

ISSN: 2007-7068  
DOI: 10.35830/cn.vi96

# *Ciencia Nicolaita* 96



Abril de 2026

Revista Científica

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

# *Ciencia Nicolaita*

ISSN: 2007-7068

**Jaime Espino Valencia**

Director

**José López Bucio**

Editor

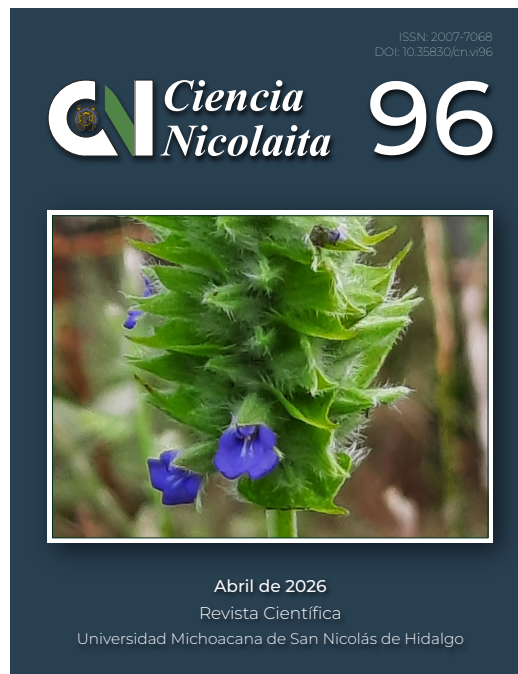
## **Comité Editorial**

**Luca Tessieri**, Instituto de Física y Matemáticas; **Sabina Irene Lara Cabrera**, Facultad de Biología; **María de Lourdes González Arqueros**, Investigadora por México SECIHTI comisionada al Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; **Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez**, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales; **Jesús Cirilo Trujillo Jiménez**, Facultad de Ingeniería Mecánica; **Elía Mercedes Alonso Guzmán**, Facultad de Ingeniería Civil; **Rosa Elva Norma del Rio Torres**, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas; **Héctor Eduardo Martínez Flores**, Facultad de Químico Farmacobiología; **Francisco Shidarta Guzmán Murillo**, Instituto de Física y Matemáticas; **Ernesto García Pineda**, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas.

## **Comité Editorial Externo**

**Daniele Colosi**, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, México; **Carlos Alonso Maya Lastra**, Columbia University, Department of Ecology, Evolution and Environmental Biology, USA; **Rafael Ángel Reyna Hurtado**, Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Campeche, México; **Zayre Ivonne González Acevedo**, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, México; **Ramón Marcos Soto Hernández**, Colegio de Postgraduados, Postgrado en Botánica, Estado de México; **María Esther Olvera Cortés**, Centro de Investigación Biomédica de Michoacán, Instituto Mexicano del Seguro Social, México; **Ignacio Alejandro Figueroa Vargas**, Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México; **Enrique Acha Daza**, Profesor Emérito de la Universidad de Tampere, Finlandia; **Víctor Manuel Ambríz Díaz**, Instituto Tecnológico de Chihuahua; **Luis Fernando Guerrero Baca**, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

**Apoyo editorial y maquetación:** Fidel Anguiano Rodríguez.



## *Ciencia Nicolaita*

ISSN: 2007-7068

Revista Ciencia Nicolaita número 96, abril de 2026  
<https://www.cic.cn.umich.mx>

### Imagen de portada

**Descripción:** *Salvia hispanica*, fotografiada por Yocupitzia Ramírez Amezcua.

Directorio	i
Contenido	ii
Presentación	iv
Normas editoriales	130
Página legal y créditos	133

## Fórum

### Felipe Rivera y el desarrollo de la Astronomía en México

Natalia Aguilar López ✉

1



## Biología y Química

### Transcriptional interplay between gibberellic acid and jasmonic acid modulates root growth in *Arabidopsis thaliana*

Ernesto Vázquez Chimalhua  ✉, Pedro Iván Huerta Venegas, Tzvetanka D. Dinkova, León Francisco Ruíz Herrera, Javier Raya González, José López Bucio

11

### La chía en las colecciones biológicas, un recurso para el estudio de la domesticación

Sabina I. Lara Cabrera , Geraldine Murillo Suárez, Yocupitzia Ramírez Amezcua  ✉

21

### Desarrollo de especies de pino en micro parcelas *in situ* con condiciones ecológicas contrastantes

María Elena Granados García ✉ , Melissa Corine Carbajal Tapia, Pablo Ayala Hernández, María Alcalá de Jesús, Juan Carlos González Cortés.

33

### Flora y vegetación del cerro La Cruz, Ucareo, municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México

Carlos Alberto Rivera Ortiz ✉ , Patricia Silva Saéñz , Erandeni Durán Mendoza 

41

## Ciencias de la Salud







### Aptitud clínica en médicos familiares y residentes para el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención: un estudio transversal en una institución pública de Zacapu, Michoacán

Angel Carlos Sánchez-Maldonado, Carlos Sánchez-Anguiano, Itza Luna-Armenta, Brenda Paullette Morales-Hernández ✉

59

## Biología y Ciencias Agropecuarias

### *Azotobacter vinelandii* AEIV volatiles protect *Arabidopsis* seedlings from zinc damage of roots via an abscisic acid crosstalk

