citrus, papaya, chitosan, anthracnose.

*Correspondencia: rosgar08@hotmail.com/Fecha de recepción: 15 de junio de 2022/Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2022/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

¹Universidad Autónoma Chapingo, Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. ²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Chapingo, Estado de México, México. ³Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección General de Fomento, Jefatura de Ornamentales, Ciudad de México, México.

INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas frescas son productos perecederos, susceptibles a sufrir deterioro físico, fisiológico y bioquímico. Su calidad disminuye durante el manejo poscosecha, lo que afecta la comercialización (Nayak y col., 2019). El deterioro se debe principalmente a daños provocados por insectos, hongos o bacterias. Sin embargo, las pudriciones bacterianas y fúngicas son las que causan la mayor pérdida (Dukare y col., 2018; Singh y col., 2022), ya que alteran la fisiología del fruto, debido en parte, a un incremento de la producción de etileno y de la respiración.

En papaya (*Carica papaya* L.), al igual que en otros frutos tropicales de importancia comercial, la descomposición por antracnosis, debida al hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, es la causa más importante de grandes pérdidas económicas (Ayón-Reyna y col., 2017). El género *Carica* agrupa 21 especies (Badillo y Leal, 2019), entre las que destaca *C. papaya* por su importancia comercial (Cunha y col., 2018). Los frutos se caracterizan por ser climatéricos, con altas tasas de respiración y producción de etileno. Su exocarpio es delgado y frágil, por lo tanto, el fruto es perecedero y susceptible al ataque de hongos, con una vida de anaquel corta (1 a 3 semanas), según su manejo (pre y poscosecha) y las condiciones climáticas del lugar de producción (Vela-Gutiérrez y col., 2016).

Para evitar el daño causado por hongos en productos hortofrutícolas, existen estrategias de control, entre las que destaca la aplicación de fungicidas químicos. Sin embargo, su uso se ha restringido debido a los efectos adversos ocasionados en humanos y en el ambiente (Alam y col., 2017). Además de que, la utilización indiscriminada de dichos agroquímicos ha propiciado la generación de fitopatógenos resistentes (Rodríguez-Delgado y col., 2019). Ante esta problemática, se ha iniciado el estudio de fungicidas naturales (extractos vegetales) (Alam y col., 2017).

Sharma y Tripathi (2006) consideran que, dentro de los extractos vegetales, los aceites esen-

ciales obtenidos de cítricos son una alternativa en la industria de alimentos, por su actividad antifúngica, ser de origen natural y amigables con el ambiente. Se ha reportado la incorporación de aceites esenciales a una matriz de recubrimientos biodegradables para el control de microorganismos y aumento de la vida de anaquel de productos hortofrutícolas (Ramos y col., 2010). Una película biodegradable, aplicada por inmersión, sobre un alimento fresco puede permitirle mayor vida de anaquel y conservar su calidad, al regular la migración de humedad, oxígeno y CO₂ sin afectar a los compuestos antioxidantes, aroma y sabor; además de en ocasiones servir también como empaque (Fernández y col., 2015). Los materiales para la elaboración de recubrimientos biodegradables son numerosos, entre ellos destacan los polímeros de origen natural obtenidos mediante el aprovechamiento de productos subutilizados, tales como el quitosano, derivado de la quitina, la cual se obtiene de forma comercial principalmente del caparazón de crustáceos (Philibert y col., 2016). El quitosano es un producto natural no tóxico y biodegradable. Su uso en la conservación de frutas y hortalizas durante el almacenamiento poscosecha, reduce el desarrollo de pudriciones por *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger*, *Rhizopus stolonifer*, entre otros (Yuan y col., 2016; Bauer y col., 2022).

El objetivo de esta investigación fue elaborar un recubrimiento biodegradable a base de quitosano adicionado con aceite esencial de cítricos para evaluar su efecto en las propiedades físico químicas, fisiológicas e inhibición del crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) en poscosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción de aceite esencial

Se recolectaron frutos de tres especies de cítricos: naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*), y toronja (*Citrus paradisi*), sin daños físicos o presencia de enfermedades, en el municipio de Tuxpan, Veracruz, México.

La extracción del aceite esencial del exocarpio de cada especie se realizó por hidrodestilación en una trampa Clevenger por 4 h. Las trazas de humedad en los aceites obtenidos se retiraron mediante la adición de Na_2SO_4 anhidro, y se almacenaron en refrigeración a $4\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$. Se calculó el rendimiento (%) de aceite esencial por especie.

Aislamiento de *C. gloeosporioides*

El hongo se aisló de frutos de papaya (*C. papaya* var. Maradol) con lesiones características visuales de antracnosis (círculos concéntricos y mancha oscuras), de acuerdo con lo descrito por Acosta y col. (2001). Los frutos se adquirieron en un mercado local del municipio de Texcoco, Estado de México. Se obtuvieron fragmentos (5 mm x 5 mm) de la superficie infestada de los frutos de papaya. Cada fragmento se sembró en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA, BD Bioxon®), con un periodo de incubación por 3 d, a una temperatura de $28\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ (Acosta y col., 2001). Se tomó una muestra pequeña del hongo y se observó al microscopio (Olympus CX3I, Tokyo, Japón), comparando la forma de micelios y de conidios con los reportados en la literatura (Barnett y col., 1998). Una vez identificado el hongo se procedió a purificar la cepa. Se tomó una muestra del hongo en desarrollo para obtener un cultivo monoconidial, según la técnica de dilución descrita por Acosta y col. (2001), con la finalidad de obtener un inóculo monospórico puro (IP) proveniente de una sola espóra. Cabe mencionar que no se realizó la caracterización molecular del hongo.

Bioensayo *in vitro* de los aceites esenciales

Se utilizó el método de Kirby-Bauer modificado (Bauer y col., 1966). Se colocaron 4 círculos de papel filtro esterilizados (6 mm de diámetros) equidistantes, impregnados con 15 μL de aceite esencial por especie. Se sembró una alícuota de 100 μL de la suspensión de conidios (3.77×10^8 UFC/mL) de la cepa fitopatogena en un medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA, BD Bioxon®), según el método descrito por Acosta y col. (2001). Se utilizó agua destilada esterilizada como control negativo y un

fungicida químico Amistar® (azoxistrobin: Metil (E)-2-2-6-(2-cianofenoxi) pirimidin-4-iloifenil-3-metoxiacrilato) como control positivo.

Se realizaron cuatro repeticiones por cada tratamiento, en total se obtuvieron 5 tratamientos, 3 aceites esenciales, un control negativo y un control positivo. Los tratamientos se incubaron a $28\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$. A los 7 d de incubación se midieron los halos de inhibición de crecimiento del hongo (mm) con un pie de rey (Calibrador Vernier® Mitutoyo 530, Kanagawa Japón). Se promediaron 2 diámetros perpendiculares de cada uno de los discos. Se determinó el porcentaje de inhibición (% I) de los aceites esenciales, mediante la fórmula:

$$\% \text{ I} = \left(\frac{\text{Área de crecimiento tratamiento}}{\text{Área de testigo}} \right) * 100.$$

Determinación del grado de desacetilación del quitosano

Se determinó por el método potenciométrico de titulación (Yuan y col., 2016). Se pesaron 0.25 g de quitosano, se le adicionaron 10 mL de ácido clorhídrico (HCl) 0.3 M y se agitó hasta disolver. La muestra se tituló utilizando hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, y se midió el cambio de pH por cada mL de NaOH añadido, hasta un volumen igual a 50 mL. Se realizó una gráfica de pH *vs* mL de NaOH y se calculó la diferencia entre los puntos de inflexión de la gráfica. El porcentaje de desacetilación se determinó mediante la ecuación, que expresa la cantidad de grupos aminos (NH_2) formados:

$$\% \text{ NH}_2 = 16.1 (y - x) * (f) (w)$$

Donde:

y: punto de inflexión mayor en la gráfica de la primera derivada.

x: punto de inflexión menor en la gráfica de la primera derivada.

f: normalidad de la solución de NaOH.

w: peso en gramos de la muestra.

16.1: factor cuyo valor está relacionado con el peso equivalente.

Preparación del recubrimiento biodegradable

Las características del quitosano utilizado fueron: peso molecular 127×10^6 g/mol, tamaño de partícula $0.4 \text{ mm} < 50 \%$, masa 1 mm ; solubilidad $> 99.9 \%$; fuente, caparazón de jaiba (*Callinectes* sp). El recubrimiento se preparó de acuerdo con el método propuesto por Hernández-Ochoa y col. (2011) modificado, mediante la adición de ácido acético glacial 1.0% (v/v) (JT Baker®), glicerol 0.5% (v/v) y quitosano 1.0% (p/v) (proporcionado por el Centro de Investigación y Desarrollo, Sonora, México) a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ en agitación constante por 24 h. A la mezcla fría ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) se le añadió el aceite esencial con mayor efecto antifúngico, en 3 concentraciones: 0.5% , 1.0% y 1.5% , disuelto con Tween® 80 a 0.1% (v/v). La mezcla se mantuvo en agitación constante por 7 h.

Inoculación del fruto de papaya y aplicación del recubrimiento

Los frutos de papaya (*C. papaya* var. Maradol) de tamaño uniforme ($1\ 000 \text{ g}$ a $1\ 200 \text{ g}$), sin daños físicos y libre de enfermedades, se obtuvieron de un cultivo de un huerto familiar ubicado en el municipio de San Pedro Pochutla, Oaxaca, México. Los frutos en estado de Maduración 2 (escala de maduración establecida por Santamaría y col. (2009a) se desinfectaron sumergiéndolos en hipoclorito de sodio (1.0% v/v) por 5 min, se enjuagaron con agua destilada esterilizada y se secaron a temperatura ambiente. Se seleccionaron 5 áreas de la epidermis de cada fruto aleatoriamente, para aplicar una punción de aproximadamente 2 mm de profundidad, donde se inocularon $20 \text{ }\mu\text{L}$ de la suspensión de esporas de *C. gloeosporioides* (1×10^8 conidios mL). Después de 2 h, a la epidermis se aplicó el recubrimiento biodegradable mediante una brocha (Camelus® 2", BYP BCA20, Monterrey, México) y se dejaron secar por 30 min a temperatura ambiente. Se realizaron 4 tratamientos (recubrimiento conteniendo aceite esencial a 0.5% , 1.0% y 1.5% y un tratamiento sin recubrimiento (testigo) con 6 repeticiones cada uno, dispuestos en un diseño completamente al azar. Los frutos se mantuvieron a $24 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10 d.

Características fisicoquímicas y parámetros de color

La pérdida de peso (%) del fruto y el pH de la pulpa se determinaron de acuerdo con la metodología de la Asociación de Químicos Analíticos Oficial (AOAC, por sus siglas en inglés: Association of Official Analytical Chemist) (AOAC, 1990). El contenido de sólidos solubles totales (SST) se estableció con un refractómetro manual (Atago N1) a $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. El resultado se reportó como porcentaje (%) de sólidos solubles.

El color del fruto se determinó mediante las mediciones de Luminosidad (*L*), ángulo de tono (*Hue*) y pureza de color o índice de cromaticidad (*Chroma*) en tres áreas de la epidermis. Las lecturas de *L*, *a*^{*} y *b*^{*} se obtuvieron con un colorímetro HunterLab (MiniScan XE Plus45/0-L, Reston, Virginia, EUA) para identificar las diferencias de color en forma numérica. Se realizó el cálculo de los parámetros *Hue* y *Chroma* con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Hue &= \tan^{-1}(a^*/b^*) \\ Chroma &= (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \end{aligned}$$

Las mediciones se realizaron cada 2 d en cada fruto almacenado a $24 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10 d.

Firmeza del fruto

La firmeza se determinó por el método de punción mediante un texturómetro universal TA.XT2i (Stable Micro Systems UK, Surrey, RU) de base automática, con una punta cónica de 6 mm de diámetros, celda de 5 kg , velocidad de compresión de 0.5 mm/s y distancia de compresión de 10 mm . La firmeza se midió en la parte ecuatorial central de la papaya y se registró la fuerza de oposición del tejido a la penetración del punzón, en cinco regiones del fruto sin exocarpio. Los resultados se reportaron en newtons (N).

Evaluación de la tasa de respiración

Se seleccionaron tres frutos por tratamiento. Los frutos se colocaron en el interior de un frasco de vidrio por 1 h cada 24 h. Con una jeringa se extrajeron 5 mL de gas del espa-

cio de cabeza del frasco, se guardaron en frascos BD Vacutainer® de 5 mL en congelación a - 4 °C hasta su análisis (Santamaría y col., 2009a). Se inyectó 1 mL de cada muestra en un cromatógrafo de gases (Varian® Star 3 400, Palo Alto, California, Estados Unidos), equipado con una columna Hayesep Q 100/120 (1.8 m longitud x 3.2 mm diámetros) y detectores en serie de conductividad térmica (TCD, por sus siglas en inglés: Thermal Conductivity Detector) para la cuantificación del contenido de CO₂, y de ionización de flama (FID, por sus siglas en inglés: Flame Ionization Detector) para la determinación del contenido de etileno. Se utilizó helio como gas acarreador (flujo de 25 mL/min). La temperatura se mantuvo a 70 °C en ambos detectores. Los resultados se calcularon a partir de curvas de calibración con estándares de concentración conocida de CO₂ y etileno. Los resultados se expresaron en mL de CO₂ kg/h y µL de etileno kg/h.

Severidad de daño en el fruto y efectividad de los recubrimientos

Para calcular el porcentaje de severidad de daño en los frutos de papaya se utilizó la fórmula:

$$P = [\sum(n*v) / (CM*N)] * 100$$

Donde:

P = media ponderada de severidad.

n = número de lesiones por cada clase de la escala, esto con respecto a las características de la enfermedad, de acuerdo con grado 5 de daño con base a la escala establecida por Santamaría y col. (2011).

v = valor numérico de cada clase.

CM = categoría mayor.

N = número total de lesiones evaluadas.

Para calcular la efectividad biológica de los recubrimientos (%) se utilizó la fórmula de Abbott (1925):

$$ET = [(IT - it) / IT] * 100$$

Donde:

ET = efectividad del tratamiento.

IT = porcentaje de infección en el testigo.

It = porcentaje de infección en cada tratamiento.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos para cada variable se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) sin restricciones, correspondiendo a un diseño completamente al azar. La comparación de medias se hizo de acuerdo con Tukey (P < 0.05), mediante el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, por sus siglas en inglés: Statistical Analysis System) versión 9.1.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de la extracción de los aceites esenciales

El exocarpio de *Citrus reticulata* (mandarina) proporcionó el mayor rendimiento de aceite esencial (0.15 %), seguido de *C. sinensis* (0.07 %) y *C. paradisi* (0.03 %). Lota y col. (2001) reportaron rendimientos de aceite esencial en 15 variedades de *C. reticulata* que fueron de 0.05 % a 0.6 % por kg de cáscara, lo cual concuerda con lo obtenido en la presente investigación. Por otro lado, Rojas-Fernández y col. (2014) mencionaron que la diferencia en los rendimientos de aceite esencial en cítricos se debe principalmente a la variabilidad genética entre especies y al método de extracción. Sin embargo, la composición por especie está también determinada por diferentes factores edafoclimáticos (luz, agua, temperatura, suelo), estacionalidad (temporada de producción y cosecha del fruto) y estado de madurez, que influyen en los procesos fisiológicos y bioquímicos o en las rutas metabólicas donde se sintetizan, produciendo modificaciones estructurales y concentraciones en los componentes del aceite esencial (Boaro y col., 2019).

Bioensayo *in vitro* de los aceites esenciales

El aceite de mandarina (*C. reticulata*) presentó un porcentaje de inhibición de crecimiento del hongo significativamente mayor (P < 0.05) que el de los otros cítricos evaluados y cercano al control positivo (Tabla 1). La diferencia observada de la actividad antifúngica de los aceites esenciales podría explicarse por una diferencia en el perfil o concentración de los metabolitos presentes en cada especie (Rabari y col., 2017). Dutra y col. (2016) reportaron 45 componentes en el aceite esencial de

■ Tabla 1. Halo de inhibición y porcentaje de inhibición *in vitro* de los aceites esenciales del exocarpo del fruto de tres especies de cítricos.

Table 1. Halo of inhibition and percentage of inhibition *in vitro* of the essential oils of the exocarp of the fruit of three citrus species.

Tratamiento	Halo de inhibición (mm)	Inhibición (%)
<i>Citrus sinensis</i> (naranja)	19.4 ^c	23.7
<i>Citrus reticulata</i> (mandarina)	22.8 ^b	32.4
<i>Citrus paradisi</i> (toronja)	15.3 ^d	14.7
Control positivo (fungicida químico)	25.8 ^a	41.4
Control negativo (agua destilada)	0.0 ^e	0.0
DHS	2.8	-

Medias con letras diferentes en una columna difieren significativamente (Tukey, $P < 0.05$). DHS = Diferencia honesta significativa.

Citrus spp y al limoneno como el monoterpeno de mayor abundancia, y en menor proporción α - y β -pineno, linanol y terpineno. Estos autores identificaron a limoneno (94 %) y mircenol (1.6 % a 2.1 %) como los principales componentes del aceite esencial de *C. sinensis*, *C. reticulata* y *C. paradisi*.

Los aceites esenciales de los cítricos evaluados mostraron notables propiedades antimicrobianas (Tabla 1). Aunque su mecanismo de acción aún no es totalmente conocido (Burt, 2004; Bosquez-Molina y col., 2010). Wang y col. (2019) mencionaron que el carácter hidrofóbico de los aceites esenciales se debe a la presencia de los terpenoides volátiles de bajo peso molecular que, de manera sinérgica, pueden interactuar con los fosfolípidos de la membrana celular y de las mitocondrias, aumentando así su permeabilidad, pérdida de la integridad de membrana y la disipación del gradiente de iones, como el Ca^{+2} . En conjunto, todos estos efectos provocan la liberación de otros constituyentes intracelulares que interfieren en muchos procesos biológicos (Sharifi-Rad y col., 2017), induciendo en consecuencia la muerte celular. También se ha reportado que la penetración de los aceites esenciales puede afectar la función de las proteínas y enzimas incrustadas en la membrana (Rabari y col., 2017).

Grado de desacetilación del quitosano

Hernández y col. (2009) indicaron que el va-

lor óptimo de desacetilación para el quitosano debe ser mayor a 50 %, aunque el quitosano comercial presenta un porcentaje de desacetilación superior a 60 %. Esto concuerda con el resultado obtenido de la muestra de quitosano analizado en este estudio que fue de 57.1 %. Al respecto, Araya y Menezes (2010) mencionaron que la variación del grado de desacetilación se debe a la presencia de grupos amino libres en quitosanos de diferentes crustáceos. Por otro lado, Calero y col. (2013), argumentaron que el grado de desacetilación del quitosano, comprendido entre 60 % y 98 %, es un parámetro determinante en la solubilidad o insolubilidad en medios acuosos, ya que se encuentra cargado positivamente en medios ácidos, siendo los grupos amino responsables de dicha densidad de carga (positiva) lo que favorece su solubilidad. Y el carácter hidrofílico e hidrofóbico del quitosano está asociado a las características estructurales que convierten al polímero en excelente estabilizador de emulsiones, además reduce la tensión superficial, actúa como espesante y puede formar películas con mejores propiedades viscoelásticas (Calero y col., 2013).