Paola Peralta López , Karina Alejandra Balderas Ruíz , Gipumi Torres Abe , Carla Sánchez Arana , Cinthia Nuñez  y Ángel Arturo Guevara García  ✉



66


### Carotenoides de origen microbiano y el impacto en nuevas tendencias de la industria alimentaria con enfoque en México






Rafael Madrigal Chávez, Juan Carlos González Hernández ✉ 








76

## Ingenierías

**Caracterización dinámica de tableros a base de madera mediante ondas de esfuerzo y comparación con madera sólida de *Pinus pseudostrobus***  
Javier Ramón Sotomayor Castellanos   83

**Comparación de extractos orgánicos del sargazo como inhibidores de corrosión de un acero API 5L X52 obtenidos con diferentes disolventes**  
Ruth López Alcántara, Tania Yaquelin Puc Sarmiento, Teresita del Niño Jesús Maldonado Montiel, Tezozomoc Pérez López  92

**Design of a passive device for a maximum shadow on roofs in a warm humid climate**  
Carlos Fernando Arias Martínez , Jenniffer Guadalupe Jiménez Anzar , Carlos Javier Esparza López , Jorge Armando Ojeda Sanchez   100

**Centro Histórico de Veracruz: más visitas, menos vida – el deterioro ambiental y urbano en la percepción ciudadana (2024-2025)**  
Ruth María Grajeda Rosado  , Elia Mercedes Alonso Guzmán , Elsa Teresita Prieto Alonso , Margarita Díaz Olalde , Lorna Ruiz Cruz , Alessandra Becerra Mondragón  113

## Miscelánea

**La lengua de señas mexicana: identidad cultural y derecho fundamental para las personas con discapacidad auditiva en Michoacán**  
María Isabel Rangel González  121

# Presentación

*Ciencia Nicolaita* No. 96, abril 2026.

## Estimados lectores:

La publicación de avances científicos escritos por académicos destacados en sus respectivos campos de investigación, de manera que queden manifiestos de forma perdurable para su consulta abierta por toda la comunidad, es uno de los retos fundamentales de **Ciencia Nicolaita**. Este número inaugura la sección **Fórum**, que incluirá artículos de revisión contribuidos por invitación del Comité Editorial y que pasan por el mismo proceso de revisión estricto de los trabajos que conforman todas y cada una de las secciones de la revista. En el trabajo “*Felipe Rivera y el Desarrollo de la Astronomía en México*”, la Mtra. **Natalia Aguilar López** aborda desde la perspectiva de la Historia de las Ciencias, la labor de un ilustre Michoacano, quien desde Zinapécuaro, una villa al oriente de Michoacán, hizo aportes al desarrollo del conocimiento científico, como el descubrimiento de una estrella temporal en la constelación de Perseo el 24 de febrero de 1901, hecho que le dio renombre a nivel nacional y derivó en la creación de la Sociedad Astronómica de México.

Este número contribuye de manera muy significativa en el avance de la botánica y la biotecnología vegetal con cinco artículos, en su estudio sobre la chía (*Salvia hispanica* L.) cuya domesticación data desde hace unos 3,700 años, **Lara Cabrera et al.** analizan caracteres relacionados con el vigor de la planta y la inflorescencia en ejemplares de herbario digitalizados, para determinar su origen y su plasticidad fenotípica. **Rivera Ortiz et al.** presentan el inventario sobre la flora y vegetación del cerro La Cruz, Ucareo, municipio de Zinapécuaro, correspondiente a bosque de pino-encino y con áreas de cultivos anuales y estacionales, en donde se describen 68 grupos endémicos y dos se encuentran en alguna categoría de riesgo. Los ecosistemas forestales se renuevan de manera natural a través de procesos de sucesión que ocurren como consecuencia de cambios causados por factores naturales o por actividades antrópicas, en los que la vegetación original ha experimentado perturbación. **Granados García et al.** muestran que las condiciones ecológicas a nivel local determinan el desarrollo de especies de pino en microparcelas desde su germinación hasta la transición al estado de plántula. Por otra parte, el uso de la especie modelo *Arabidopsis thaliana* permitió a **Vázquez Chimalhua et al.** dilucidar una interacción novedosa entre dos hormonas vegetales, el ácido giberélico y el ácido jasmónico, con funciones en el crecimiento, y la defensa, respectivamente, en tanto que, **Peralta López et al.** caracterizan el efecto protector de *Azotobacter vinelandii* en la tolerancia de las plantas a la toxicidad por zinc. Encontrar elementos genéticos comunes en la respuesta a

hormonas y factores ambientales adversos abre la posibilidad de innovaciones en el manejo de la agricultura.

Los carotenoides de origen microbiano son importantes en la industria alimentaria global como colorantes naturales y compuestos bioactivos. **Madrigal Chávez y González Hernández** revisan su diversidad, los microorganismos que los producen, los métodos de producción, las aplicaciones industriales, y el panorama comercial, con énfasis en el contexto biotecnológico y regulatorio de México. Por su parte, **López Alcántara et al.** evalúan diferentes extractos orgánicos de sargazo, proveniente de la Península de Yucatán, como inhibidores de corrosión en el acero. Mediante ensayos electroquímicos, los autores observan que los extractos incrementan la resistencia de transferencia de carga del acero, con lo cual se reduce la velocidad de corrosión.