Características fisicoquímicas del fruto con recubrimiento

Los frutos con recubrimiento mostraron menor pérdida de peso durante los 10 d de almacenamiento, en comparación con los frutos

sin recubrimiento (Tabla 2). A mayor concentración del aceite esencial hubo menor pérdida de peso, aunque solo el tratamiento con 1.5 % de aceite esencial redujo significativamente la pérdida de peso ($P < 0.05$) hasta un valor de 2.90 %. Este efecto podría deberse a que el incremento del contenido de aceite esencial confiere un aumento de la hidrofobicidad del recubrimiento, lo cual disminuye la transpiración y esta a su vez la pérdida de agua, ya que los recubrimientos actúan como una barrera de protección que evita el intercambio de gases con el ambiente, incluyendo al vapor de agua del fruto, lo que provoca una pérdida de peso más lenta (Télles-Pichardo y col., 2013).

En el presente trabajo se observó menor pérdida de peso que lo reportado por Télles-Pichardo y col. (2013), quienes evaluaron recubrimientos de cera de candelilla con polifenoles, aplicados en frutos de papaya almacenados a temperatura ambiente, y la pérdida de peso que encontraron fue aproximadamente de 5 % a partir del día 6. En tanto que, Miranda y col. (2014) obtuvieron pérdidas de peso de 9.54 % en el día 9, al aplicar recubrimientos

a base de almidón de yuca al mismo fruto en condiciones similares de almacenamiento.

El recubrimiento de los frutos no afectó el valor de pH durante su almacenamiento (10 d a temperatura ambiente) (Tabla 2). Martínez-Tenorio y López-Malo (2011) encontraron un pH alcalino en frutos de papaya con recubrimiento y aceites esenciales a los 5 d y 7 d, en comparación con los que no tuvieron recubrimiento. Asimismo, Miranda y col. (2014) reportaron el aumento del pH a partir del día 9. Esto fue atribuido a una reducción del contenido de ácidos orgánicos presentes en el fruto, causado por la desaceleración de la actividad metabólica. El origen de este fenómeno lo atribuyeron a que las películas provocaron menor difusión del oxígeno, lo que pudo ocasionar el decremento de la oxidación metabólica.

El recubrimiento biodegradable con 1.5 % de aceite esencial redujo significativamente ($P < 0.05$) el contenido de sólidos solubles totales en el fruto tratado, con respecto al testigo, a los 10 d de almacenamiento (Tabla 2). Esta disminución podría deberse a la poca permeabilidad de la pared celular por la hidro-

■ Tabla 2. Efecto del recubrimiento en las características fisicoquímicas de la pulpa de papaya durante el almacenamiento ($24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Table 2. Effect of coating on the physicochemical characteristics of papaya pulp during storage ($24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Días de almacenamiento	Tratamiento	Aceite esencial (%)	pH	Pérdida de peso (%)	SST (%)
0	T0	0.0	5.01 ^a	0.0	7.10 ^a
	T1	0.5	5.15 ^a	0.0	7.71 ^b
	T2	1.0	4.92 ^a	0.0	7.80 ^{ab}
	T3	1.5	5.10 ^a	0.0	7.81 ^{ab}
DHS	-	-	0.34	-	0.20
10	T0	0.0	6.29 ^a	4.50 ^b	11.46 ^b
	T1	0.5	5.90 ^a	3.70 ^{ab}	10.46 ^{ab}
	T2	1.0	6.17 ^a	3.50 ^{ab}	11.03 ^{ab}
	T3	1.5	6.50 ^a	2.90 ^a	9.61 ^a
DHS	-	-	0.969	1.094	1.746

T0 = sin recubrimiento; T1 = aceite esencial (0.5 %); T2 = aceite esencial (1.0 %); T3 = aceite esencial (1.5 %). DHS = Diferencia Honesta significativa. SST = sólidos solubles totales.

^{a,b}Medias con letras diferentes en una columna difieren significativamente (Tukey, $P < 0.05$).

fobicidad y mayor concentración del aceite, lo que evitó su ablandamiento y rompimiento de polisacáridos y mayor firmeza de los frutos del T3 (Dos-Passos-Braga y col., 2019). Aunque los cambios de azúcares en los frutos de papaya poscosecha aún no se encuentran completamente establecidos como posibles indicadores de calidad, es importante señalar que, el contenido de SST (10° a 11.5° Brix) permite evaluar el estado de madurez de consumo de la papaya var. Maradol (Santamaría y col., 2009a).

Parámetros de color

En frutos y hortalizas el color es parte de la calidad, por lo mismo, puede ser factor de preferencia, aceptación o rechazo por el consumidor y determinante del fracaso o éxito en la comercialización. En este trabajo, el valor de *Hue*, en la superficie de los frutos sin recubrimiento (testigo), presentó una mayor disminución (aproximadamente 50°) durante el almacenamiento, en comparación con los frutos con recubrimiento (aproximadamente 27°) (Figura 1A y Figura 2). Esta diferencia explica el cambio del color de la epidermis de verde a anaranjado en los frutos sin recubrimiento y de verde a verde-amarillo en los frutos tratados (Figura 2). La manifestación del color naranja durante la maduración de los frutos está relacionada con los cambios en el contenido de pigmentos, principalmente por la degradación de clorofilas, como consecuencia de procesos oxidativos y por la síntesis de otros pigmentos anaranjados y amarillos (carotenoides) (Shakya y Lal, 2018).

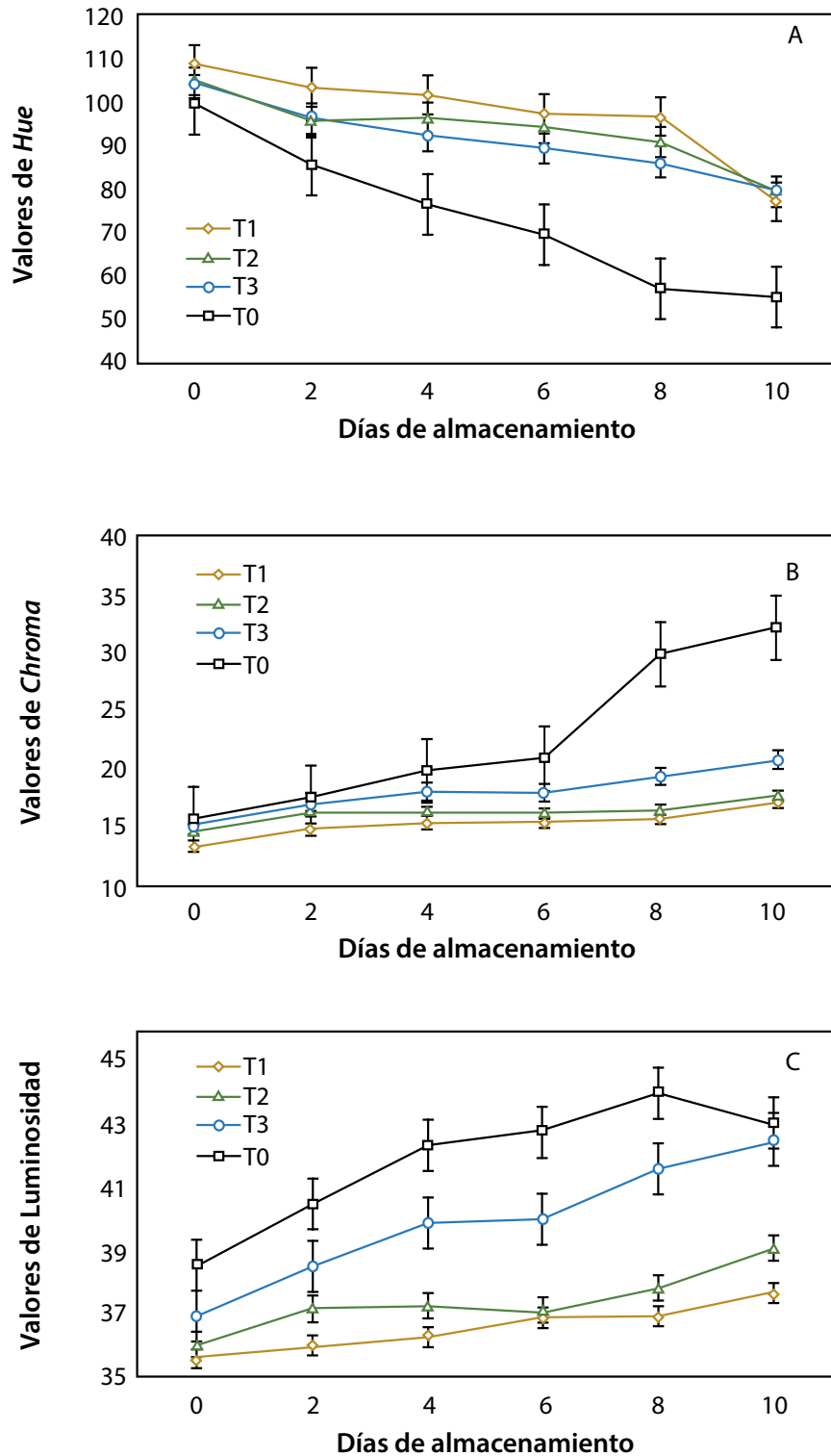
La saturación de color (*chroma*) en la epidermis fue significativamente menor en los frutos con recubrimiento (Figuras 1B y Figura 2), que en los frutos sin recubrimiento después de los 6 d de almacenamiento. Valores mayores de *chroma* indican mayor intensidad de color y significan que el color es más definido. Es importante destacar que, aunque los frutos con recubrimiento mostraron valores bajos de *chroma*, esto no implica que perderán su atractivo para el consumidor, ya que, en esta etapa, el retraso en la instalación del color naranja intenso carac-

terístico del fruto, se asocia con una instalación tardía de la maduración, es decir, una mayor vida de anaquel. El contenido de aceite esencial en el recubrimiento no afectó los valores de *chroma* de la epidermis de los frutos, ya que no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos T1, T2 y T3.

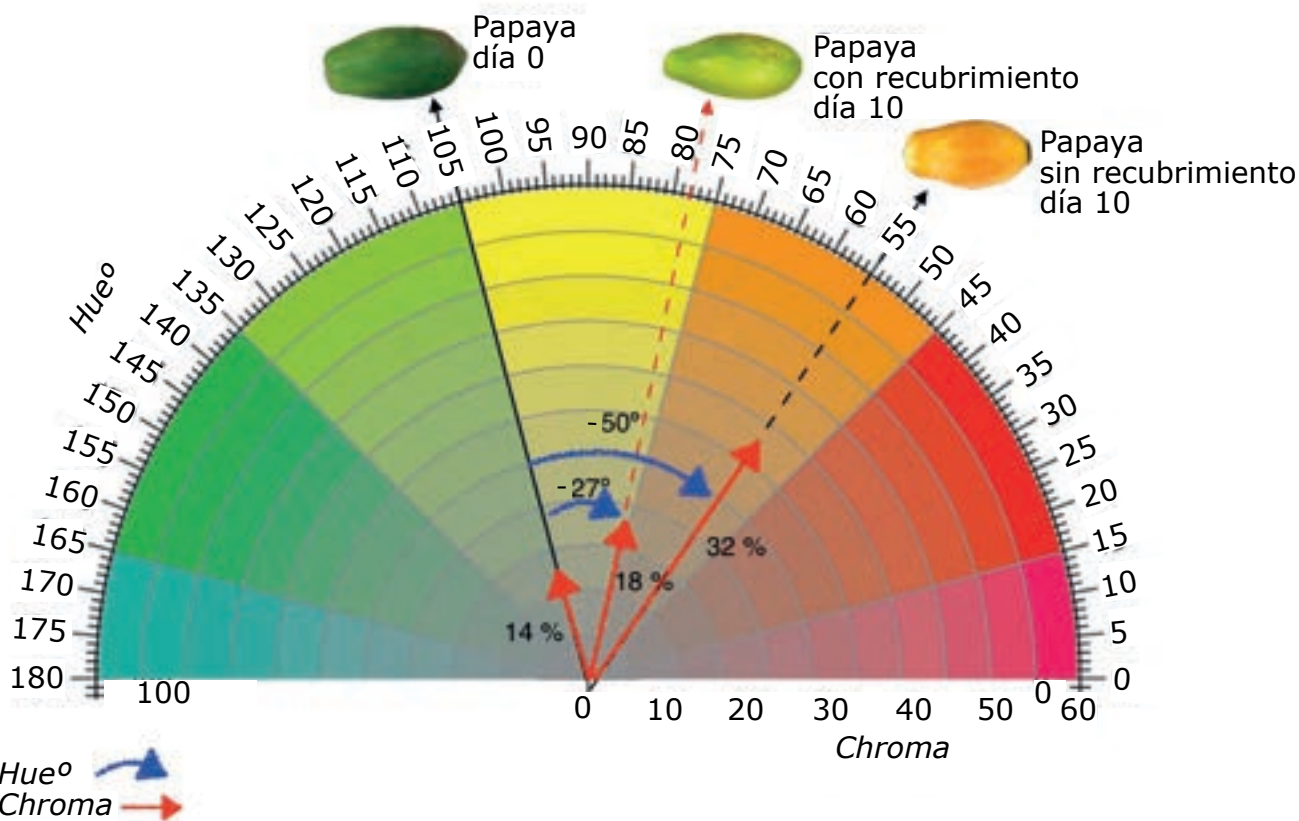
Los valores de luminosidad (*L*) se incrementaron en los 4 tratamientos (T0, T1, T2 y T3) durante el almacenamiento (Figura 1C), pero fue mayor en la fruta sin tratamiento, seguido de la que contenía 1.5 % de aceite esencial (T3). Se observó un incremento en el cambio de color alrededor del día 6 en los frutos sin recubrimiento, que podría estar asociado con un inicio del proceso de maduración. El incremento de luminosidad también fue reportado por Santamaría y col. (2009b) al estudiar la madurez de consumo de papaya maradol después de la cosecha en condiciones de almacenamiento.

Firmeza

Se observó una tendencia decreciente en el valor de firmeza en fruta control (T0) en comparación con los tratamientos con recubrimiento (T1, T2 y T3) durante el almacenamiento. Este efecto está asociado a la maduración de los frutos, que induce su ablandamiento (Barragán-Iglesias y col., 2018), debido al proceso de desorganización de los tejidos; lo que provoca menor resistencia a la deformación. A los 10 d de almacenamiento se observaron diferencias significativas entre los frutos con y sin recubrimiento (Figura 3). Osuna-García y col. (2005) mencionaron que, a mayor retención del valor de firmeza, los frutos presentan mayor vida de anaquel, lo que contribuye, por un lado, a alcanzar mercados más distantes y por el otro a disminuir pérdidas. La firmeza inicial (148 ± 2 N) de los frutos, en todos los tratamientos, resultó similar (144 ± 5 N) a lo reportado por Sañudo y col. (2008). La firmeza de la pulpa de papaya var. Maradol entre 4.7 N y 6.9 N es indicador de madurez de consumo (Santamaría y col., 2009b). Utilizando la escala propuesta por Santamaría y col. (2009b), fue po-

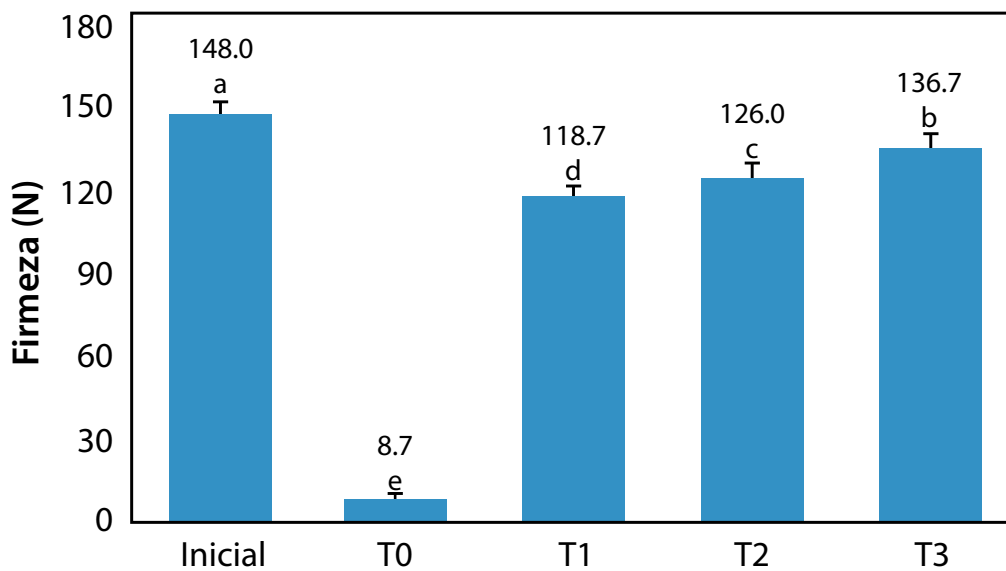


■ Figura 1. Variación en los indicadores de color: A) valores de *hue*; B) valores de *chroma*; C) valores de *L* en papaya durante el almacenamiento.
 Figure 1. Variation in color indicators: A) *hue* values; B) *chroma* values; C) values of *L* in papaya during storage.



■ Figura 2. Variación en los indicadores de color (*hue* y *chroma*) en papaya con y sin recubrimiento a los 0 d y 10 d de almacenamiento.

Figure 2. Variation in color indicators (*hue* and *chroma*) in papaya with and without coating at 0 d and 10 d of storage.



■ Figura 3. Firmeza del fruto de papaya var. Maradol al día 10 de almacenamiento.

Figure 3. Fruit firmness of papaya var. Maradol on day 10 of storage.

sible establecer que, los frutos tratados con las películas alcanzaron a los 10 d una madurez grado 4, menor a la del fruto control (grado 6), lo que indica una prolongación de la vida de anaquel.

Respiración

Los frutos sin recubrimiento presentaron un pico máximo (45.6 mg de CO₂ kg/h) de producción de CO₂ a los 6 d de almacenamiento (Figura 4A). Este patrón de respiración corresponde, como se esperaba, a un fruto climatérico, caracterizado por un patrón oscilatorio en la producción de CO₂ y un aumento en la producción de etileno (Sañudo y col., 2008; Velasco-Ulloa y col., 2012).