En el área de la ingeniería de materiales, el **Dr. Javier Ramón Sotomayor Castellanos** caracteriza las propiedades de tableros a base de madera, que constituyen una familia de materiales lignocelulósicos industrializados ampliamente utilizados en la construcción, y la manufactura de mobiliario, en relación con madera sólida de *Pinus pseudostrabus* como referencia. Aquí se muestra que la disposición estructural de los elementos constitutivos, como listones, chapas, fibras o astillas, condiciona el comportamiento dinámico de estos productos lignocelulósicos.

Los edificios y las viviendas en climas cálidos y húmedos son fuentes importantes de consumo de energía, y los techos generalmente están expuestos a la mayor ganancia solar, lo que conduce al sobrecalentamiento. **Arias Martínez et al.** analizan la configuración geométrica de un dispositivo de sombreado que puede controlar la ganancia solar entrante en los techos mediante la longitud máxima de sombra. Este tipo de dispositivos contribuyen al conjunto de soluciones para lograr condiciones adecuadas de ahorro de energía y habitabilidad. Otro aspecto muy relevante, es la habitabilidad relacionada con factores ambientales y urbanos. **Grageda Rosado et al.** analizan la percepción ciudadana sobre el Centro Histórico de Veracruz, empleando una metodología mixta con encuestas, y evaluando dimensiones como infraestructura, seguridad y habitabilidad. Se concluye que es urgente una estrategia integral que vincule a las autoridades y la comunidad para restaurar la función social de este núcleo histórico. Finalmente, y no menos importante, es el trabajo por la Mtra. **María Isabel Rangel González** sobre la lengua de señas, parte fundamental en la identidad cultural y un elemento indispensable para la interacción social en personas con discapacidad auditiva. Aquí se analizan diversos documentos sobre la lengua de señas mexicana, su papel cultural en la comunidad sorda y derechos fundamentales.

Para el Comité Editorial de **Ciencia Nicolaita** es altamente satisfactorio presentar a nuestros lectores las excelentes contribuciones que conforman este número.

José López Bucio  
Editor



# Felipe Rivera y el desarrollo de la Astronomía en México

## Felipe Rivera and the development of astronomy in Mexico

Natalia Aguilar López ✉ 

Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

### Resumen

Durante el siglo XIX se difundieron diversos conocimientos en todo el territorio nacional a través de los libros que llegaban de los países más vanguardistas en términos de ciencias, brindando a los estudiosos mexicanos interés por el conocimiento. El presente texto hace una revisión de la historia de la astronomía en México centrándose en un personaje: Felipe Rivera, quién desde Zinapécuaro, una villa al oriente de Michoacán, hizo aportes al desarrollo del conocimiento científico, como el descubrimiento de una estrella temporal en la constelación de Perseo el 24 de febrero de 1901, hecho que le dio renombre a nivel nacional y derivó en la creación de la Sociedad Astronómica de México. Rivera fungió como promotor de la ciencia no solo a nivel local sino nacional, siendo un participante activo en numerosas actividades que fueron un semillero para futuros científicos en el país.

**Palabras clave:** Felipe Rivera, Astronomía, estrella temporal, *Nova Persei*, ciencia provincial.

### Abstract

During the 19th century, knowledge spread throughout the national territory through books that arrived from the most advanced countries in terms of sciences, providing Mexican scholars with an interest in scientific knowledge. The present text reviews the history of astronomy in Mexico focusing on Felipe Rivera, who from Zinapécuaro, a town in the east of Michoacán, made contributions to the development of scientific knowledge, such as the discovery of a temporary star in the constellation Perseus on February 24, 1901, an event that gave him national renown and led to the creation of the Astronomical Society of Mexico. Rivera acted as a promoter of science not only locally but nationally, being an active participant in numerous scientific activities that served as a breeding ground for future scientists in the country.

**Keywords:** Felipe Rivera, Astronomy, temporary star, *Nova Persei*, provincial science.

### Introducción

Felipe Rivera es oriundo de Zinapécuaro, desde temprana edad mostró interés por conocer los cuerpos celestes como consecuencia de la lectura de un *Tratado de Cosmografía* que le proporcionó su mentor, el pedagogo Antonio Quiroz. Posteriormente, el joven Rivera se trasladó a Morelia, la capital del estado, para estudiar en el prestigioso Colegio de San Nicolás, donde años después se graduó como abogado. Se desempeñó como funcionario a nivel local e incursionó en la política volviéndose diputado federal, cargo que lo relacionó con diversos personajes y funcionarios públicos del país.

La mayor parte de su vida transcurrió en su tierra natal. Durante el porfiriato, la villa de Zinapécuaro tuvo un gran crecimiento y modernización con la construcción de calles, escuelas y otros recintos como el teatro Hidalgo. La economía de este lugar se basaba en la actividad agrícola y frutícola, la explotación de madera, minerales, aguas termales y salinas, haciendo de la zona un lugar de comer-

### Historial

Manuscrito recibido: 10 de marzo de 2026

Manuscrito aceptado: 13 de marzo de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

### ✉ Autor para correspondencia

Natalia Aguilar López

natalia.aguilar@umich.mx

ORCID: 0009-0009-0258-4461

### Como citar

Aguilar López N (2026). Felipe Rivera y el desarrollo de la Astronomía en México. *Ciencia Nicolaita* 96:1-10. DOI:10.35830/cn.vi96.911

cio. De acuerdo a la Ley de división territorial del Estado (1910), Michoacán se dividía en 16 distritos, siendo Zinapécuaro uno de ellos, conformado por la municipalidad de su nombre y las de Hidalgo e Indaparapeo.