La producción de CO₂ fue menor en los frutos con recubrimiento, con diferencias significativas en su tendencia oscilatoria (Figura 4A). El fruto con el T1 presentó un pico máximo en el día 6 y a partir de ahí se mantuvo con la mayor tasa de producción de CO₂. Los frutos con T2 reportaron dos picos elevados los días 2 y 6, y su valor máximo el día 10. En tanto que los frutos con T3 presentaron un pico máximo el día 2 y después de alcanzar su mínimo el día 6 incrementaron su producción de CO₂ hasta alcanzar el máximo el día 10. Este comportamiento sugiere que, aunque no perdieron su característica climatérica, los tratamientos disminuyeron sus tasas de respiración, con producción máxima de 27.9 mg de CO₂ kg/h, retrasando la maduración, lo cual concuerda con los datos observados en los cambios de color, firmeza y SST.

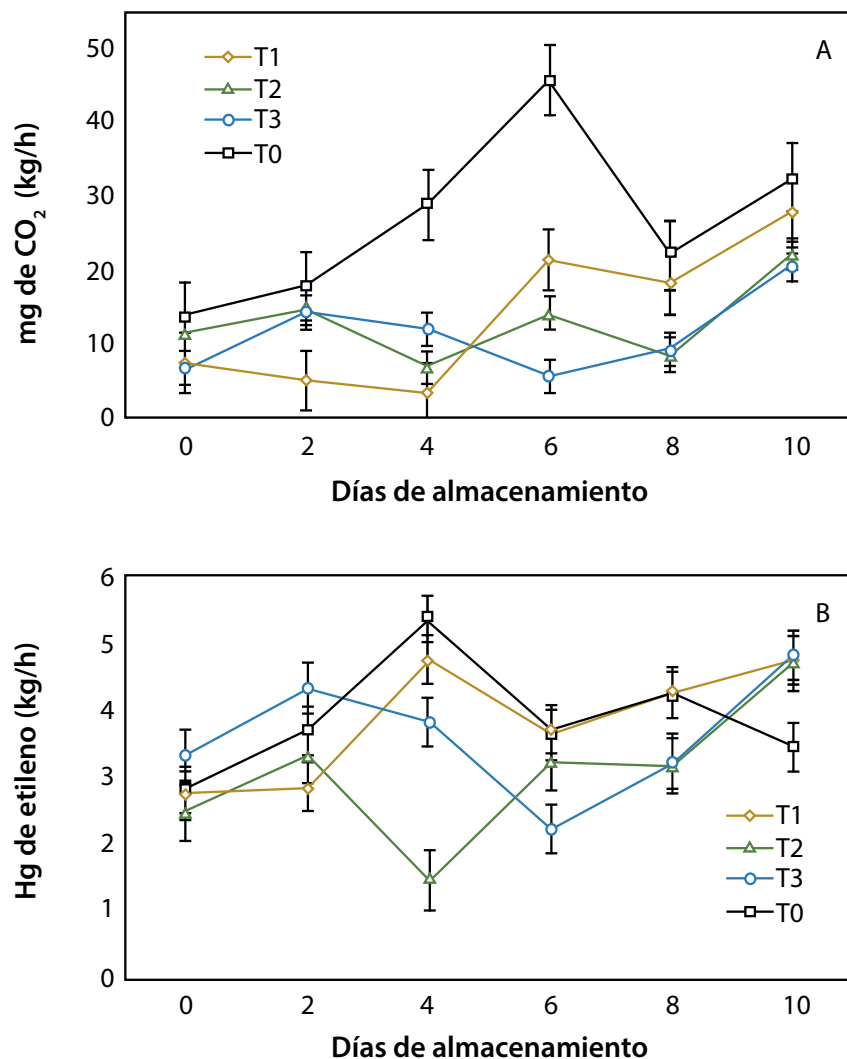
Las concentraciones de CO₂ fueron similares a las reportadas por Mercado-Ruiz y col. (2014), quienes utilizaron una composición diferente de recubrimiento (cera comestible) aplicado a frutos de papaya almacenados a temperatura ambiente por 12 d. Concluyeron que la producción de CO₂ dependió principalmente de la variedad y de los componentes del recubrimiento. En el presente estudio, la aplicación del recubrimiento de quitosano y aceite esencial de cítrico permitió controlar la tasa de producción de CO₂ (Figura 4A). No obstante,

la aplicación de recubrimientos no siempre permite mejorar la vida de anaquel de un producto. Pontigo-Suárez y col. (2015) encontraron que la tasa respiratoria se elevó (165.4 mg de CO₂ kg/h) y con ello la velocidad de maduración, en los frutos con recubrimiento a base de carboximetilcelulosa y aceite esencial de orégano, debido posiblemente al estrés que se provocó en los frutos durante la aplicación del recubrimiento.

La presencia de compuestos activos, añadidos a los recubrimientos, permiten retardar la senescencia del fruto. Esto se atribuye principalmente a la naturaleza hidrofóbica que se confiere al recubrimiento de la barrera física formada; a la modificación de la permeabilidad de la película, lo que permite regular la concentración de O₂ y CO₂ que recibe y libera el fruto; la reducción del número de poros por el cual el vapor de agua y otros gases se intercambian; y a la presencia de compuestos con actividad antioxidante y antifúngica (Télles-Pichardo y col., 2013).

Los recubrimientos en frutos actúan como una barrera semipermeable, modificando el intercambio gaseoso del interior de la fruta con el medio exterior, el recubrimiento provocó una disminución en la tasa respiratoria y transpiración, por lo tanto, una prolongación de la vida poscosecha de producto (Rahimi y col., 2019).

La producción de etileno se muestra en la Figura 4B. Los tratamientos control (T0) y T1 presentaron un comportamiento muy parecido, con un pico de producción de etileno (4.7 μL/kg/h y 5.3 μL/kg/h, respectivamente) a los 4 d, que no fue diferente significativamente ($P < 0.05$). En tanto que, los T2 y T3 presentaron un pico de etileno en el día 2 con disminución gradual al día 4 y 6, respectivamente, para volver a incrementar y alcanzar su máximo nivel. Este comportamiento coincidió con el de la oscilación de la tasa respiratoria que mostraron ambos frutos (Figura 4A). La variación de la producción de etileno en los frutos fue similar a lo reportado por Sañudo y col. (2008); y Santamaría y col. (2009a),



■ Figura 4. Respiración en papaya durante el almacenamiento: A) producción de CO₂; B) producción de etileno.

Figure 4. Papaya respiration during storage: A) CO₂ production; B) ethylene production.

con un patrón respiratorio observado para frutas climatéricas, con oscilaciones constantes durante el periodo de almacenamiento (Sañudo y col., 2008; Velasco-Ulloa y col., 2012).

Efectividad de los recubrimientos en el control *C. gloeosporioides*

La aplicación de los recubrimientos biodegradables en los frutos inoculados con *C. gloeosporioides* mostraron una reducción significativa de los síntomas de la enfermedad con respecto al testigo (mayor al 80 %) (Tabla 3). Las diferentes concentraciones del aceite esencial no mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$)

sobre los porcentajes de severidad y efectividad en la inhibición de *C. gloeosporioides*, por lo que, el efecto de los tratamientos posiblemente esté asociado más a la capacidad inhibitoria del quitosano, que de los aceites. El efecto inhibitor de este polímero depende de su concentración, el grado de polimerización de la cadena de glucosamina, el grado de desacetilación (en este estudio de 18.2 ± 2.9), el porcentaje de acetilación (57.1 %) e incluso, el tiempo de exposición sobre la célula fúngica (Hernández-Lauzardo y col., 2005). Es importante considerar que los hongos presentan diferente sensibilidad al quitosano y esto pue-

■ **Tabla 3. Síntomas en frutos, porcentajes de severidad y de efectividad de los recubrimientos en frutos de papaya inoculados con *C. gloeosporioides*.**

Table 3. Symptoms in fruits, percentages of severity and effectiveness of coatings in papaya fruits inoculated with *C. gloeosporioides*.

Tratamiento	Síntomas en frutos	Severidad (%)	Efectividad (%)
T0	Mancha circular, hundida, acuosa, color gris-negro	97.1 ^a	0.0 ^a
T1	Mancha irregular, superficial, seca, color gris	16.8 ^b	80.7 ^b
T2	Mancha irregular, superficial, seca, color gris	18.8 ^b	84.0 ^b
T3	Mancha irregular, superficial, seca, color gris	17.1 ^b	82.4 ^b
DHS	-	13.1	14.9

T0 = sin recubrimiento; T1 = aceite esencial a 0.5 %; T2 = aceite esencial a 1.0 % y T3 = aceite esencial a 1.5 %.
^{a,b}Medias con letras diferentes en una columna difieren significativamente (Tukey, $P < 0.05$).

de ser debido a la composición de fosfolípidos de membrana y particularmente a la naturaleza de sus cargas (Palma-Guerrero y col., 2008; Ramos y col., 2010). La interacción del quitosano con los grupos de cabeza de fosfolípidos cargados o las proteínas que componen la pared celular permite su capacidad para entrar e interactuar con el ADN y con ello, alterar su conformación e inhibir la síntesis de ARN y de proteína (El-Ghaouth y col., 1992; Hernández-Lauzardo y col., 2005). El uso del quitosano para el control de las enfermedades poscosecha promete ser una nueva alternativa de conservación de los productos hortícolas durante el almacenamiento sin riesgos ecológicos; sin embargo, es necesario continuar profundizando en los diferentes aspectos básicos que contribuyen a explicar el efecto de la aplicación de este biopolímero en las frutas y hortalizas. Dos-Passos-Braga y col. (2019) reportaron una disminución de 49 % a 100 %, en los síntomas de antracnosis en papaya, a $25\text{ °C} \pm 0.5\text{ °C}$ durante 10 d, con un recubrimiento a base de quitosano (5 mg/mL) y aceite esencial de *Mentha piperita* L (1.25 $\mu\text{L/mL}$). En este estudio la disminución de síntomas de antracnosis varió de 80.7 % a 84 %, almacenados a una temperatura de $24\text{ °C} \pm 0.2\text{ °C}$ durante 10 d (Tabla 3).

Los porcentajes de control del hongo para los frutos con recubrimiento fueron de 60 %. Los

resultados fueron similares a lo reportado por Bosquez-Molina y col. (2010), quienes lograron reducir 60 % la antracnosis en papayas con recubrimiento adicionado con aceite esencial de limón mexicano a 0.1 %. Los mismos autores observaron que la concentración de aceite esencial utilizado en la formulación del recubrimiento no fue un factor determinante en la reducción del desarrollo del hongo.

Integridad del recubrimiento

En todos los tratamientos con recubrimiento se observó un desprendimiento del mismo a los 10 d de almacenamiento (Figura 5). Varios factores pudieron ocasionar el desprendimiento, como la pérdida de peso del fruto, la naturaleza química de los componentes del recubrimiento y/o la concentración del aceite esencial en la formulación del recubrimiento. Pontigo-Suárez y col. (2015) observaron a los 7 d, el desprendimiento de los recubrimientos aplicados en papaya a base de carboximetilcelulosa y aceite esencial de clavo y canela, matriz diferente a la evaluada en la presente investigación. Por lo tanto, se requieren más estudios para mejorar las condiciones de aplicación de este tipo de recubrimientos en frutas y hortalizas, así como, evaluar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y térmicas que pudieran condicionar la calidad del fruto en relación con su vida de anaquel y preferencias de los consumidores.



■ **Figura 5.** Desprendimiento del recubrimiento biodegradable de la superficie de papaya al día 10 de almacenamiento.

Figure 5. Detachment of the biodegradable coating frontis surface in the papaya on day 10 storage.

CONCLUSIONES

El aceite esencial de *Citrus reticulata* registró mejor rendimiento y mayor actividad antifúngica *in vitro* contra *Colletotrichum gloeosporioides* en comparación con los aceites de *C. sinensis* y *C. paradisi*. Los frutos con recubrimiento presentaron mayor vida de anaquel respecto al control, el cual alcanzó su madurez en los 10 d que duró el estudio. El uso de recubrimientos biodegradables, combinando quitosano con aceite esencial de *C. reticulata*, aplicados en frutos de papaya en etapa postcosecha, demostró ser eficaz, por lo que po-

dría ser una alternativa para darles mayor vida de anaquel por su capacidad de controlar la antracnosis, disminuir la pérdida de peso y firmeza, y retrasar el cambio de color de verde a anaranjado de la epidermis del fruto sin afectar la producción de sólidos solubles totales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de la presente investigación agradecen al Centro de Investigación y Desarrollo, Sonora, México, por la donación de quitosano para elaborar el recubrimiento utilizado como parte del objetivo de este trabajo.

REFERENCIAS

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18(2): 265-267.
- Acosta, R. M., Nieto-Ángel, D., Domínguez-Álvarez, J. L. y Delgadillo-Sánchez, F. (2001). Calidad y tolerancia en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) a la inoculación del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz., en postcosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 7(1): 119-124.
- Alam, A., Tripathi, A., Sharma, V., and Sharma, N. (2017). Essential oils: A novel consumer and ecofriendly approach to combat postharvest phytopathogens. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. 11(1): 1-16.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemist (1990). *Official Methods of Analysis*. (Thirteenth edition). Washington D.C., USA: AOAC.1023 Pp.
- Araya, A. y Meneses, L. (2010). Influencia de algunos ácidos sobre las propiedades Físico-químicas de películas de quitosano obtenidas a partir de desechos de canchero. *Revista Tecnológica ESPOL*. 23(1): 143-148.
- Ayón-Reyna, L. E., González-Robles, A., Rendón-Maldonado, J. G., Báez-Flores, M. E., López-López, M. E., and Vega-García, M. O. (2017). Application of a hydrothermal calcium chloride treatment to inhibit postharvest anthracnose development in papaya. *Postharvest Biology and Technology*. 124: 85-90.
- Badillo, V. M. and Leal, F. (2019). Taxonomy and botany of the Caricaceae. *Horticultural Reviews*. 47: 289-323.
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. (Fourth edition). APS Press, St. Paul. 218 Pp.
- Barragán-Iglesias, J., Méndez-Lagunas, L. L., and Rodríguez-Ramírez, J. (2018). Ripeness indexes and physicochemical changes of papaya (*Carica papaya* L. cv. Maradol) during ripening on-tree. *Scientia Horticulturae*. 236: 272-278.
- Bauer, A. W., Kirby, M. M., Sherris, J. C., and Turck, M.

- (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal Clinical Pathology*. 45:493-496.
- Bauer, J. L., Villegas, L. F., and Zucchetti, A. (2022). Applications of chitosan in agriculture, industry, and health. *South Florida Journal of Environmental and Animal Science*. 2(2): 37-45.
- Boaro, C. S. F., Vieira, M. A. R., Campos, F. G., Ferreira, G., Chacón, I. D. C., and Marques, M. O. M. (2019). Factors influencing the production and chemical composition of essential oils in aromatic plants from Brazil, in *Essential Oil Research*. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_2. Fecha de consulta: 20 de enero de 2020.
- Bosquez-Molina, E., Ronquillo-de-Jesús, E., Bautista-Baños, S., Verde-Calvo, J. R., and Morales-López, J. (2010). Evaluation of the inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 57(2): 132-137.
- Burt, S. A. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94: 223-253.
- Calero, N., Muñoz, J. y Guerrero, A. (2013). Efecto del pH en emulsiones o/w formuladas con proteína de patata y quitosano. *Grasas y Aceites*. 64(1):15-21.
- Cunha, M., Passos, F. R., Mendes, F. Q., Pigozzi, M. T., and Carvalho, A. M. X. (2018). Propolis extract from different botanical sources in postharvest conservation of papaya, in *Acta Scientiarum. Technology*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.31074>. Fecha de consulta: 20 de enero de 2020.
- Dos-Passos-Braga, S., Lundgren, G. A., Macedo, S. A., Tavares, J. F., dos-Santos-Vieira W. A., Câmara, M. P. S., and de-Souza, E. L. (2019). Application of coatings formed by chitosan and Mentha essential oils to control anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and *C. brevisporum* in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*. 139: 631-639.
- Dukare, A. S., Paul, S., Nambi, V. E., Gupta, R. H., Singh, R., Sharma, K., and Vishwakarma, R. K. (2018). Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59(9):1498-1513.
- Dutra, K., de-Oliveira, J. V., Navarro, D. M. D. A. F., and Santos, J. P. O. (2016). Control of *Callosobruchus maculatus* (FABR.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in *Vigna unguiculata* (L.) WALP. with essential oils from four *Citrus* spp. plants. *Journal of Stored Products Research*. 68: 25-32.
- El-Ghaouth, A., Arul, J., Asselin, A., and Benhamou, N. (1992). Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer*. *Mycological Research*. 96:769-772.
- Fernández, V., Bautista, B., Fernández, V., Ocampo, R., García, P. y Falcón, R. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 24(3): 52-57.
- Hernández, C. H., Águila, A. E., Flores, A. O., Viveros, N., E. L. y Ramos, C. E. (2009). Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Superficies y Vacío*. 22(3): 57-60.
- Hernández-Lauzardo, A. N., Bautista-Baños, S., Velázquez-del-Valle, M. G., Rodríguez-Ambriz, A. L., Corona-Rangel, M. L., Solano-Navarro, A. y Bosquez-Molina, E. (2005). Potencial del quitosano en el control de las enfermedades poscosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 23(2):198-205.
- Hernández-Ochoa, L., Gonzáles-Gonzáles, A., Gutiérrez-Méndez, N., Muñoz-Castellanos, L. N. y Quintero-Ramos, A. (2011). Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(3):455-463.
- Lota, M. L., Serra, D. R., Tomi, F., and Casanova, J. (2001). Chemical variability of peel and leaf essential oils of 15 species of mandarins. *Journal of Applied Polymer Science*. 112: 2166-2178.
- Martínez-Tenorio, Y. y López-Malo, V. (2011). Envases activos con agentes antimicrobianos y su aplicación en los alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*. 5(2):1-12.
- Mercado-Ruiz, J. N., Guzmán-Reyes, I. C., García-Robles, J. M., Salinas-Hernández, R. M. y Báez-Sañudo, R. (2014). Efecto del recubrimiento con ceras comestibles en fruto de papaya (*Carica papaya* L.) sobre su calidad durante el almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*. 15(1): 31-40.
- Miranda, A. D., Alvis, A. y Arrazola, G. (2014). Efectos de dos recubrimientos sobre la calidad de la papaya (*Carica papaya* L.) variedad Tainung. *Temas Agrarios*. 19(1): 7-18.
- Nayak, S. L., Sethi, S., Sharma, R. R., and Prajapati, U. (2019). Active edible coatings for fresh fruits and vegetables. In T. Gutiérrez (Ed.), *Polymers for AgriFood Applications* (pp. 417-432). USA. Springer International Publishing, Cham.
- Osuna-García, J. A., Beltrán, J. A. y Pérez-Barraza, M. H. (2005). Mejoramiento de vida de anaquel y calidad de pa-

paya "Maradol" con 1-metilciclopropeno (1-MCP). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 11(1): 7-12.