Juan José Saldaña afirma que dentro de la historiografía contemporánea de la ciencia se pueden encontrar dos vertientes, por un lado, la ciencia nacional y por otro la ciencia provincial. En sentido estricto encontramos la

defensa de la ciencia nacional por parte de Saldaña como un reclamo a que no solo Europa tenía avances dignos de ser destacados, sino también países de lo que ahora conocemos como el sur global, pero en contraposición con la ciencia nacional de igual manera hace una defensa de la ciencia local, estatal o lo que él llama “ciencia provincial”, señalando que no todo el quehacer científico del país recaía necesariamente en la capital, y que desde la provincia, personajes como Felipe Rivera contribuyeron al desarrollo de la ciencia nacional.

## La Astronomía en México antes de Felipe Rivera

Ancestralmente, una de las actividades más comunes del ser humano es mirar el cielo. Observar la bóveda celeste es algo que siempre ha fascinado a la humanidad, antiguamente y de manera indistinta sin importar las civilizaciones, todas buscaban respuestas en el cielo. La humanidad veía al cielo para venerar a los dioses, y observar ciclos de cosechas, pero también para acentuar su poder y construir relatos originarios. Todas las respuestas venían del cielo. En el pasado mesoamericano las civilizaciones que habitaban los territorios de lo que hoy es México tenían una cosmovisión propia con construcción y significantes.

En general podemos hablar de dos tipos de astronomía, la que se practicaba en la antigüedad, que conocemos bajo el nombre de *astronomía posicional* y la que se practica en nuestros tiempos, que es la *astronomía instrumental*, en el caso que nos atañe. La astronomía posicional la podemos ubicar en la prehistoria, la antigüedad, la edad media y parte de la edad moderna, en específico antes del año 1609 cuando se introdujo el telescopio, para inaugurar entonces el periodo de la astronomía instrumental (Montero, 2023).

En Mesoamérica, cada civilización tenía aspectos determinados por las técnicas que empleaban. De todas las construcciones que destacan en este periodo, no hay ninguna que goce de tanta fama y admiración en el mundo, ni que se le hayan hecho tantos estudios como el caracol de Chichén Itzá, debido a que tiene una forma muy similar a los observatorios contemporáneos, sin olvidar los registros más antiguos con los que se cuenta a la fecha, ubicados en el sitio olmeca conocido como La Venta (900-600 a.c.; Montero, 2023).

Algunas de estas estructuras estaban fuertemente ligadas al poder político, tenían una carga simbólica profunda, en el sentido que buscaban respuestas a sus inquietudes en las estrellas, esto no tiene que considerarse más que en el contexto de la cultura, la civilización y su

época. Al igual que en la actualidad también los fenómenos astronómicos tienen una carga simbólica importante.

Poco a poco la astronomía fue evolucionando en ese sentido, durante la época de la colonia podemos rastrear algunos libros que aportaron a la madurez de esta ciencia. El célebre texto *Physica Speculatio* de Fray Alonso de la Veracruz es considerado como el primer libro en el que se discutieron los sistemas del mundo, incluyendo el heliocéntrico de Copérnico, esto en 1557; posteriormente, se registró el repertorio de *Los tiempos e Historia Natural de esta Nueva España*, de Enrico Martínez (1606), en el que ya se hace una distinción entre la astronomía y la astrología; en 1637 se apertura la cátedra de astrología y matemáticas en la Real y Pontificia Universidad de México, en cuyo lugar se presentaron las nuevas ideas astronómicas de Copérnico, Kepler y Descartes; de 1681 a 1690 se produjo la famosa polémica por el cometa de 1681, lo importante de esta polémica fue la publicación de *La libra astronómica y filosófica*, que inauguró una nueva etapa en la ciencia moderna en México; y para 1792 se funda el Real Seminario de Minería, que fue una institución ilustrada creada a petición de Joaquín Velázquez de León con el objetivo de mejorar la actividad minera novohispana, utilizando para tales propósitos conocimientos matemáticos, científicos y de astronomía moderna (<https://www.astrosen.unam.mx/>, 2026).

La astronomía en la Nueva España evolucionó paulatinamente a partir de los conocimientos que provenían de países europeos, pero también se recuperaron e incorporaron elementos prácticos de la astronomía prehispánica. En efecto, después de que los dos mundos se fundieron, los misioneros -que siempre desempeñaron un papel importante en la transmisión de los conocimientos junto a los científicos españoles- mezclaron lo mejor de ambos mundos y enriquecieron el interés científico en la Nueva España, favoreciendo en términos de conocimiento tanto a las autoridades españolas como a los naturales de estas tierras. Así fue como los conocimientos astronómicos renacentistas se integraron con los conocimientos de los “astrónomos” naturales de estas tierras quienes, familiarizados con la observación sistemática del cielo, aportaron conocimientos con los métodos tradicionales de cálculo y registro estelar (Moreno, 2003). Esta integración en los conocimientos y saberes prehispánicos y occidentales dieron lugar a una estructura que tenía en su composición características prácticas, de herramientas, técnicas y también de observación, con la intención de interpretar fenómenos celestes y también la construcción y lectura de los calendarios.