Palma-Guerreo, J., Jansson, H., Salinas, J., and López-Llorca, L. (2008). Effect of chitosan on hyphal and spore germination of plant pathogenic and biocontrol fungi. *Journal of Applied Microbiology*. 104(2): 541-553.

Philibert, T., Lee, B. H., and Fabien, N. (2016). Current Status and New Perspectives on Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 181(4): 1314-1337.

Pontigo-Suárez, A. G., Trejo-Márquez, M. A. y Lira-Vargas, A. A. (2015). Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacterial a base de aceite de orégano para conservación de papaya maradol. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 16(1): 58-63.

Rabari, V. P., Chudashama, K. S., and Thaker V. S. (2017). *In vitro* Screening of 75 Essential Oils Against *Colletotrichum gloeosporioides*: A Causal Agent of Anthracnose Disease of Mango. *International Journal of Fruit Science*. 18(1): 1-13.

Rahimi, R., ValizadehKaji, B., Khadivi, A., and Shahrjerdi, I. (2019). Effect of chitosan and thymol essential oil on quality maintenance and shelf-life extension of peach fruits cv. 'Zaferani'. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*. 2(2): 143-156.

Ramos, G. M., Bautista, B. S., Barrera, N. L., Bosquez, M. E., Alia, T. I. A. y Estrada, C. M. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 28(1): 44-57.

Rojas-Fernández, M. M., Corzo-López, M., Sánchez-Pérez, Y., Brito, D., Montes-de-Oca, R., Martínez, Y. y Pino-Pérez, O. (2014). Actividad antibacteriana de aceites esenciales sobre *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. *Revista Protección Vegetal*. 29(3): 197-203.

Rodríguez-Delgado, M. M., Martínez-Ledezma, C., and Villarreal-Chiu, J. F. (2019). Advances in biocoaters for nanoparticles and biodegradable delivery systems in agriculture and food industry: Toward a safer and eco-friendly nanotechnology. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-17061-5_14. Fecha de consulta: 21 de enero de 2020.

Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, J. C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., ..., and Iriti, M. (2017). Biological activities of essential oils: From plant chemoeology to traditional healing systems. *Molecules*. 22(1): 70.

Sharma, N. and Tripathi, A. (2006). Fungitoxicity of the essential oil of *Citrus sinensis* on post-harvest pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 22(6): 587-593.

Santamaría, B. F., Díaz, P. R., Gutiérrez, A. O., Santa-maría, F. J. y Larqué, S. A. (2011). Control de dos especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis en frutos de papaya maradol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(5): 631-643.

Santamaría, B. F., Díaz, P. R., Sauri, D. E., Espadas, G. F., Santamaría, J. M. y Larqué, S. A. (2009b). Características de calidad de frutos de papaya maradol en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica en México*. 35(3): 347-353.

Santamaría, B. F., Sauri, D. E., Espadas, G. E., Díaz, P. R., Larqué, S. A., and Santamaría, J. M. (2009a). Postharvest ripening and maturity indexes for maradol papaya. *Interciencia*. 34(8): 583-588.

Sañudo, B. J. A., Siller, C. J., Osuna, E. T., Muy, R. M., López, A. G. y Labavitch, J. (2008). Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(2): 141-147.

Shakya, R. and Lal, M. A. (2018). Fruit Development and Ripening. In *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer, Singapur. 857-883 Pp.

Singh, M., Pandey, K. D., Rathore, A. C., Sharma, S. P., and Kumar, R. (2022). Bacterial antagonists: Effective tools for the management of postharvest diseases in fruits, vegetables, and food grains. In A. Kumar (Ed.), *Microbial Biocontrol: Food Security and Post-Harvest Management* (pp. 259-309). USA. Springer International Publishing, Cham.

Télles-Pichardo, R., Cruz-Aldaco, K., Ochoa-Reyes, E., Aguilar, C. N. y Rojas, R. (2013). Cubiertas comestibles de cera y polifenoles de candelilla: una alternativa de conservación de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 5(10): 1-7.

Vela-Gutiérrez, G., Del-Ángel-Coronel, O. A., Cabrera-Ponce, J. L., Gómez-Lim, M. A. y García-Galindo, H. S. (2016). Transformación de embriones de papaya maradol (*Carica papaya* L.) con el gen 9/13 de la lipoxigenasa. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. 4(22): 1-14.

Velasco-Ulloa, B., Mercado-Ruiz, J. N., García-Robles, J. M. y Báez-Sañudo, R. (2012). Respuesta física y fisiológica a la aplicación de cera comestible en mangos (*Mangifera indica* L.) cvs. *Tommy Atkins* y *Keitt*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 13(2): 130-139.

Wang, D., Zhang, J., Jia, X., Xin, L., and Zhai, H. (2019). Antifungal effects and potential mechanism of essential oils on *Colletotrichum gloeosporioides* *in vitro* and *in vivo*. *Molecules*. 24(18): 3386.

Yuan, G., Chen, X., and Li, D. (2016). Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*. 89: 117-128.



Imágenes de: Canva educativo

Predicción de la evapotranspiración de referencia utilizando redes neuronales artificiales

Reference evapotranspiration prediction using Artificial Neural Networks

Raquel Salazar-Moreno, Irineo Lorenzo López-Cruz, Efrén Fitz-Rodríguez

RESUMEN

La evapotranspiración de referencia (ETo) es una variable hidrológica de gran importancia en el manejo del riego. Su estimación se realiza con la ecuación de Penman-Montieth (PM), que requiere de muchas variables meteorológicas, las cuales, a veces, no se encuentran disponibles. Dado que la ETo es una variable no lineal y compleja, en los últimos años han surgido métodos alternativos para su estimación, como las redes neuronales artificiales (RNA). El objetivo del presente trabajo fue estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) usando la ecuación de Penman-Montieth, a fin de desarrollar modelos de redes neuronales artificiales (RNA) que permitan predecir la ETo en regiones con información climatológica limitada, y su vez comparar el desempeño de tres modelos de RNA: FFNN, ERNN y NARX. Se utilizó información diaria durante el periodo 1 de enero de 2007 al 31 de diciembre de 2018, de las estaciones meteorológicas ENP8 y ENP4 de la CDMX. Se realizó un análisis de correlación y el análisis de sensibilidad de Garson para estudiar 2 casos (red estática FFNN y redes dinámicas: ERNN y NARX) usando 3 modelos de RNA: 1) RNA con 6 entradas: radiación solar (Rad), temperatura máxima y mínima (Tmax, Tmin), humedad relativa máxima y mínima (RHmax, RHmin) y velocidad del viento (u); y 2) RNA con 2 entradas (Rad y Tmax). La variable de salida fue la ETo calculada con la ecuación de PM. En todos los casos, las 3 RNA fueron muy parecidas, la diferencia más notable es que las redes dinámicas (ERNN y NARX) requieren de menor número de iteraciones para llegar al desempeño óptimo. Las RNA entrenadas, únicamente con Rad y Tmax como entradas, fueron capaces de predecir la ETo en el largo plazo, durante 440 d, en otra estación meteorológica cercana (ENP4), con eficiencias mayores al 90 %.

PALABRAS CLAVE: redes neuronales, evapotranspiración, FFNN, ERNN, NARX.

ABSTRACT

Reference evapotranspiration (ETo) is a hydrological variable of great importance in irrigation management. Its estimation is carried out with the Penman-Montieth (PM) equation that requires many meteorological variables and that are sometimes not available. Since ETo is a nonlinear and complex variable, in recent years alternative methods have emerged for its estimation, such as artificial neural networks (ANN). The objective of this work was to estimate the reference evapotranspiration (ETo) using the Penman-Montieth equation, in order to develop artificial neural network (ANN) models that allow ETo to be predicted in regions with limited climatological information, and in turn to compare the performance of three RNA models: FFNN, ERNN and NARX. Daily information was used during the January 1, 2007 to December 31, 2018 period, for the ENP8 and ENP4 meteorological stations in Mexico city. Based on the correlation analysis and the Garson sensitivity analysis, 2 cases were studied for the 3 ANN models: 1) ANN with 6 inputs: solar radiation (Rad), maximum and minimum temperature (Tmax, Tmin), maximum and minimum relative humidity (RHmax, RHmin), and wind speed (u), and 2) RNA with 2 inputs (Rad and Tmax). The output variable was the ETo, calculated with the PM equation. In all cases, the performance of the 3 ANNs was very similar. The most notable difference is that the dynamic networks (ERNN and NARX) require fewer iterations to achieve the optimum performance. ANNs trained only with radiation and maximum temperature as inputs were able to predict a long-term ETo for 440 at another nearby meteorological station (ENP4), with efficiencies greater than 90 %.

KEYWORDS: neural networks, evapotranspiration, FFNN, ERNN, NARX.

*Correspondencia: rsalazarm@chapingo.mx/ Fecha de recepción: 29 de junio de 2022/ Fecha de aceptación: 8 de diciembre de 2022/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2023.

Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, México, C. P. 56230.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de México es la segunda ciudad en Latinoamérica con mayor número de huertos urbanos, que no solo tienen una función estética, sino que también juegan un papel fundamental en la reducción de la isla de calor y en el abastecimiento de hortalizas a nivel local (Punto Periferia, 2021). Sin embargo, el problema es que en algunos huertos el riego se realiza utilizando agua potable y sin una programación del riego (Antonio y col., 2023). Por esta razón, es indispensable la cuantificación de la evapotranspiración de referencia (ET_o), para la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos. La ET_o indica el volumen de agua perdida por la vegetación natural o pasto de referencia a una altura de 0.12 cm (Allen y col., 1998). Es el proceso hidrológico más difícil de estimar y es fundamental en el mecanismo para la creación de precipitación (Gordillo y col., 2014). De acuerdo con Walls y col. (2020) la ET_o devuelve más del 60 % de la precipitación anual a la atmósfera a nivel mundial, su estimación se realiza a través del uso de mediciones *in situ* o datos meteorológicos disponibles.

La evapotranspiración de referencia es un proceso no lineal, complejo e inestable, por lo que es difícil derivar una fórmula precisa para representar todos los procesos físicos involucrados (Gonzalez y col., 2008). El método recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, conocida como FAO, requiere de numerosos parámetros y variables climatológicas que en ocasiones, aparecen como datos faltantes en las estaciones meteorológicas. Con el fin de tratar este tipo de problema, surgen modelos alternativos, como las redes neuronales artificiales (RNA), que forman parte de la inteligencia artificial y son modelos que tienen la capacidad de aprender la relación subyacente entre entradas y salidas de un proceso, a partir de datos históricos, sin las reglas físicas que se adjuntan explícitamente (Moghaddamnia y col., 2009). Las RNA tienen la capacidad de llevar a cabo un mapeo no lineal, de un espacio de entrada m-dimensional

a un espacio de salida n-dimensional, sin el entendimiento del proceso físico que se está modelando, y se desarrolla basado en modelos matemáticos, en donde la elección del modelo de RNA depende del conocimiento *a priori* del sistema a modelar (Boussaada y col., 2018). Este tipo de técnicas se han utilizado con éxito en la modelación de series de tiempo complejas altamente no lineales, en una gran variedad de campos del conocimiento (Sudheer y col., 2003). Las más utilizadas son estáticas del tipo perceptrón multicapa (MLP, por sus siglas en inglés: Multilayer Perceptron) con alimentación hacia delante (FFNN, por sus siglas en inglés: Feedforward Neural Network).

Kumar y col. (2002) y Kisi (2006) mostraron que la estimación de la ET_o, utilizando RNA con datos meteorológicos, es más precisa que otros métodos convencionales, como la ecuación de Penman-Monteith y Ritchie. Kisi (2006) comparó el desempeño de una RNA con los métodos de Penman-Monteith y los modelos empíricos de Ritchie y Hargreaves-Samani, utilizando 4 entradas (radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) y dos entradas (radiación solar y temperatura). Los dos modelos de redes de MLP tuvieron un desempeño superior que el resto de los modelos, con un R² de 0.986 y 0.854, respectivamente. Moghaddamnia y col. (2009) hicieron una comparación del MLP con tres modelos empíricos y demostraron que las RNA tuvieron un desempeño mucho mejor (R² = 0.97) al obtenido con los modelos empíricos de Hefner, Lincare y Marciano (R² entre 0.23 y 0.54). Asimismo, Rahimi-Khoob (2008) comparó la RNA MLP con el método de Hargreaves para estimar ET_o y confirmó que la red MLP con FFNN, tiene una alta precisión para la estimación de ET_o. En un estudio reciente, Abrishami y col. (2019) utilizaron una red MLP para estimar la ET_o con varias opciones de variables de entrada y diferentes funciones de activación, obteniendo R² mayores a 0.94 en la etapa de entrenamiento. Estos estudios indican que, las RNA más utilizadas son las del tipo de MLP con FFNN. Este tipo

de redes se pueden mejorar haciendo un pequeño cambio en la arquitectura: cuando a las redes FFNN se les agrega retroalimentación de las capas ocultas hacia la capa de entrada, se genera una red recurrente más simple, llamada red neuronal recurrente Elman (ERNN, por sus siglas en inglés: Elman Recurrent Neural Network), la cual tiene memoria de los eventos inmediatos anteriores, y eso le permite tener mejores resultados que las redes FFNN.

Ghose y col. (2018) utilizaron la ERNN para predecir la profundidad del nivel freático mediante diferentes combinaciones de las variables escurrimiento, temperatura, humedad, precipitación y evapotranspiración, en Odisha, India, obteniendo un buen desempeño en la etapa de prueba, con coeficientes de determinación entre 0.9 y 0.92. También Zhao y col. (2022) utilizaron la RNA ERNN para predecir la ETo en diferentes zonas climáticas en China. Los autores afirman que la red ERNN tiene mayor poder computacional y estabilidad que las FFNN.

Un tipo de red recurrente, más compleja que la red ERNN, es la red dinámica recurrente denominada red Autorregresiva No Lineal con Entradas Exógenas (NARX, por sus siglas en inglés: Nonlinear Autoregressive Model with Exogenous inputs), o también llamada, red neuronal recurrente con retrasos en el tiempo, que tiene retroalimentación entre todos los elementos que la conforman, realiza el intercambio de información entre neuronas de una manera mucho más compleja y puede propagar información hacia adelante en el tiempo, lo que la hace útil en la predicción de eventos (Bianchi y col., 2017). Proias y col. (2020) implementaron la red NARX para predecir la ETo en Velesino, Grecia, utilizando como variables de entrada precipitación, temperaturas máxima y mínima, humedad relativa máxima y mínima, velocidad del viento y radiación solar. Los autores obtuvieron valores de R^2 de 0.77 y 0.75 en la predicción de 2 d y 3 d adelante, y encontraron que ETo es más sensible a la radiación y menos sensible a la velocidad del viento.

En los estudios que se han utilizado modelos de RNA para la predicción de la ETo se comparó el desempeño de alguna red del tipo FFNN, ERNN o NARX con métodos empíricos; sin embargo es necesario comparar el desempeño de estas redes en la predicción de la ETo.

El objetivo del presente trabajo fue estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) utilizando la ecuación de Penman-Montieth, a fin de desarrollar modelos de redes neuronales artificiales (RNA) que permitan predecir la ETo en regiones con información climatológica limitada, y su vez comparar el desempeño de tres modelos de RNA: FFNN, ERNN y NARX.

MATERIALES Y MÉTODOS

Adquisición de datos

Para el presente estudio, se utilizaron datos diarios de temperatura mínima y máxima (Tmin, Tmax), humedad relativa mínima y máxima (HRmin, HRmax), velocidad del viento (u) y radiación solar (Rad), durante el periodo del 1 de enero de 2007 al 31 de diciembre de 2018. Se procesaron 4 383 patrones de datos, provenientes de dos estaciones meteorológicas establecidas en la alcaldía Álvaro Obregón en la CDMX: ENP8, ubicada en 19°21'00" N y 99°11'24" W, con una altitud de 2 316 msnm; y ENP4, ubicada en 19°24'00" N y 99°11'24" W, con una altitud de 2 307 msnm (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, 2018).

Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo)

La ETo diaria, que será empleada como salida en los modelos de RNA, se obtuvo utilizando el método de Penman-Monteith, recomendado por la FAO (Allen y col., 1998) y descrito en las ecuaciones 1 a 4. Las variables involucradas se definen en la Tabla 1.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (Rad - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u (e_s - e_o)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u)} \quad (1)$$

■ **Tabla 1. Definición de variables y parámetros involucrados en el cálculo de ETo.**
 Table 1. Definition of variables and parameters involved in the calculation of ETo.

Símbolo	Definición	Unidades
ET _o	Evapotranspiración de referencia	mm/d
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor	kPa/°C
G	Flujo térmico del suelo	MJ/m ² /d
γ	Constante psicométrica	kPa/°C
u	Velocidad del viento medida a 2 m de altura	m/s
T	Temperatura media	°C
e _a	Presión de vapor real	kPa
e _s - e _a	Déficit de presión de vapor	kPa
e ^o (T _{min})	Presión de vapor de saturación a la temperatura mínima diaria	kPa
e ^o (T _{max})	Presión de vapor de saturación a la temperatura máxima diaria	kPa
e _s	Presión de vapor de saturación media	kPa
T _{max}	Temperatura máxima	°C
T _{min}	Temperatura mínima	°C
HR _{max}	Humedad relativa máxima	%
HR _{min}	Humedad relativa mínima	%
Rad	Radiación neta en la superficie de cultivo	MJ/m ² /d

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (2)$$

Donde la presión de vapor de saturación media (e_s):

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2} \quad (3)$$

Presión de vapor real (e_a):

$$e_a = \frac{e^o(T_{min}) \frac{HR_{max}}{100} + e^o(T_{max}) \frac{HR_{min}}{100}}{2} \quad (4)$$

Análisis de correlación

La selección de las variables de entrada se llevó a cabo considerando el análisis de correlación entre las 6 variables de entrada, descritas al inicio de materiales y métodos y la ETo, que permite encontrar la asociación entre las variables de entrada y salida, lo cual representa una guía en la construcción de los modelos de RNA.

Análisis de sensibilidad

Con el fin de identificar las variables más im-

portantes para predecir la salida, se implementó el método de Garson en la red FFNN con 6 entradas, que utiliza la matriz de pesos entre la capa de entrada y la oculta, y entre la capa oculta y la de salida. Se discrimina la importancia relativa de las variables predictoras para una sola variable de respuesta. La contribución relativa de cada entrada (RI_j) está dada por la ecuación 5 (García y col., 2020).

$$RI_j = \left[\frac{\sum_{j=1}^n \left[\frac{|W_{ij} \cdot W_{jo}|}{\sum_{k=1}^m |W_{ik} \cdot W_{ko}|} \right]}{\sum_{k=1}^m \left[\sum_{j=1}^n \left[\frac{|W_{ij} \cdot W_{jo}|}{\sum_{k=1}^m |W_{ik} \cdot W_{ko}|} \right]} \right]} \right] \cdot 100 \quad (5)$$

Donde:

W_{ij} = pesos sinápticos de la conexión de entrada *i* a la capa oculta *j*.

W_{jo} = pesos sinápticos de la conexión capa oculta *j* a la salida.

m = número de neuronas en la capa oculta.

n = número de capas ocultas.

Modelos de redes neuronales para predecir la evapotranspiración de referencia

Se compararon tres modelos de RNA con la

estructura de MLP, para la predicción de la ETo de referencia en la estación meteorológica ENP8: 1) FFNN; 2) ERNN y 3) NARX.

Con base en el análisis de correlación y análisis de sensibilidad de Garson, para los 3 modelos de RNA, se investigaron dos casos: 1) con 6 variables de entrada: Rad, Tmax, Tmin, HRmax, HRmin y u, definidas en la Tabla 1; y 2) con 2 variables de entrada: Rad y Tmax. En todas las RNA implementadas la variable de salida fue la ETo diaria.

De acuerdo con Abrishami y col. (2018), la mayoría de los investigadores eligen conjuntos de datos de entrenamiento y prueba de 90 % versus 10 %, 80 % versus 20 % y 70 % versus 30 %. Sin embargo, a medida que aumenta el número de patrones de entrenamiento, mejora el desempeño de la RNA en la predicción. Debido a lo anterior, para el presente trabajo, el 90 % de los datos se utilizaron para el entrenamiento de la red (3 943 d: 1 de enero del 2007 al 18 de octubre del 2017), y el 10 % para la evaluación de la red (440 d), que incluye el periodo del 19 de octubre 2017 al 31 de diciembre del 2018, utilizando la red entrenada sin proveer la salida.

Con el fin de hacer una comparación equilibrada de las 3 redes, se utilizó el mismo número de nodos en la capa oculta, los cuales se eligieron de acuerdo a los siguientes criterios:

1) Regla de la pirámide geométrica (Masters, 1993);

$$h_1 = \sqrt[m * n]$$

2) Promedio entre el número de nodos en la capa de entrada y la capa de salida

$$h_2 = \frac{m + n}{2}$$

3) Teorema de Kolmogorov (Kůrková, 1992);

$$h_3 = 2n + 1$$

4) Regla empírica

$$h_4 = n$$

Donde:

n = número de neuronas de entrada.

m = número de neuronas de salida.

Se compararon 5 algoritmos de entrenamiento: 1) Levenberg-Marquardt (Trainlm); 2) gradiente conjugado escalado (Trainscg); 3) Broyden, Fletcher, Goldfarb, y Shanno (Tranibfgs); 4) gradiente conjugado Fletcher-Powell (Traincgf); y 5) gradiente descendente (Traingd), en combinación con dos algoritmos de aprendizaje: 1) gradiente descendente (Learngd) y 2) gradiente descendente con momento (Learngdm).

En estudios anteriores, realizados para la predicción de la ETo, se utilizó la función de activación de la tangente sigmoideal entre la capa de entrada y la oculta (Huo y col., 2012), la cual se implementó en el presente estudio y se expresa como:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6)$$

La función de activación entre la capa oculta y la capa de salida fue una función lineal.

RNA con alimentación hacia adelante (FFNN)

La red neuronal del tipo MLP con FFNN, es una estructura que permite aprender cualquier tipo de mapeo no lineal continuo. Se conocen como modelos no lineales, que son capaces de descubrir patrones y simular y pronosticar series de tiempo (Jahani y Mohammadi, 2019). La arquitectura del modelo estático de RNA se refiere a la capa de entrada y salida, número de capas ocultas y el número de nodos en cada una. De acuerdo con Kumar y col. (2002) una capa oculta es suficiente para poder obtener resultados precisos.

El proceso de entrenamiento consiste en modificar los pesos, de tal forma que, generen un error cuadrado medio mínimo (MSE, por sus siglas en inglés: Mean Squared Error) entre la

salida real y la predicha por la red. Posteriormente, en la etapa de prueba o evaluación, el desempeño de la red se avalúa con datos no incluidos en la etapa de entrenamiento y se obtiene nuevamente el error. La Figura 1 muestra la arquitectura de la red neuronal del tipo MLP con FFNN, con las 6 variables de entrada y la salida ETo.

Red neuronal recurrente Elman (ERNN)

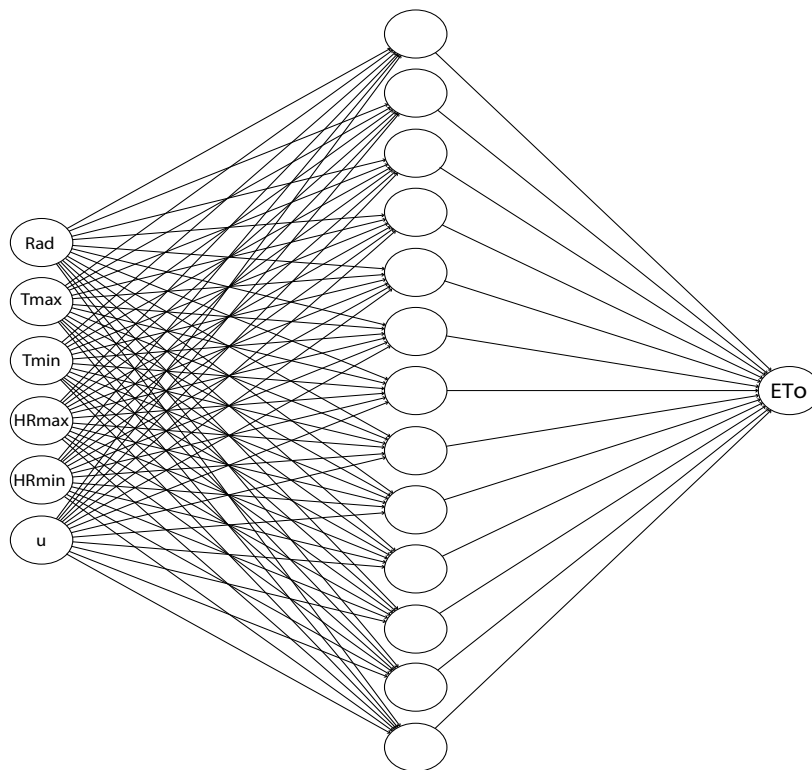
La ERNN fue propuesta por Elman (1990) para el procesamiento del habla. Es una red neuronal dinámica recurrente, en donde existe retroalimentación a diferentes niveles. Cada neurona está asociada a una neurona de la capa oculta, que se utiliza para recordar información del estado inmediato anterior y puede ser considerada como retraso de un paso. Esta propiedad hace que la red ERNN sea sensible a datos históricos y tiene la función de un mapa dinámico de características, que es especialmente adecuada para construir modelos de predicción (Gao y col., 2021).

La capa de entrada y salida y la capa oculta se conectan de igual forma que una red MLP, sin embargo, durante el entrenamiento, se transfiere información de la capa oculta hacia la salida, y también de la capa oculta hacia la entrada de manera recursiva. La información se procesa a través de las funciones de activación (Figura 2). Yun y col. (2021) afirman que esta red es muy sensible a las series de tiempo, debido a la no linealidad dinámica, lo cual la hace eficiente para resolver problemas de predicción dinámica. La expresión de espacio de estado no lineal de la red neuronal ERNN se describe a continuación:

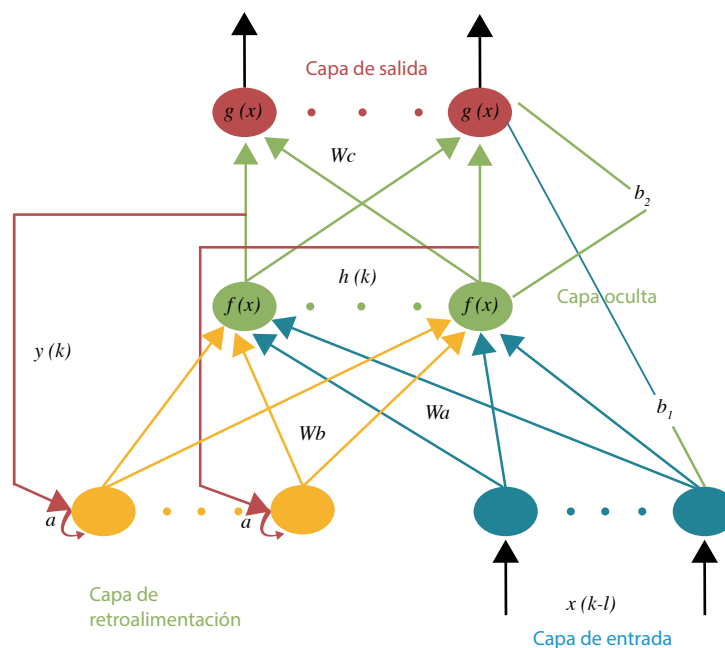
$$y(t) = g(W_c h(t) + b_2) \quad (7)$$

$$h_c(t) = \alpha h_c(t-1) + h(t-1) \quad (8)$$

$$h(t) = f(W_b h_c(t) + W_a x(t-1)) + b_1 \quad (9)$$



■ **Figura 1.** Arquitectura de la red neuronal estática MLP con alimentación hacia adelante (FFNN).
Figure 1. Feed-forward MLP static neural network architecture (FFNN).



■ **Figura 2. Arquitectura de la red neuronal recurrente Elman (ERNN).**
 Figure 2. Elman recurrent neural network architecture (ERNN).

Donde:

$\mathbf{y}(t)$ = vector de salida de la red.

$x(t - 1)$ = vector de entrada.

$h_c(t)$ = salida de la capa de retroalimentación en el tiempo t .

$h(t)$ = salida de la capa oculta en el tiempo t .

α = factor de ganancia de auto-retroalimentación ($0 < \alpha < 1$).

Las matrices de pesos entre la capa de entrada a la capa oculta, capa de retroalimentación a la capa oculta y la capa oculta a la capa de salida son W_a , W_b y W_c , respectivamente. Los valores de umbral de la capa oculta y la capa de salida son b_1 y b_2 ; $f(x)$ y $g(x)$ son las funciones de transferencia de la capa oculta y la capa de salida.

La actualización de pesos se realiza como:

$$W = W + \Delta W$$

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial w}$$

Donde:

W = peso

E = función objetivo (error cuadrado medio, MSE)

η = paso estudiado.

La red neuronal ERNN ha sido utilizada de manera exitosa por Yun y col. (2021) para un sistema de detección de seguridad, el modelo predice de manera precisa y puede generar “early warnings” para los administradores encargados de la seguridad. Asimismo, Ghose y col. (2018) utilizaron la RNA tipo ERNN para predecir la profundidad en el nivel freático. Dichos autores afirmaron que, una de las ventajas de este tipo de redes es su rápida convergencia, comparada con otras RNA. La estructura de la red neuronal ERNN se puede generar con la función “newelm” de Matlab v2020a.

(10) **Modelo de Red Autorregresiva No Lineal con Entradas Exógenas (NARX)**

(11) Las redes NARX son redes dinámicas recurrentes, con una o varias capas ocultas y se basan en modelos no lineales de tiempo discreto autorregresivos exógenos (ARX). La recurrente-

cia en la red NARX está dada no solo por la retroalimentación de la salida a las capas intermedias, sino también de la salida a la entrada. Las redes NARX se han empleado en muchos contextos de aplicación diferentes, para pronosticar valores futuros de la señal de entrada (Diaconescu, 2008).

El modelo NARX es muy adecuado para modelar sistemas no lineales y series de tiempo. Boussaada y col. (2018) afirmaron que, el aprendizaje es más efectivo en las redes NARX que en otras redes neuronales y la convergencia es más rápida. Los modelos NARX pueden aplicarse a una gran variedad de sistemas dinámicos no lineales, tienen la habilidad de almacenar en su memoria valores pasados, a fin de predecir valores futuros. Bianchi y col. (2017) mencionaron que los modelos NARX tienen muy buen desempeño en la predicción de series de tiempo altamente no lineales.

La ventaja de las redes NARX es que se pueden implementar como MLP, el próximo valor de salida $y(t)$ se expresa en (12).

$$y(t) = \varnothing \left(x[t-d_x], \dots, x[t-1], x[t], y[t-d_y], \dots, y[t-1] \right) \quad (12)$$

Donde:

$\varnothing(\cdot)$ = función de mapeo no lineal desempeñada por MLP.

d_x y d_y = retrasos en el tiempo de las entradas y salidas.

Las entradas en la red NARX son dos líneas de retraso (TDL, por sus siglas en inglés Tapped-Delay Lines) descritas en (13).

$$i[t] = \begin{bmatrix} (x[t-d_x], \dots, x[t-1], x[t])^T \\ (y[t-d_y], \dots, y[t-1])^T \end{bmatrix} \quad (13)$$

Las ecuaciones en diferencias que gobiernan el modelo NARX son:

$$h_l[t] = f(h_{l-1}[t-1], \theta_l) \quad (14)$$

$$h_l[t] = f(h_{l-1}[t-1], \theta_l) \quad (15)$$

$$y[t] = g(h_{N_l}[t-1], \theta_0) \quad (16)$$

Donde:

$h_l[t]$ = salida de la 1ª capa oculta.

$h_l[t]$ = salida de la l ª capa oculta al tiempo t .

$g(\cdot)$ = función lineal.

$f(\cdot)$ = función de transferencia, que puede ser la función sigmoideal o la tangente hiperbólica.

θ_i = pesos entre la capa de entrada y la 1ª capa oculta.

θ_o = pesos entre la última capa oculta y la capa de salida.

θ_{hl} = pesos entre las capas ocultas sin incluir la capa de entrada y la de salida.

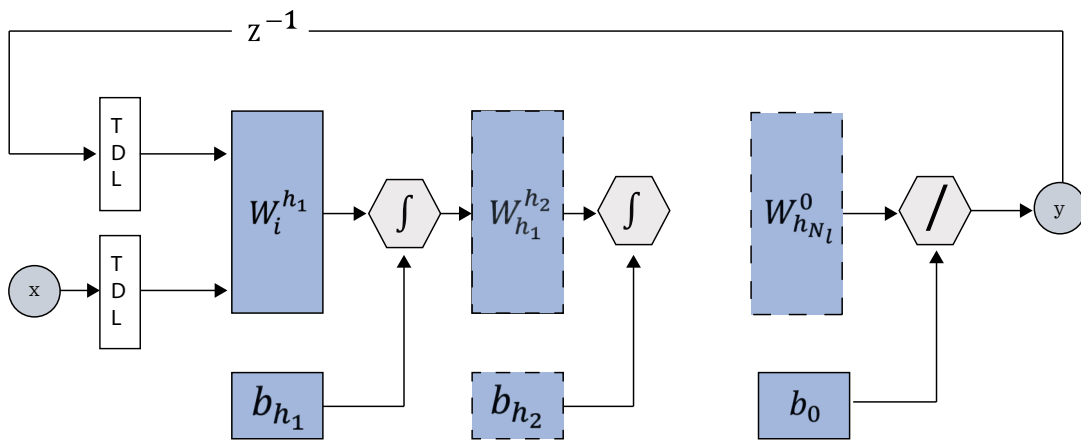
La arquitectura tipo NARX tiene recursividad de la salida final hacia la entrada y, además, con retrasos en entradas y salidas (Figura 3). La ventaja de la red NARX, en comparación con la red ERNN, es que en la etapa del entrenamiento, la retroalimentación se desconecta y funciona como una red FFNN, utilizando valores reales de $y(t)$ en lugar de valores estimados por la red y, una vez entrenada, se vuelve a conectar la retroalimentación de la salida hacia la entrada, para poder predecir el siguiente valor de $y(t)$ (Bianchi y col., 2017). El modelo NARX se considera un buen predictor de series de tiempo y una generalización no lineal de los modelos ARX y, por lo tanto, es una buena opción para predecir valores de la serie de tiempo ETO.

La función newnarx del toolbox Matlab v2020a, crea una red MPL, pero con retroalimentación de la salida hacia la entrada y, además, con retrasos en las entradas y en las entradas provenientes de la retroalimentación.

Todas las simulaciones de redes neuronales se realizaron en Matlab v2020a.

Índices de desempeño de los modelos

El desempeño de los modelos de RNA se mi-



TDL = Línea de retraso (Tapped Delay Line); x = entradas; y = salidas; $W_i^{h1}, W_{h1}^{h2}, W_{h_{N1}}^0, b_{h1}, b_{h2}, b_0$, son los pesos y sesgos de las diferentes capas.

■ **Figura 3. Arquitectura de la RNA-NARX.**
Figure 3. RNA-NARX architecture.

dió utilizando los siguientes índices estadísticos (Heng y col., 2009):

1) Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (E):

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_o - P)^2}{\sum_{i=1}^n (P_o - \bar{P})^2} \quad (17)$$

Donde:

P_o = dato estimado.

P = dato observado.

\bar{P} = media de los datos observados.

2) Error medio absoluto (MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_o - P| \quad (18)$$

3) Error cuadrado medio (MSE):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_o - P)^2}{n} \quad (19)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evapotranspiración

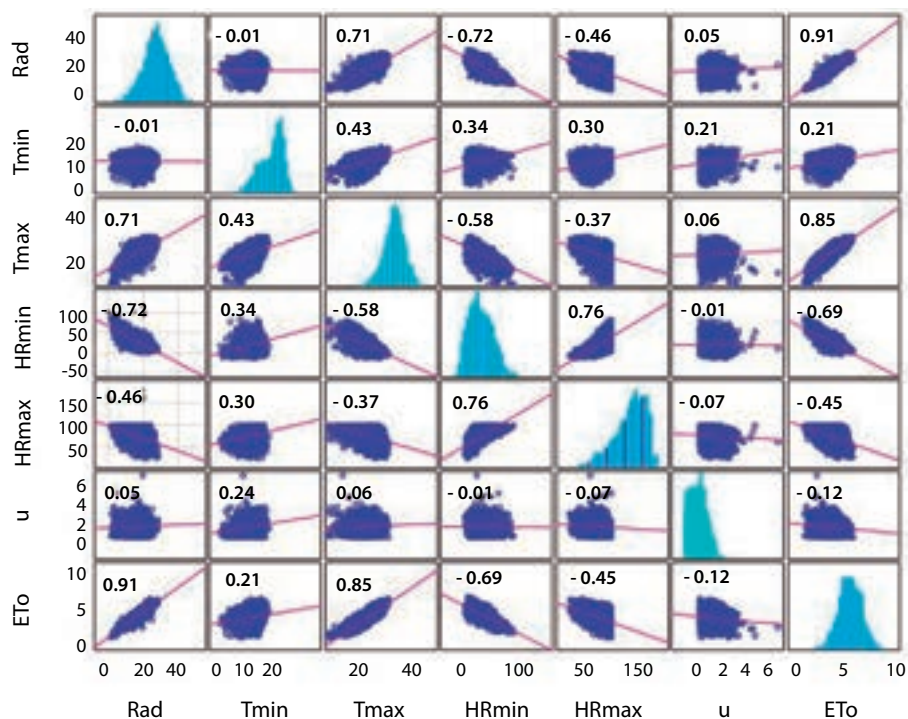
Durante el periodo estudiado, 2007-2018, se registró una variación diaria de la ETo en la estación ENP8 entre 0.74 mm/d a 5.96 mm/d, con media de 3.4 mm/d, desviación estándar

de 0.8 mm/d y coeficiente de variación (CV) de 24.5 %. Mientras que en la estación ENP4, la ETo varió entre 0.7 mm/d a 4.8 mm/d, registrando una media de 2.99 mm/d, desviación estándar de 0.7 mm/d y coeficiente de variación de 23.6 %. La ETo acumulada en el año 2018, en las estaciones meteorológicas ENP8 y ENP4, fue de 1 295 mm y 1 121 mm, respectivamente, la cual estuvo muy por debajo de la reportada por Ruiz y col. (2015), para una estación cercana a la CDMX (1 419 mm).