Durante los siglos XVI y XVII, se fueron desarrol-

lando y consolidando progresivamente instituciones que dieron cierta formalidad a la astronomía, si bien no se podía comparar en aquel entonces con el avance científico de los países europeos, justamente la combinación de los elementos ya mencionados como la observación y la construcción de herramientas con una alta precisión adquirió notoriedad en el mundo americano occidental de aquellos tiempos (Domínguez, 2022). Así pues, la práctica de la astronomía en la Nueva España durante la segunda mitad del siglo XVIII se relaciona con las primeras iniciativas de observación astronómica que se originaron en la necesidad de establecer calendarios agrícolas y religiosos, así como en la exigencia de medir con exactitud la longitud y latitud de los territorios novohispanos (Velázquez, 2008).

Uno de los factores determinantes fue la presencia de universidades y colegios mayores, como el Colegio de San Nicolás Obispo y la Real y Pontificia Universidad de México, que promovieron la enseñanza de las matemáticas, la física y la astronomía, aplicada a la navegación y la cartografía (Lizano y Rodríguez, 2020). Gracias a la institucionalización de estas áreas disciplinarias, con la apertura de nuevos centros de conocimiento, se formaron los primeros científicos novohispanos capaces de realizar observaciones sistemáticas y de redactar tratados astronómicos, justo en un momento donde -como lo mencionamos con anterioridad- se hacía complejo el impulso de la astronomía por la desventaja que tenía la Nueva España respecto de centros de investigación europeos que estaban a la vanguardia del desarrollo científico.

El auge en el apoyo institucional a la astronomía, que se consolidó como una herramienta de poder y conocimiento, no era por amor al arte, como suele decirse coloquialmente, la intención de los virreyes y las autoridades eclesiásticas que patrocinaban la construcción de observatorios y la compra de instrumentos como astrolabios, cuadrantes y relojes astronómicos, era reforzar los aspectos nodales para la navegación, la cartografía y la predicción de eclipses. Se puede decir que fue la ciencia astronómica la que apoyó en cierto modo el encuentro entre Europa y América, y, si bien ya hemos expresado quizá lo incipiente o insuficiente en los avances de la ciencia astronómica en la Nueva España, aun así fue importante, pues sentó las bases para el arribo de una futura generación de astrónomos que vendrían a consolidar el conocimiento científico ya en el México independiente (Domínguez, 2022).

En el siglo XIX comenzó una deconstrucción de identidades nacionales y de nuevos significados sociales. También inició una era distinta a nivel internacional: la revolución industrial y la consolidación de un sistema de producción capitalista, un momento en la historia donde

el camino a la industrialización en muchos países fue incipiente y desigual y en donde los países que a posteriori se convertirían en potencias mundiales fueron quienes desarrollaron un proceso de industrialización, de la mano de iniciativas en la producción de conocimientos aplicados principalmente en la innovación tecnológica.

En el transcurso de México como nación independiente se produjeron avances en diversos aspectos, uno de ellos, la educación y los aportes científicos en distintas áreas disciplinarias. En el Colegio de Minería, después transformado en la Escuela Nacional de Ingenieros, se dieron numerosos cambios dentro del programa de estudios de la profesión de Ingeniero Geógrafo, relacionando directamente a la geografía con la astronomía al grado que los principales astrónomos del país tuvieron como formación académica esta carrera (Moncada *et al.*, 2010).

Por su parte, la Secretaría de Fomento (creada en 1853), implementó proyectos nacionales de inversión, los cuales mostraron la importancia que tuvo la astronomía durante estos años, siendo las instituciones gubernamentales un apoyo contundente para desarrollar la ciencia, creando las primeras instituciones científicas, además de valiosas obras públicas, entre las que se encuentran observatorios astronómicos y meteorológicos (Sánchez y Ramos, 2010).

Los observatorios se convirtieron en instituciones indispensables para el desarrollo tanto de la astronomía como de la meteorología, y al mismo tiempo sirvieron para trabajar con otras disciplinas como la geografía, cartografía, arqueología y medicina. Antes del establecimiento de los observatorios oficiales, ya se habían reportado en México esfuerzos individuales para hacer observaciones astronómicas en lugares como Durango, Veracruz, San Luis Potosí, Guanajuato, Guadalajara y Mérida (Sánchez y Ramos, 2010).

En Michoacán también se le dio peso al desarrollo de la ciencia, en lugares como el Colegio de San Nicolás se formaba a jóvenes de diversos lugares del estado, y a pesar de que solo existían las terminales de carreras como Medicina y Derecho, el Colegio se convirtió en el semillero de futuros científicos que trascendieron a nivel nacional.

## Felipe Rivera y la ciencia astronómica

Es en este contexto apenas naciente y que evidentemente aún no desarrollaba ese grado tan importante de diferenciación desigual entre naciones, nos encontramos con la figura de Felipe Rivera (1852-1920), originario de Zinapécuaro, Michoacán, quien representa a una de las figuras más importantes de la astronomía en México (**Figura 1**). Abogado de profesión, músico aficionado y observador



**Figura 1.** Retrato del Lic. Felipe Rivera s/f

entusiasta de los cielos, se distinguió por su curiosidad intelectual, su disciplina autónoma y su vocación de divulgador.

Felipe de Jesús Parra Rivera nació el 4 de febrero de 1852 en la villa de Zinapécuaro. Sus padres Bartolo Parra y María Dolores Rivera se dedicaban al comercio, logrando que su hijo tuviera una infancia plena y sin carencias. Sus primeras letras las cursó en su pueblo natal de la mano del ilustre pedagogo Antonio Quiroz, también de origen Zinapécuarenses, quien proporcionó al niño un valioso *Tratado de Cosmografía* haciendo nacer en el infante un interés particular por los astros.

Ya en la adolescencia y con el apoyo de quien se convertiría en su benefactor, el ya mencionado pedagogo Quiroz, Felipe decidió mudarse a la ciudad de Morelia para realizar sus estudios preparatorios en el prestigioso Colegio de San Nicolás (*La Voz de México*, 1901), a pesar de las insistencias de su padre por convertirse en sacerdote, situación que al parecer lo llevaría en adelante a omitir el apellido paterno para hacerse llamar solamente Felipe Rivera. Posteriormente, el joven Rivera decidió estudiar Derecho en la Escuela de Jurisprudencia, a falta de una carrera en ingeniería dentro del propio Colegio de San Nicolás. Rivera debió tener una fructífera educación en el Colegio, ya que gozaba de un enorme prestigio

nacional y en sus aulas impartían cátedra profesores que se identificaban con los ideales reformistas (Mijangos y Aguilar, 2024).

Durante el porfiriato y con el desarrollo del ferrocarril, arribaron a Michoacán nuevas ideas liberales y un sentido de progreso. También llegaron libros provenientes de los Estados Unidos y de la Ciudad de México, adquiridos por las autoridades educativas estatales; la Biblioteca Pública de Morelia estaba conformada con 15,566 volúmenes de todo tipo de disciplinas (Sánchez y Mijangos, 1996). Esta biblioteca pasó a ser parte de la hoy Universidad Michoacana cuando el templo de la Compañía de Jesús fue donado bajo la premisa de que sirviera de sede para albergar la Biblioteca Pública de Morelia, que con el tiempo fue creciendo con la donación de fondos particulares como los acervos de Melchor Ocampo, Luis González Gutiérrez y Mariano de Jesús Torres. Además de astronomía, había numerosos ejemplares sobre botánica, mineralogía, filosofía y teología, por mencionar algunos contenidos.

Durante su formación académica el joven Rivera se nutrió de los conocimientos resguardados en estos libros, significando el desarrollo de una mente inquieta y una formación académica prometedora. Algunos libros sobre astronomía que resguarda hoy en día el Fondo Antigo de la Universidad Michoacana y que también se encuentran en la biblioteca personal de Felipe Rivera son: *El telescopio moderno*, de Augusto Arcimis en su versión de 1879; *La Historia del Cielo* (1874); *L'Atmosphère* (1873); *Elementos de Astronomía* (1877); *La pluralidad de los mundos habitados* (1877), todos ellos de Camille Flammarion, el reconocido astrónomo francés; *Viaje de la Comisión Astronómica Mexicana al Japón para observar el tránsito del planeta Venus* (1876), de Francisco Díaz Covarrubias; *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional de Tacubaya* y *Anuario Astronómico de Chapultepec* (1883), ambos escritos por el ingeniero Ángel Anguiano.

Una vez graduado como abogado, Felipe Rivera regresó a su natal Zinapécuaro donde abrió su bufete jurídico. El 30 de diciembre de 1878 el Lic. Rivera fue nombrado por el gobernador del estado como secretario de la prefectura de Zinapécuaro, cargo donde apoyaba al prefecto de distrito en asuntos en materia política y administrativa. Su labor como secretario de prefectura significó una experiencia de aprendizaje y pronto fue promovido como administrador de rentas en el distrito. Dichos cargos públicos significarían una estabilidad económica para poder desarrollar sus aficiones personales como la música, el ajedrez, las tertulias, la lectura y la astronomía (Mijangos y Aguilar, 2024).

Con base en sus estudios sobre geografía y geometría

aplicadas, Felipe Rivera se fue formando como astrónomo autodidacta. Dedicó su tiempo libre al constante estudio de los astros, haciendo observaciones nocturnas en las diferentes regiones visibles del cielo. El interés por dar a conocer sus estudios motivó a Rivera a patrocinar periódicos locales como “El obrero” (1892), “El Eco popular” (1905) y el “Boletín de Zinapécuaro», además de que llegó a financiar sus propias observaciones uniéndose a comisiones astronómicas en lugares como Coahuila, donde compartió conocimientos con científicos nacionales y políticos porfiristas (Mijangos y Aguilar, 2024).

De acuerdo con las fuentes documentales, “en las primeras horas de la noche del 24 de febrero de 1901, Felipe Rivera... descubrió una nueva estrella en el cielo” (Moreno y Rodríguez, 2020). El hallazgo de una estrella temporal (eventualmente reconocida como *Nova Persei*), no sólo dio brillo a su nombre, sino que abrió una puerta para que la astronomía aficionada mexicana se visibilizara como parte del quehacer científico nacional. La prensa estatal y nacional dio una rápida proyección al descubrimiento astronómico, dando créditos al científico michoacano. Es importante mencionar que para cuando el descubrimiento se produjo, Felipe Rivera ya era un destacado político y hombre de ciencia en los círculos no sólo de su natal Zinapécuaro sino también de la capital michoacana (Mijangos y Aguilar, 2024), y fue este descubrimiento que lo posicionó incluso en el ámbito internacional.