Análisis de correlación

La Figura 4 muestra la matriz de correlaciones entre todas las variables utilizadas en los modelos de RNA. Existió una correlación muy fuerte entre la ETo con la Rad ($r = 0.91$) y Tmax ($r = 0.85$). La Tmin se correlacionó con la ETo en mucho menor medida ($r = 0.21$). Estos resultados indican que, un modelo de RNA que incluya a las variables Rad y Tmax podría generar buenos resultados predictivos.

La HRmax y HRmin tuvieron una correlación moderada negativa con la ETo. El uso de estas variables, junto con la velocidad del viento, podría parecer redundante en el modelo de RNA, sin embargo, Walls y col. (2020) afirmaron que, a diferencia de los modelos de regresión li-



■ **Figura 4. Matriz de correlación entre las variables climatológicas y la evapotranspiración potencial.**
Figure 4. Correlation matrix between climatic variables and potential evapotranspiration.

neal múltiple, la multicolinealidad (alta correlación entre más de dos variables explicativas) no afecta a los modelos de RNA.

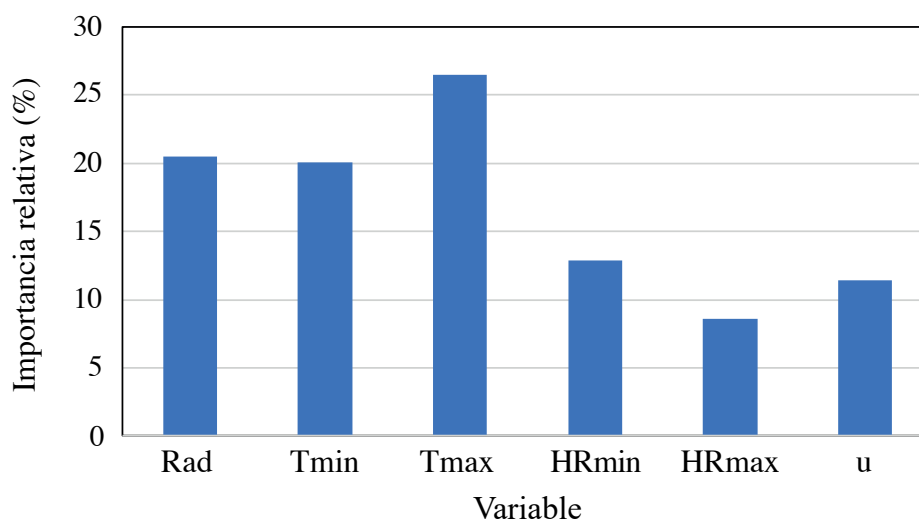
Análisis de sensibilidad por el método de Garson

Los resultados del análisis de sensibilidad, por el método de Garson, aplicado a la red FFNN, se despliegan en la Figura 5. Las variables más importantes en la predicción de la ETo fueron la Rad y Tmax, lo cual coincide con el análisis de correlación. Meneses y col. (2020) estimaron la ETo con el método de Penman-Monteith, para después aplicar un modelo FFNN para la predicción de esta variable. Los autores mencionaron que, una de las dificultades más grandes en la estimación de la ETo es que requiere un gran número de variables climáticas, que en ocasiones no se encuentran disponibles en las estaciones meteorológicas. Por ese motivo, utilizaron únicamente Tmax y Tmin en la estimación de la ETo, el modelo pudo explicar 91.2 % de la variación de la ETo. Asimismo, reportaron que las variables con la

mayor sensibilidad fueron la Tmax y Tmin, sin embargo, no consideraron a la Rad.

Zanetti y col. (2007) utilizaron, en el modelo de RNA, la Tmax y Tmin para predecir la ETo en dos estados de Brasil, y demostraron la superioridad de los modelos de RNA (MSE varió entre 0.039 a 0.356), comparados con el método empírico de Hargreaves (MSE osciló entre 0.859 a 0.962). Proias y col. (2020) encontraron que ETo era más sensible a la Rad y menos sensible a la u. Por otro lado, Kisi (2006) estimó la ETo, utilizando RNA con diferentes combinaciones de datos climáticos diarios de Rad, T, HR y u, y demostró que la RNA, únicamente con dos entradas (Rad y T), tuvieron un R^2 de 0.98, igual que los modelos de 3 y 4 entradas, en el periodo de prueba.

Walls y col. (2020) compararon 7 modelos de RNA para predecir la ETo en Canadá, variando las entradas de la red: Rad, T, HR, u y flujo de calor del suelo (G). El modelo que incluyó únicamente Rad y T tuvo un desem-



■ **Figura 5. Análisis de sensibilidad de las variables de entrada (FFNN).**

Figure 5. Sensitivity analysis of input variables (FFNN).

peño similar que el de los modelos con más entradas, por lo que los autores afirmaron que, cualquier modelo RNA que incluya radiación neta debe ser capaz de proporcionar una estimación adecuada de la ETo, y que la precisión del modelo puede ser refinada aún más incluyendo la temperatura del aire.

El análisis de correlación y el método de Garson, en el presente trabajo, mostraron que las variables que tuvieron mayor influencia en el comportamiento de la ETo fueron Rad y Tmax. Por esta razón, en los tres modelos de RNA desarrollados, se estudiaron dos casos: 1) RNA con 6 entradas (Rad, Tmax, Tmin, HRmax, HRmin, u), y 2) RNA con 2 entradas (Rad y Tmax).

Número de nodos en la capa oculta y algoritmos de entrenamiento

En la red FFNN, el número de nodos en la capa oculta varió entre 6 y 13, de acuerdo a los criterios descritos en la metodología. Dada la poca diferencia entre las eficiencias (0.982 a 0.983), se utilizaron 7 nodos en la capa oculta, para propósitos de comparación de los tres modelos de RNA.

Al probar los algoritmos de entrenamiento Trainlm, Trainscg, Tranibfgs, Traincgf y Traingd, en combinación con los dos algoritmos de

aprendizaje, Learngdm y Learngd, la mayor eficiencia de la RNA se obtuvo con la combinación del algoritmo de aprendizaje Learngdm y el algoritmo de entrenamiento Trainlm. Estos dos algoritmos, de aprendizaje y entrenamiento, fueron utilizados en todos los modelos de RNA.

Resultados del entrenamiento y evaluación de los modelos de RNA

Entrenamiento

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los indicadores de desempeño de los 3 modelos de RNA para los dos casos estudiados de 6 y 2 entradas. Durante la etapa de entrenamiento (90 % de los datos de la estación ENP8), la eficiencia obtenida fue superior a 0.98 con 6 entradas y a 0.92 con 2 entradas. Esto indica que, la ETo estimada por los 3 modelos (independientemente del número de entradas) estuvo muy cercana a la ETo calculada con la ecuación de Penman-Monteith. Dichos valores fueron superiores a los obtenidos por Meneses y col. (2020) de 0.912 en un estudio en Baixo Brasil, durante el periodo de 1984-2017, utilizando 3 entradas: Tmax, Tmin y la media. Yohanani y col. (2022) implementaron un modelo de RNA, para estimar la ETo en la costa del mediterráneo en Israel, utilizando como entrada únicamente la Rad y obtuvieron un

■ **Tabla 2.** Indicadores de desempeño en los tres modelos de redes neuronales con 6 y 2 entradas.
Table 2. Performance indicators of the three neural network models with 6 and 2 inputs.

Modelo de RNA	Desempeño en entrenamiento (90 % datos) Estación ENP8		Evaluación de las RNA (10 % datos) Estación ENP8		Predicción de la ETo con RNA entrenadas (10 % datos) Estación ENP4	
	6 entradas	2 entradas	6 entradas	2 entradas	6 entradas	2 entradas
FFNN	EF = 0.982 MAE = 0.083 MSE = 0.012 ITER = 95	EF = 0.925 MAE = 0.185 MSE = 0.052 ITER = 37	EF = 0.947 MAE = 0.140 MSE = 0.030	EF = 0.903 MAE = 0.196 MSE = 0.057	EF = 0.646 MAE = 0.366 MSE = 0.182	EF = 0.856 MAE = 0.230 MSE = 0.073
ERNN	EF = 0.987 MAE = 0.084 MSE = 0.012 ITER = 48	EF = 0.924 MAE = 0.186 MSE = 0.053 ITER = 20	EF = 0.947 MAE = 0.139 MSE = 0.031	EF = 0.903 MAE = 0.195 MSE = 0.056	EF = 0.677 MAE = 0.354 MSE = 0.166	EF = 0.855 MAE = 0.23 MSE = 0.074
NARX	EF = 0.982 MAE = 0.081 MSE = 0.012 ITER = 90	EF = 0.924 MAE = 0.186 MSE = 0.053 ITER = 9	EF = 0.942 MAE = 0.141 MSE = 0.034	EF = 0.902 MAE = 0.195 MSE = 0.056	EF = 0.665 MAE = 0.360 MSE = 0.172	EF = 0.854 MAE = 0.229 MSE = 0.075

EF = Eficiencia; MAE = Error medio absoluto, MSE = Error cuadrado medio, ITER = Iteraciones.

$R^2 = 0.88$ para periodos cortos, de un mes. Sus resultados confirman los de este estudio, del análisis de correlación y el análisis de sensibilidad de Garson, en el sentido de que, para construir un modelo de RNA, para la predicción de la ETo, es suficiente considerar la Rad y la Tmax.

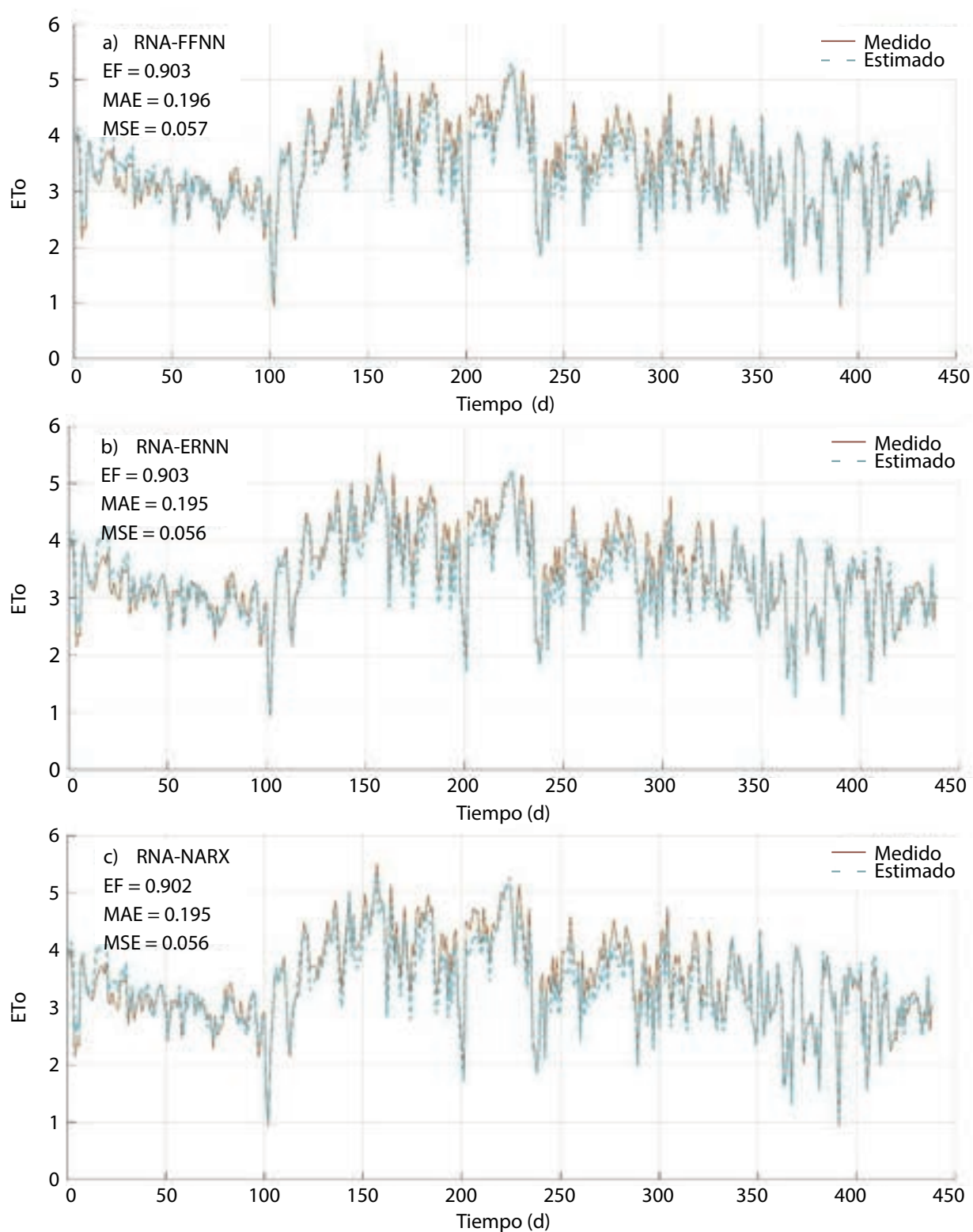
Evaluación con datos de la estación ENP8

Una vez que las redes fueron entrenadas, su poder predictivo se puede visualizar a través de la etapa de evaluación con el 10 % de la información de la estación ENP8 (440 d) no incluida en el entrenamiento y en donde no se proveen las salidas (ETo). En las columnas 4 y 5 de la Tabla 2 se despliegan los resultados para los 2 casos. En esta etapa, los indicadores de desempeño en la red FFNN y ERNN son prácticamente iguales y disminuyen ligeramente para la red NARX. En general, los indicadores de desempeño disminuyeron en las RNA que utilizaron solo 2 entradas (Rad y Tmax) (Figura 6); sin embargo, en todos los casos se registran eficiencias mayores a 0.9.

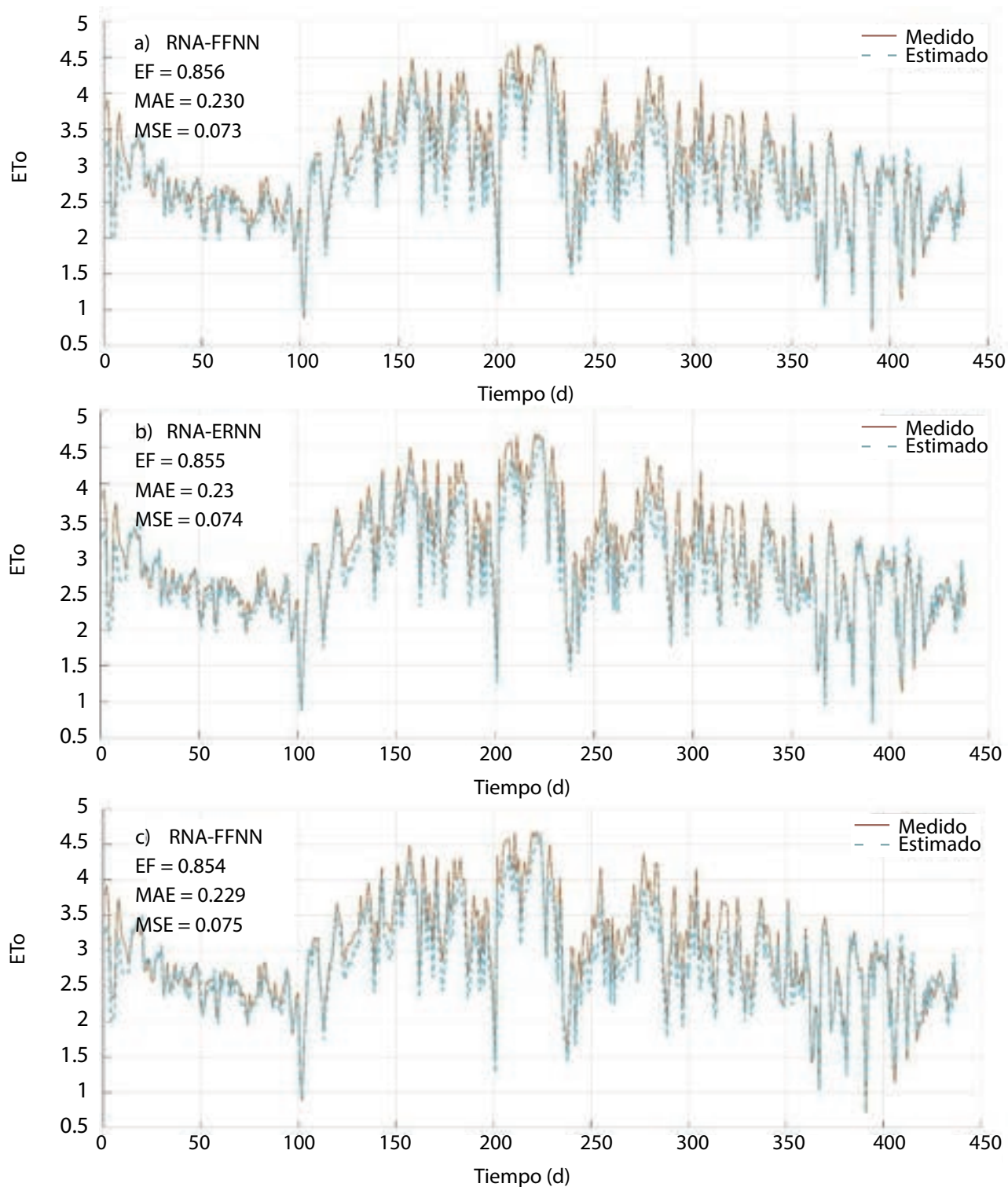
Predicción de la ETo para la estación ENP4 utilizando las RNA entrenadas

Las RNA en este estudio presentaron un excelente desempeño en la etapa de entrenamiento y evaluación del modelo, utilizando datos de la misma estación. Además, se demostró que es posible estimar la ETo en estaciones climatológicas, o en regiones que únicamente cuentan con información de Rad y Tmax.

La columna 6 de la Tabla 2 muestra los resultados de la simulación de la red entrenada con datos de la ENP8 y utilizada en la predicción de la ETo en la estación ENP4. La eficiencia obtenida usando 6 entradas fue baja, con un rango de 0.64 a 0.67; sin embargo, al utilizar 2 entradas se obtuvieron valores superiores a 0.85, lo cual puede considerarse satisfactorio como modelo predictivo (Tabla 2, columna 7). Este mejoramiento del desempeño, al reducir las entradas, se podría explicar por el hecho de que los modelos cuentan con menor número de conexiones y pesos, lo que los hace más eficientes en la etapa de evaluación.



■ **Figura 6. Comparación entre la ETo calculada con la ecuación PM y la predicha por las RNA de 2 entradas, durante 440 d en la estación ENP8 (etapa de evaluación).**
 Figure 6. Comparison between the ETo calculated with the PM equation and that predicted by the ANN of 2 inputs, during 440 d at the ENP8 station (evaluation stage).



■ **Figura 7. Predicción de la ETo en la estación ENP4 utilizando las redes entrenadas con Tmax y Rad de la estación ENP8.**

Figure 7. Prediction of the ETo in the ENP4 station using the trained network with Tmax and Rad from station ENP8.

La Figura 7 compara los datos reales y los resultados obtenidos de la simulación de la ETo, durante 440 d, en la estación ENP4, utilizando las RNA entrenadas (FFNN, ERNN y NARX) con datos de la estación ENP8 y con 2 entradas Rad y Tmax. Las 3 redes entrenadas tuvieron un buen desempeño en la simulación de la ETo de otra estación (ENP4), aunque la tendencia general fue a subestimar esta variable. La mayor ventaja de las redes recurrentes ERNN y NARX es que requirieron menor número de iteraciones (Tabla 2).

CONCLUSIONES

Los modelos de RNA, estático (FFNN) y los dinámicos (ERNN y NARX), con datos meteorológicos limitados (temperatura máxima: Tmax y radiación solar: Rad) tuvieron menor eficien-

cia que los modelos de RNA con las 6 variables implicadas en la ecuación de Penman-Monteith. Sin embargo, mostraron ser una herramienta poderosa en la predicción de la evapotranspiración (ETo) de referencia, utilizando únicamente como variables de entrada la Tmax y la Rad. Las redes NARX y ERNN alcanzaron el mejor desempeño con menor número de iteraciones. Se demostró que una RNA entrenada puede ser utilizada para predecir la ETo en otra localidad, únicamente con datos de Rad y Tmax, sin necesidad de que estén disponibles las variables climatológicas en las estaciones. Dicha RNA entrenada, se puede emplear para estimar la demanda hídrica de cultivos y con ello, poder realizar una programación del riego.

REFERENCIAS

- Abrishami, N., Sepaskhah, A. R., and Shahrokhnia, M. H. (2018). Estimating wheat and maize daily evapotranspiration using artificial neural network. *Theoretical and Applied Climatology*. 135(3): 945-958.
- Allen, G. R., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - *FAO Irrigation and drainage paper 56*. *Fao. Rome*. 300(9): D05109.
- Antonio, F. H., Salazar, M. R., Fitz, R. E., López, C. I., Schmidt, U. y Dannelh, D. (2023). Rendimientos y eficiencia en el uso del agua de lechuga y tomate cherry en jardines urbanos. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*. 14(5): in press.
- Bianchi, F. M., Maiorino, E., Kampffmeyer, M. C., Rizzi, A., and Jenssen, R. (2017). *Recurrent neural networks for short-term load forecasting: an overview and comparative analysis*. Editorial Springer. 74 Pp.
- Boussaada, Z., Curea, O., Remaci, A., Camblong, H., and Mrabet-Bellaaj, N. (2018). A Nonlinear Autoregressive Exogenous (NARX) Neural Network Model for the Prediction of the Daily Direct Solar Radiation. *Energies*. 11(3): 620.
- Diaconescu, E. (2008). The use of NARX neural networks to predict chaotic time series. *Wseas Transactions on Computer Research*. 3(3): 182-191.
- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*. 14(2): 179-211.
- Gao, S., Zhang, Y., Zhang, Y., and Zhang, G. (2021). Elman neural network soft-sensor model of pvc polymerization process optimized by chaos beetle antennae search algorithm. *IEEE Sensors Journal*. 21(3): 3544-3551.
- García, M. H., Flores, M. H., Ascencio, H. R., Khalil, G. A., Tijerina, C. L., Mancilla, V. O. R., and Vázquez, P. M. A. (2020). Corn grain yield estimation from vegetation indices, canopy cover, plant density, and a neural network using multispectral and RGB images acquired with unmanned aerial vehicles. *Agriculture*. 10(7): 277.
- Ghose, D., Das, U., and Roy, P. (2018). Modeling response of runoff and evapotranspiration for predicting water table depth in arid region using dynamic recurrent neural network. *Groundwater for Sustainable Development*. 6: 263-269.
- González, C. J. M., Cervantes, O. R., Ojeda, B. W., y López, C. I. (2008). Predicción de la evapotranspiración de referencia mediante redes neuronales artificiales. *Ingeniería Hidráulica en México*. 18(1): 127-138.
- Gordillo, S. V. M., Flores, M. H., Tijerina, C. L. y Arteaga R. R. (2014). Estimación de la evapotranspiración utilizando un balance de energía e imágenes satelitales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(1): 143-155.
- Heng, L. K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T., and Steudt, P. (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agro-*

onomy Journal. 101(3): 488-498.

Huo, Z., Feng, S., Kang, S., and Dai, X. (2012). Artificial neural network models for reference evapotranspiration in an arid area of northwest China. *Journal of Arid Environments*. (82): 81-90.

Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (2018). Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU). [En línea]. Disponible en: <https://www.ruoa.unam.mx/pembu/>. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022.

Jahani, B. and Mohammadi, B. (2019). A comparison between the application of empirical and ANN methods for estimation of daily global solar radiation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 137(1-2): 1257-1269.

Kisi, Ö. (2006). Generalized regression neural networks for evapotranspiration modelling. *Hydrological Sciences Journal*. 51(6): 1092-1105.

Kumar, M., Raghuvanshi, N. S., Singh, R., Wallender, W. W., and Pruitt, W. O. (2002). Estimating evapotranspiration using artificial neural network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 128(4): 224-233.

Kůrková, V. (1992). Kolmogorov's theorem and multilayer neural networks. *Neural Networks*. 5(3): 501-506.

Masters, T. (1993). *Practical neural network recipes in C*. USA. Academic Press. 493 Pp.

Meneses, K. C. D., Aparecido, L. E. D. O., Meneses, K. C. D., and Farias, M. F. D. (2020). Estimating potential evapotranspiration in maranhão state using artificial neural networks. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 35(4): 675-682.

Moghaddamnia, A., Ghafari-Gousheh, M., Piri, J., Amin, S., and Han, D. (2009). Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Advan Water Resou* (32): 88-97.

Proias, G., Gravalos I., Papageorgiou, E., Poczęta, K., and Sakellariou-Makrantonaki, M. (2022). Forecasting reference evapotranspiration using time lagged recurrent neural network. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 16: 699-707.

Punto Periferia (2021). Ciudad de México: la segunda ciudad con más huertos urbanos en latinoamérica, en *ArchDaily México*. [En línea]. Disponible en: <https://www.archdaily.mx/mx/963873/ciudad-de-mexico-la-segunda-ciudad-con-mas-huertos-urbanos-en-latinoamerica>. Fecha de consulta:

8 diciembre de 2022.

Rahimi-Khoob, A. (2008). Artificial neural network estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation in a semi-arid environment. *Irrigation Science*. 27(1): 35-39.

Ruiz, A. O., Martínez, D. G., Corrales, S. A., González, J. L. A. y Galindo, R. M. A. (2015). La evapotranspiración de referencia en la república mexicana: tres años de 440 evaluación. *Reporte No. 64*.

Sudheer, K. P., Gosain, A. K., and Ramasastry, K. S. (2003). Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using neural computing technique. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*. 129(3): 214-218.

Walls, S., Binns, A. D., Levison, J., and MacRitchie, S. (2020). Prediction of actual evapotranspiration by artificial neural network models using data from a bowen ratio energy balance station. *Neural Computing and Applications*. 32(17): 14001-14018.

Yohanani, E., Frisch, A., Lukyanov, V., Cohen, S., Teitel, M., and Tanny, J. (2022). Estimating evapotranspiration of greenhouse banana plantations using artificial neural network and multiple linear regression models. *Water*. 14(7): 1130-1130.

Yun, K., Qiang, H., and Ma, Y. (2021). Construction of Network Security Perception System Using Elman Neural Network. In *2021 2nd International Conference on Computer Communication and Network Security (CCNS)* (pp. 187-190). IEEE.

Zanetti, S. S., Sousa, E. F., Oliveira, V. P., Almeida, F. T., and Bernardo, S. (2007). Estimating evapotranspiration using artificial neural network and minimum climatological data. *Revista de Ingeniería de Riego y Drenaje*. 133(2): 83-89.

Zhao, L., Zhao, X., Pan, X., Shi, Y., Qiu, Z., Li, X., ..., and Bai, J. (2022). Prediction of daily reference crop evapotranspiration in different Chinese climate zones: combined application of key meteorological factors and elman algorithm. *Journal of Hydrology*. 610: 1-18.

NORMAS DE PUBLICACIÓN CIENCIAUAT

CienciaUAT es una publicación multidisciplinaria con periodicidad semestral (enero-junio, julio-diciembre). Su objetivo es difundir el conocimiento científico básico y aplicado, enfocado principalmente a temáticas de Iberoamérica, las cuales son agrupadas en las siguientes áreas:

- 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

La revista CienciaUAT publica artículos, notas científicas y revisiones críticas bibliográficas, originales, en idioma español, de investigadores adscritos a instituciones educativas o centros de investigación nacionales e internacionales, en formato impreso y electrónico de acceso abierto.

La revista es editada y financiada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. En ella se conjunta la alta calidad científica de los trabajos recibidos con la calidad editorial, formato y presentación del material, editado, en color.

La revista CienciaUAT está indexada en Latindex, Ebsco, Copernicus, Cab Abstracts, Periódica, MIAR, Actividad Iberoamericana, Fundación Dialnet, NAL, DOAJ, REDIB, Open Science Directory, Google académico, Copac, World Cat, Academia.edu, ERIH PLUS, Western Theological Seminary, SHERPA/ROMEO, ¿Dónde lo publico?, The Knowledge Network, Scibd, SciELO-México, SciELO, Web of Science, Redalyc, iresie y Conacyt.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA PUBLICACIÓN

El material enviado al Comité Editorial de la revista, para su evaluación, debe ser original e inédito y no estar considerado para publicarse simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales. Los manuscritos deben tener calidad científica y utilizar un lenguaje claro y preciso, definiendo los términos técnicos, para permitir su comprensión por lectores de otros campos y niveles académicos. Además, incluir las siguientes secciones en español e inglés: título, resumen, palabras clave, leyendas de tablas y figuras. El autor es responsable de la correcta redacción en cada sección.

RECEPCIÓN DE TRABAJOS

Los manuscritos se postulan a través de la plataforma de CienciaUAT en la siguiente dirección: <http://www.revista.ciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/information/authors>.

PROCESO DE EVALUACIÓN

El autor se debe registrar en el portal de la revista para obtener su clave de usuario y contraseña, con las cuales puede ingresar y subir a la plataforma su manuscrito, así como continuar el proceso editorial, revisar el estatus del mismo (a partir de editor de área) y

enviar y recibir correspondencia (a partir de evaluadores externos). No se reciben artículos por otra vía, impresa o electrónica.

Los manuscritos recibidos están sujetos a un proceso editorial que se desarrolla en etapas, donde los autores deben atender cada una de las observaciones y sugerencias que se le indiquen durante las revisiones, 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 todas las etapas). En las etapas de editor de área y árbitros externos, se envía un formato anexo con las respuestas a cada una de las observaciones y las modificaciones realizadas al último manuscrito. En la primera etapa, los manuscritos estarán sometidos a una evaluación preliminar por parte del Departamento Editorial de la revista, para verificar que cumplan con los requisitos temáticos, de formato, y analizar el nivel de similitud con material previamente publicado (a través del software Turnitin). Una vez que se cumpla con las consideraciones generales de publicación, se asignará el trabajo al editor de área, quien determinará la pertinencia de los manuscritos (en ocasiones requerirá de una segunda revisión), si son aprobados serán arbitrados al menos por dos pares académicos externos, expertos en el tema de interés, quienes determinarán la aceptación o rechazo del artículo, la cual estará basada en el análisis académico y científico del material; en caso de discrepancia en los resultados de los revisores, el escrito se enviará a un tercer árbitro, cuya decisión definirá la publicación. Los autores tendrán un tiempo establecido para atender las observaciones de los evaluadores, en función de los cambios solicitados; si no se realizan los cambios a tiempo, el manuscrito será rechazado. Los manuscritos se someten a un proceso de evaluación doble ciego, en el que los autores desconocen a los evaluadores y viceversa. El resultado del proceso de dictamen académico es inapelable.

En el caso de que los manuscritos sean condicionados a realizar cambios menores para su aceptación, el autor tendrá un periodo máximo de dos semanas para atenderlos, los cuales deberán ir marcados en color rojo, además, se enviará un formato anexo, con las respuestas a cada una de las observaciones y las modificaciones realizadas; de no recibir respuesta, el artículo será rechazado. De la misma forma, se trabajará en el proceso de corrección de estilo y revisión de formato, a la que los manuscritos aceptados son sometidos para adecuarlos a los artículos publicados. 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 al editor de la revista.

PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Generalidades

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 una ficha autor 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 en el siguiente orden: Universidad, Facultad o instituto al que pertenecen, dirección postal completa, correo electrónico del autor para correspondencia, teléfono con lada para localización, CVU Conacyt, ORCID iD, y nivel SNI en caso de tener.

El manuscrito debe estar escrito con letra Times New Roman a 12 puntos, a espacio y medio, en hoja tamaño carta, numeradas en forma continua, formato de procesador de texto Word, con margen en los cuatro costados de 2.5 centímetros. Los renglones deberán estar numerados en forma continua para facilitar el proceso de evaluación.

La redacción del manuscrito será en forma impersonal. Los agradecimientos se incluirán al final del texto solo para el caso de fuentes de financiamiento. Los manuscritos en formato de artículo científico tendrán un máximo de 25 cuartillas (incluyendo figuras, tablas y anexos). Las notas científicas tendrán un máximo de 15 cuartillas y las revisiones actualizadas de 20 cuartillas (incluyendo figuras, tablas y anexos).

En caso de incluir figuras, tablas, imágenes o fotografías, estas deberán estar referenciadas en el texto, ser preferentemente a color y ubicarse al final del manuscrito, cada una en hoja separada.

El texto que describa las figuras estará redactado en forma independiente y no formar parte de la imagen. Las figuras serán enviadas adicionalmente por separado en formato jpg a 300 dpi o superior, para asegurar la calidad de su impresión. 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, deberán indicarse las coordenadas extrema superior izquierda y extrema inferior derecha. Las altitudes sobre el nivel del mar se citarán en metros.

Las tablas referenciadas en el texto deben de aparecer al final del documento en formato Word y no se incluirán como imágenes. No se repetirá en el texto la información descrita en las tablas y figuras, con excepción de aquella necesaria para la discusión de los resultados.

ESTRUCTURA DE LOS ARTÍCULOS Y NOTAS CIENTÍFICAS

Secciones en español e inglés

El título del trabajo describirá claramente el contenido de este, en un máximo de 150 caracteres en español. El

resumen no debe ser mayor de 300 palabras, incluyendo una breve introducción, el objetivo, metodología más importante, principales resultados y una conclusión. Se incluirán de 3 a 5 palabras clave.

Secciones en español

Además de lo anterior, es necesario sugerir un título corto para su investigación.

Aparte del resumen, se deberá incluir las secciones de introducción, materiales y métodos, resultados y discusión (pueden aparecer de manera independiente), conclusiones, agradecimientos (en caso necesario) y referencias.

En la introducción (máximo 3 cuartillas) debe justificarse con una revisión de literatura científica actualizada la importancia del estudio realizado y concluir con el objetivo del trabajo.

La sección de materiales y métodos proporcionará suficiente información que permitiera repetir el trabajo en condiciones similares; debe incluir el diseño experimental, método estadístico, los principales métodos de análisis usados y las fuentes de dónde fueron obtenidos o modificados, así como la forma en que se obtuvieron los especímenes de estudio. Los equipos mencionados deben indicar marca, modelo y origen (ciudad y país).

En caso de estudios del área de salud, se debe hacer mención expresa del comité de ética que aprobó el protocolo de investigación y, en caso de que en esta 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.

Cuando se utilicen animales de experimentación o propiedad de particulares, la sección de métodos indicará claramente que se implementaron las medidas adecuadas para minimizar el dolor y la incomodidad. En caso de utilizar animales de experimentación. Además la sección de métodos contará con una declaración que identifique el comité de revisión de ética que haya garantizado y aprobado la metodología de trabajo. Cuando se utilizan animales propiedad de particulares o clientes en ensayos clínicos, se deberá de obtener el consentimiento informado del propietario y declararlo explícitamente en el documento.

Los experimentos y ensayos clínicos deben realizarse de acuerdo a las directivas establecidas por el Instituto Nacional de Salud (National Institutes of Health, NHI) en USA, en lo que respecta al cuidado y uso de animales para procedimientos de experimentación, 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 lo cales. 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.

Los resultados de investigación deberán estar sustentados con literatura científica reciente, que demuestre que

el conocimiento generado es nuevo o innovador, por lo que es necesario que al menos el 40 % de las citas, sean de los últimos cinco años.

Las conclusiones deben resaltar el o los logros principales, de manera concreta y clara, evitando repetir las discusiones de resultados previos.

ESTRUCTURA DE LAS REVISIONES ACTUALIZADAS

Secciones en español e inglés

El título describirá claramente el contenido del trabajo, en un máximo de 150 caracteres. El resumen no debe ser mayor de 200 palabras, describiendo con claridad la temática que se revisa, su importancia y alcance a través de una breve introducción, objetivo, principal metodología, resultados y una conclusión. Se incluirán de 3 a 5 palabras clave.

Secciones en español

Además de lo anterior, debe sugerir un título corto para su investigación.

El texto del manuscrito tendrá una amplia revisión bibliográfica que permita al lector profundizar el conocimiento del tema que se describe. En la introducción debe justificarse con una revisión de literatura científica actualizada la importancia del estudio realizado y concluir con el objetivo del trabajo. Al ser una revisión actualizada se espera que incluya más del 40 % de artículos publicados en los últimos cinco años. El contenido estará dividido en secciones acordes con la temática desarrollada. Se incluirá una sección de conclusiones previa a la sección de referencias.