Volviendo la vista un poco atrás, el contexto en que Rivera se desarrolló era propicio, aunque limitado: a finales del siglo XIX y comienzos del XX, la astronomía en México se encontraba mayormente en manos de personas aficionadas, pues no había suficientes recursos de índole institucional o los había de manera escasa; sin embargo, el cielo nocturno de ese entonces aún no tenía contaminación lumínica, por lo que la observación a cielo abierto seguía siendo, aunque de manera aficionada, un componente importante y visual para poder detectar cualquier objeto en el cielo para un ojo observador. Estos elementos constitutivos que rodean el contexto de su descubrimiento hicieron más valioso su aporte, porque le dio a la ciencia provincial un escenario de proyección, un valor mediático que demostró que desde la periferia nacional podía construirse una nueva narrativa de conocimiento.

La noche del descubrimiento Felipe Rivera comparó sus observaciones con mapas estelares que tenía a su disposición y notó la presencia de un objeto que no correspondía a ninguna estrella previamente registrada. Según Moreno y Rodríguez:

*“En las primeras horas de la noche, Felipe Rivera identificó un punto luminoso desconocido*

*en la constelación de Perseo, comunicando posteriormente su hallazgo a diversas instituciones astronómicas”* (Moreno y Rodríguez, 2020).

El descubrimiento fue notable, como ya lo mencionamos con anterioridad por varias razones. En primer lugar, porque se trataba de un hallazgo realizado desde un espacio fuera de los grandes centros astronómicos, mostrando que la ciencia podía generarse desde la periferia y demostrando también que la astronomía era de las pocas ciencias que aún permitía a los aficionados integrarse a su mundo; en segundo lugar, porque su meticuloso registro permitió que colegas internacionales verificaran la observación, otorgándole reconocimiento en publicaciones científicas de la época, dándole renombre internacional a un personaje que ya tenía notoriedad en su estado natal.

El hallazgo consolidó la reputación de Rivera y, al mismo tiempo, estimuló un proceso de institucionalización de la astronomía en México. La observación de fenómenos celestes dejó de ser exclusivamente una práctica individual o de curiosos, para convertirse en una actividad organizada, compartida y con proyección académica. Además, su descubrimiento se recuerda como ejemplo de cómo la pasión, la constancia y la observación rigurosa podían producir aportes significativos, incluso fuera de los centros científicos tradicionales.

Sin embargo, el no pertenecer en ese momento a un círculo científico reconocido trajo consecuencias para Rivera. Al observar la nova en la constelación de Perseo su primer paso fue comunicar la noticia al gobernador del estado Aristeo Mercado, quien hizo lo propio y compartió el hecho con los responsables del Observatorio Nacional para que ellos lo transmitieran al Observatorio del Colegio de Cambridge en Estados Unidos, a lo que se respondió que el doctor Thomas David Anderson, de Edimburgo, Escocia, había registrado el hallazgo horas antes que Rivera, recibiendo éste el reconocimiento de la comunidad científica internacional. Pese a esto, a Felipe Rivera se le otorgó el crédito de haber sido el primero en registrar desde el continente americano a la *Nova Persei*, nombrada en algunos medios periodísticos nacionales como “estrella Rivera”, y posteriormente conocida en medios científicos como GK Persei.

En 1906 se llevó a cabo el X Congreso Geológico Internacional en la Ciudad de México con la participación de 321 científicos de distintas nacionalidades. Además de las sesiones de los congresistas en el recién inaugurado edificio del Instituto Geológico Nacional, el comité organizador a cargo del Ing. José G. Aguilera organizó 31 excursiones científicas a distintos lugares de la república. Para

el caso michoacano se proyectaron dos recorridos, por lo que la Sociedad Michoacana de Geografía y Estadística nombró una comisión especial a cargo del Lic. Felipe Rivera, por su condición de diputado local y sobre todo por su reconocida trayectoria en el ámbito de las ciencias, especialmente de la astronomía (Mijangos y Aguilar, 2024).

Con la llegada de la Revolución mexicana se produjeron cambios que llevaron a la gubernatura del estado al Dr. Miguel Silva González, en tanto que el Lic. Rivera se sumó a una candidatura federal por el Partido Liberal Silvista, convirtiéndose en diputado federal en octubre de 1912, mudándose a la Ciudad de México por un periodo de tiempo, abriéndose camino no solo en el área política sino acercándose a grupos científicos que ocupaban cargos en diversas instituciones como Ángel Anguiano, presidente del Observatorio Astronómico Nacional (Sánchez y Ramos, 2010).

## El legado científico de Felipe Rivera

El descubrimiento de la Nova en la constelación de Perseo en 1901, marcó el punto de inflexión para que se consolidara una comunidad astronómica en el país a partir del descubrimiento de una estrella temporaria por parte de un personaje de la provincia (Mijangos y Aguilar, 2024). Más que el descubrimiento en sí mismo, lo importante fue lo que se generó en torno a tal descubrimiento. La importancia que tuvo el acontecimiento radica en que fue el preciso momento en que la comunidad científica nacional, a partir de la iniciativa del Ing. Luis G. León, se aglutinó para consolidar el proyecto de la Sociedad Astronómica de México, cuya creación se formalizó el 1 de marzo de 1902, justo un año después del descubrimiento de Felipe Rivera. Y como no podía ser de otra manera, Rivera fue uno de los 20 miembros fundadores (Mijangos y Aguilar, 2024). Uno de los objetivos de esta Sociedad fue promover la colaboración entre aficionados y profesionales, así como estimular la investigación astronómica en todo el país (<https://www.sociedadastronomicademexico.org>, 2026).