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores deberán hacer una declaración que indique que en su estudio no existen conflictos de intereses que puedan influir en los resultados presentados en su manuscrito, así como en la discusión de los mismos y las conclusiones alcanzadas.

Un conflicto de intereses puede estar asociado con el financiamiento recibido para el desarrollo del estudio y que condicione la publicación e interpretación de los resultados obtenidos, positivos o negativos. Un conflicto de intereses también surge cuando el autor o coautores tienen afinidad, relación laboral, personal o un sentimiento adverso o animoso con empresas, instituciones o grupos que puedan verse afectados o beneficiados directamente con los resultados que se estarían publicando.

La decisión para la aceptación o rechazo del artículo no estará influenciado por la declaración de posibles conflictos de intereses por parte de los autores.

Por su parte, CienciaUAT se compromete a evitar conflictos de intereses durante la evaluación de los artículos, solicitando a editores y árbitros externos que participen en el proceso de evaluación de un manuscrito, que declaren si consideran que existe un conflicto de intereses en su proceso de evaluación, por tener antagonismo con la línea de investigación del manuscrito que están evaluando (la evaluación es método doble ciego).

Unidades de medición

Las unidades de cualquier dato científico o de laboratorio y su abreviación deberán seguir el sistema internacional descrito en <http://physics.nist.gov/cuu/Units/units.html>. No usar punto en las

abreviaciones (ejemplo kg, cm, °C, ó m).

Referencias en el texto

Todas las publicaciones citadas en el texto del artículo aparecerán en la sección de referencias y viceversa. El autor debe cerciorarse que los nombres de los autores que cita, y las fechas sean exactamente las mismas tanto en el texto como en el listado de referencias. Asimismo, tiene que revisar que todos los elementos de una referencia bibliográfica estén incluidos. Es responsabilidad del autor(es) 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, el año de publicación, ejemplo: (Núñez, 1983). En el caso de dos autores se usará (Núñez y Pérez, 1983). Para señalar más de dos autores se usará Núñez y col. (1982). En caso de más de una referencia, deberán separarse con punto y coma (Núñez y Pérez, 1983; Núñez y col., 1984). Si existen dos referencias de los mismos autores que pudieran confundirse se usarán letras minúsculas, de acuerdo al abecedario (Núñez y Pérez, 1983a; 1983b).

Las citas textuales (texto copiado íntegramente) de menos de 40 palabras, deberán ir entre comillas dobles, anotando entre paréntesis además del autor y el año, la(s) página(s) correspondiente(s), ejemplo: (Núñez, 1982:126); Núñez (1982), 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 ya está agotada o solo disponible en otro idioma), debe mencionarse de la siguiente manera: Barney (1991, p. 34) cita a Douglas (1988) al definir que "...xxxxxxxxxxxxxx". 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).

Los textos de materiales legales se citan de la siguiente forma: La Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos (2008), 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"...

Las citas de entrevistas personales, cartas, correos electrónicos deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: (Luis Fuentes-García, procesador de jaiba en Tamaulipas, Comunicación personal, 12 de junio, 2015).

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 artículo en orden alfabético y cronológico de acuerdo con el formato APA, con las siguientes especificaciones:

Para más información consultar el portal: <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx>

CIENCIAUAT EDITORIAL POLICIES

CienciaUAT is a multidisciplinary journal that publishes two issues per year (January-June and July-December). Its aim is to disseminate basic and applied scientific knowledge, focused mainly on Ibero American topics, which are grouped as follows:

- Physics, Mathematics and Earth Sciences
- Biology and Chemistry
- Medicine and Health Sciences
- Humanities and Behavioral Sciences
- Social Sciences
- Biotechnology and Agricultural Sciences
- Engineering

The CienciaUAT Journal publishes original articles, scientific notes and critical literature reviews in Spanish whose authors are researchers from our educational institution and other national and international institutions and research centers. The journal is published in both print and online versions and supports an open access policy.

The journal is edited and financially supported by the Universidad Autónoma de Tamaulipas. The journal combines the highly scientific quality of the papers received with the quality of the editorial process, formatting and full color presentation of the published material.

The CienciaUAT Journal is indexed in: Latindex, Ebsco, Copernicus, Cab Abstracts, Periódica, MIAR, Actualidad Iberoamericana, Fundacion Dialnet, NAL, DOAJ, REDIB, Open Science Directory, Google scholar, Copac, World Cat, Academia.edu, ERIH PLUS, Western Theological Seminary, SHERPA/ROMEO, ¿Dónde lo publico?, The Knowledge Network, Scribd, SciELO-México, SciELO, WEB of Science, Redalyc, iresie and Conacyt.

GENERAL CONSIDERATIONS FOR PUBLICATION

Manuscripts submitted to the Editorial Committee of the journal for evaluation should be original, unpublished and not 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. In addition, manuscripts must include the following sections in Spanish and English: title, abstract, key words, tables and figures captions. The author is responsible for writing each of the sections in an appropriate manner.

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscripts should be submitted through the CienciaUAT platform, which can be found at the following address: <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/information/authors>

PEER REVIEW PROCESS

Authors are required to register first at the journal's portal in order to obtain a username and a password which are used 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 (from the area editor), and send and receive correspondence (to and from reviewers). Manuscripts will not be received by any other print or electronic means.

All submitted manuscripts are subject to an editorial process which develops in stages.

Authors are expected to fully comply with the revisions required during 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 case of the comments and suggestions made by the Editor and the external reviewers, authors are also required to submit a separate sheet in which they provide a detailed explanation about how they dealt with each of the comments and suggestions on the revised version. In the first 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 determine the levels of similarity (through Turnitin software). Once all the general considerations for publication are met, the manuscript will be assigned the area editor, who will decide on its relevance (some manuscripts may require a second round of review). If approved by the area editor, the manuscript will then be reviewed by at least two external expert reviewers who will determine whether it is accepted or rejected based on an academic and scientific analysis. In the event of disagreement between the reviewers' decisions, the manuscript is sent out to a third reviewer whose decision will define publication. Authors will have a pre-determined time period to meet the comments and suggestions as required by the reviewer's. Failure to make the required corrections within the specified time frame will result in manuscript rejection. All manuscripts undergo a double blind review process, in which the authors do not know the reviewers and vice versa. The result of the review process is irreversible.

In the case of those manuscripts that are accepted with minor revisions, their authors will have a two week period to make the required corrections, which will need to be highlighted in red color. As mentioned above, authors will need to submit a separate form in which they provide a detailed response to each of the reviewers' comments or suggestions. Failure to respond to this requirement, will result in the rejection of the manuscript. Similarly, all accepted manuscripts undergo a process of editorial and format revision to adjust them to the required publication format. During the proofing stage, authors will have four calendar days to check and correct their proofs. If the authors do not respond within the time frame, the article will be

published following the Editor's judgment. Nonetheless, if 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.

MANUSCRIPT PREPARATION

The number of authors of the manuscript should be in accordance to the quality and the quantity of the work carried out and presented. An unjustified number of authors may cause the rejection of the manuscript. Each submission should include an author's data sheet on a separate file with the following information: full name of each of the authors (initials must be avoided; both last names should be hyphenated); institution of affiliation in the following order: University, school or institute, full postal address, e-mail address of the author for correspondence, phone number-including area code- where the author can be reached, CONACyT CVU, ORCID iD, and SNI level as appropriate.

The manuscript should be written in 12-point Times New Roman, spaced at 1.5, formatted into Letter page size (21.59 cm x 27.94 cm), page numbered, in MS Word, with 2.5 cm margins on every side. Rows should be numbered continuously to facilitate the evaluation process.

The manuscript must be written in impersonal form. Acknowledgments must be included in the final part of the text and only for cases of monetary support.

Manuscripts in the form of scientific manuscripts must have a maximum of 25 pages (including figures, tables, and appendices). Scientific notes must have a maximum of 15 pages; the revised versions must have a maximum of 20 pages (including figures, tables, and appendices).

In case the manuscript includes figures, tables, images or pictures, these must be referenced in the text and should preferably be in color and placed towards the end of the manuscript, each in a separate sheet.

The text describing the figures must be drafted independently and not as part of the image. Figures should be additionally sent in a separate file in jpg format (300 dpi or higher to ensure printing quality). In case of using maps, 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.

Tables referenced in the text should be included at the end of the document in MS Word format and should not be included as images. Information in tables and figures should not be repeated in the text, except those that are necessary for the discussion of results.

STRUCTURE OF ARTICLES AND SCIENTIFIC NOTES Sections in both Spanish and English

The title should clearly describe the

contents of the paper within a length of 150 characters in Spanish. The abstract must not exceed 300 words, including a brief introduction, the objective or purpose, the methods used, main findings and a conclusion. A list of three to five keywords should be included.

Sections in Spanish

In addition to the aforementioned components, authors should also provide a shorter version of the manuscript title.

Besides the abstract, the sections of introduction, materials and methods, findings and discussion (can be either merged or independently organized), conclusions, acknowledgements (where necessary) and references should be included.

In the Introduction section (3 pages maximum in length), the importance of the study must be presented with an updated review of the scientific literature and the objective or purpose of the study must also be indicated.

The Materials and Methods section needs to provide sufficient information in a way that the study can be replicated under similar conditions. The experimental design, statistical method, techniques of analysis used and data sources need to be clearly indicated. Brand names, year and origin (city and country) of the research devices used for the study need to be clearly indicated.

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 research 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 should be conducted following the guidelines established by the National Health Institute (NHI) 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 findings of the research should be supported with up-to-date literature and should demonstrate that the generated knowledge is new or innovative. Therefore, at least 40% of the references used

should be not older than 5 years.

The conclusion section should highlight the main contributions of the study in a clear and concrete manner, avoiding the repetition of discussion of previous findings.

STRUCTURE OF UPDATED LITERATURE REVIEWS

Sections in both Spanish and English

The title should clearly describe the contents of the work within a length of 150 characters. The abstract must not exceed 200 words, clearly describing the topic being reviewed, its relevance and scope through a brief introduction, objective or purpose, methods used, main findings and a conclusion. A list of three to five keywords should be included.

Sections in Spanish

In addition to the aforementioned components, authors should also provide a shorter version of the manuscript title.

The text of the manuscript must contain a clear, broad review of the literature that facilitates a deep understanding of the topic described. In the Introduction section, the importance of the study must be presented with an updated review of the scientific literature. The objective or purpose of the study must also be indicated. Given that it is an updated literature review, it is expected that more than 40 % of the references included are articles published within the last five years. The content must be divided into sections, depending on the subject matter addressed. It is recommended that a section of Conclusions be included before the list of References.

Declaration of non-conflicts of interests

Authors must submit a formal statement, in which they declare that no conflicts of interests are involved in their study that can influence the findings presented, as well as the discussion and conclusions drawn.

A conflict of interest can be associated with the financial relationships that can exert influence in the development of the research project and can represent a threat to the interpretation and publication of the findings of the study. A conflict of interest can also arise when the author (s) has affinity, a personal or work relationship or an adverse feeling towards enterprises, institutions or groups that can be positively or negatively affected by the outcomes of the published research.

The decision to accept or reject a manuscript will be based on the academic and scientific analysis of the material. Such analysis will be conducted by external reviewers and will not be influenced by the authors' statement of potential conflict of interests.

The CienciaUAT Journal is committed to providing a fair review process by requesting the participating editors and external referees to state whether potential conflicts of interests exist in such process, including any potential antagonism with the research topic addressed in the manuscript under review. In addition, the Journal follows a double-blind review process, which ensures that the reviewers do not know the authors and the authors do not know the reviewers.

Measurement units

The units of any scientific or lab data and their abbreviation should adhere to the international system previously described at <http://physics.nist.gov/cuu/Units.html>. Dots should NOT be used in the abbreviations (e.g. kg, cm, °C, or m).

References

All publications cited in the text of the article must appear in the references section and vice versa. Authors must verify that the names of the authors and dates are exactly the same in the text and 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 surname of the author and include the year of publication. For example: (Núñez, 1983). In the case of two authors: (Núñez y Pérez, 1983). To indicate more than two authors: Núñez y col. (1982). In case of more than one reference, they should be separated with semi colon (Núñez y Pérez, 1983; Núñez y col., 1984). If there are two references of the same authors, small letters in alphabetical order are used to avoid confusion (Núñez y Pérez, 1983a; 1983b).

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, (Núñez, 1982: 126); Núñez (1982), found that "The placebo effect disappeared when..." (p.126).

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.

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"...

Interview notes, letters or email messages must be cited as follows: (L., Fuentes-García, crab processor, Personal communication, June 12, 2015).

No references or notes should be included as footnotes. No theses, manuals, book notes or any other hard to find material should be cited.

References

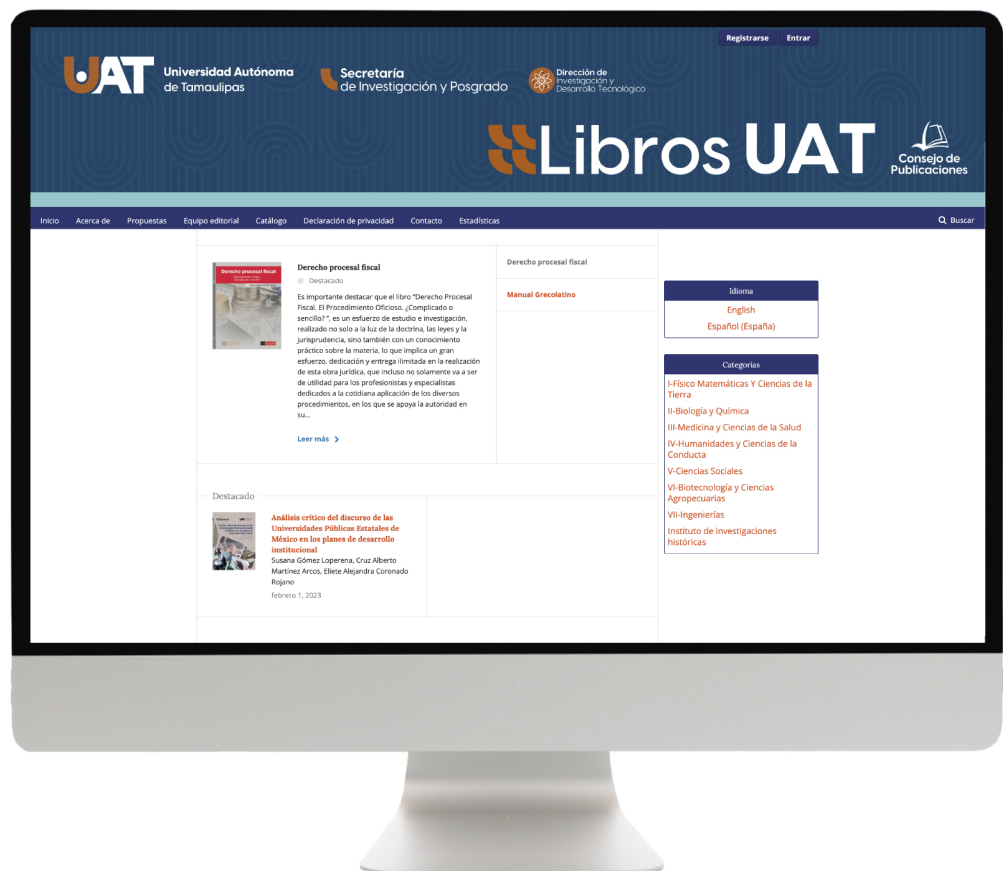
A list of all the references used in the text must be provided at the end of the manuscript in alphabetical order following the APA format, with the following specifications:

For more information, please consult the journal portal at : <http://www.revis-taciencia.uat.edumx>

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



Catálogo

247 títulos

	<p>Análisis crítico del discurso de las Universidades Públicas Estatales de México en los planes de desarrollo institucional Susana Gómez Loperena, Cruz Alberto Martínez Arcos, Eliete Alejandra Coronado Rojano febrero 1, 2023</p>	
	<p>La Responsabilidad Social en los Planes de Desarrollo Institucional de las Universidades Públicas Estatales de México Cruz Alberto Martínez Arcos, Susana Gómez Loperena, Guadalupe Alicia Cavazos Velázquez enero 31, 2023</p>	
	<p>Tópicos selectos de ingeniería y ciencias ambientales Roberto Pichardo Ramírez, Juana Treviño Trujillo, Julio César Rolón Aguilar marzo 15, 2023</p>	
	<p>Caminos alternativos ante la precarización laboral y la marginación social César Bárcenas Curtis, María Consuelo Lemus Pool marzo 15, 2023</p>	
	<p>Análisis de los efectos de la pandemia COVID-19 en el sector empresarial: Perspectivas y desafíos José Refugio Castro López, Julio César Macías Villarreal, Jesús Gerardo Delgado Rivas marzo 15, 2023</p>	
	<p>Viviendo en las aulas digitales: Una agenda para el postconfinamiento María Consuelo Lemus Pool; Luz María Garay Cruz marzo 14, 2023</p>	



Ciencias sociales y humanidades en diálogos abiertos

Karla Lorena Andrade Rubio, Simón Pedro Izcara Palacios, Guillermo Flores Miller
marzo 14, 2023



Petróleo y energías desde las ciencias humanas, sociales y ambientales en América Latina y el Caribe

Enoc Alejandro García Rivera, Elita Luisa Rincón Castillo
marzo 14, 2023



Innovación en enfoques de contextos escolarizados

Héctor Manuel Cappello Y García, Evelia Reséndiz Balderas
enero 23, 2023



Administración y praxis (tomo I) : un enfoque desde la industria maquiladora

enero 23, 2023



La formación del sujeto en la modernidad: Elementos para el estudio del desarrollo del sujeto a través de la tradición filosófica de la modernidad y su crítica

Guillermo Flores Miller, Joan Lluís Llinás Begon
enero 23, 2023



Administración y praxis (tomo II) : un enfoque desde el género y el emprendimiento

enero 23, 2023



Análisis del uso de las TIC en MiPyMEs en la región central de Tamaulipas

José Rafael Baca Pumarejo, Vicente Villanueva Hernández, Héctor Gabino Aguirre Ramírez
enero 23, 2023



110 Actividades y estrategias didácticas multidisciplinares

Daniel Cantú Cervantes, Arturo Amaya Amaya
enero 19, 2023



Población Francesa en Texas : (consideraciones históricas)

Macedonio Tamez Guajardo
enero 19, 2023



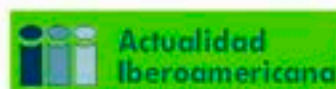
Enfoques sobre familia, medios y derechos humanos

Helen Contreras Hernández, Alberto Alvarado Rivera, José Vargas Fuentes
enero 19, 2023

Revista arbitrada e indexada en bases de datos internacionales



THOMSON REUTERS



Envía tus colaboraciones científicas a:

cienciauat@uat.edu.mx

Órgano de Difusión de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística
CienciaUAT

UAT

Universidad Autónoma
de Tamaulipas