Felipe Rivera no se limitó a registrar fenómenos celestes de manera individual, comprendió que la ciencia necesitaba también difusión y organización para consolidarse, siendo este uno de sus más importantes aportes. La fundación de instituciones, el fomento, la difusión, el interés en la sociedad, en particular por la astronomía, a diferencia de muchas ciencias sociales y naturales dejó espacio para que las infancias se acercaran a ella. En este sentido, su papel como impulsor de la astronomía en México se manifestó en diversas acciones: la formación de redes de astrónomos aficionados, la

colaboración con sociedades científicas emergentes y la creación de espacios de observación accesibles al público.

Además, Felipe Rivera fomentó la divulgación científica a nivel local. En su casa en Zinapécuaro, el “Gabinete Urania”, se convirtió en un espacio donde los visitantes podían observar instrumentos astronómicos y aprender sobre fenómenos celestes. Además de que este gabinete contaba con una vistosa representación gráfica del sistema solar en la parte superior, realizada por el mismo Felipe Rivera. Una presentación que en su conjunto podría considerarse como una especie de primer planetario en México (Tapia, 2017).

Actualmente, la propiedad donde vivió Felipe Rivera se mantiene como casa museo (**Figura 2**), conservando su telescopio y sus registros astronómicos, lo que refleja su vocación de acercar la astronomía a la comunidad (Juglares, 2020). Fue la Dra. Esperanza Ramírez quien en 1997 fundó la Sociedad Cultural Xarhantani, misma que impulsaría el rescate de las pertenencias y la inauguración como casa museo en 2004 (Tapia, 2017) a cargo del H. Ayuntamiento de Zinapécuaro, en convenio con el Instituto Nacional de Antropología e Historia, delegación Michoacán.



**Figura 2.** Fachada de la Casa Museo Lic. Felipe Rivera en Zinapécuaro, Michoacán.

Su influencia también llegó al ámbito educativo: Rivera promovió conferencias, charlas y demostraciones públicas, estimulando la curiosidad científica entre estudiantes y aficionados. En una época en que la astronomía profesional en México se concentraba en pocos y lejanos observatorios urbanos, su iniciativa descentralizó parcialmente la práctica astronómica, mostrando que el conocimiento podía generarse y compartirse desde localidades marginales. Y aunque Rivera no desarrolló teorías complejas ni publicaciones científicas extensas, su método de observación y registro fue riguroso: anotaba fechas, posiciones y cambios de intensidad, y comparaba sus hallazgos con catálogos internacionales. Su método sistemático de trabajo permitió que su descubrimiento fuera reconocido y validado por la comunidad científica, y a la vez inspiró a futuras generaciones de astrónomos mexicanos. A partir de su descubrimiento, Rivera fue miembro fundador de la Sociedad Astronómica de México (1902), miembro fundador de la Sociedad Michoacana de Geografía y Estadística (1905), y tuvo membresías de la Sociedad Científica “Antonio Alzate” y de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, además de varios reconocimientos internacionales.

En conjunto, los esfuerzos de Felipe Rivera reflejan un compromiso con la institucionalización y la divulgación de la astronomía en México, destacando la importancia de los astrónomos aficionados en la construcción de la

ciencia nacional y la creación de una cultura científica que involucrara tanto a expertos como a la sociedad en general (**Tabla 1**).

La figura de Felipe Rivera trascendió la anécdota de su descubrimiento de la nova en Perseo; su influencia se extendió a la construcción de una identidad científica mexicana en torno a la astronomía. Su labor se inscribe en una etapa crucial de transición entre el amateurismo ilustrado del siglo XIX y la profesionalización científica del siglo XX. Rivera encarnó el espíritu de quienes hicieron de la curiosidad una herramienta para el conocimiento, en un contexto donde las instituciones eran incipientes y los recursos escasos.

Aunque el reconocimiento global fue limitado por la falta de medios de comunicación científica en el país, el hecho se convirtió en símbolo de posibilidades. Mostraba que desde un pequeño pueblo michoacano podía generarse observación astronómica de calidad. En palabras de Moreno Corral y Rodríguez Jorge, “*Felipe Rivera es ejemplo del aficionado apasionado que logra, con medios modestos, un descubrimiento de relevancia universal*” (Moreno y Rodríguez, 2020).

El legado de Rivera también se manifiesta en la memoria institucional. El planetario “Felipe Rivera” de Morelia, inaugurado en 1975, perpetúa su nombre como símbolo de la astronomía michoacana y mexicana. Según una crónica de su aniversario:

**Tabla 1.** Línea del tiempo de Felipe Rivera

4 de febrero de 1852	Nace en Zinapécuaro, Michoacán.
1860-1865	Primeros estudios en Zinapécuaro, se traslada a Morelia para continuar con sus estudios; conoce al maestro Antonio Quiroz quien despierta en él la curiosidad de la astronomía.
1866-1868	Su padre intenta darle una educación religiosa y éste abandona esa posibilidad para proseguir una educación laica.
1872	Obtiene su título como abogado a los 20 años en el Colegio de San Nicolás.
31 de octubre de 1873	Recibe del Colegio de San Nicolás un premio correspondiente a la cátedra de Música.
30 de diciembre de 1878	Nombrado secretario de la prefectura en Zinapécuaro.
1880	Se consolida como un abogado reconocido en la región.
21 de mayo de 1882	El Lic. Felipe Rivera participa en una velada en el programa musical con la obra “Fantasía” de D´Aland donde interpretó al violín con motivo de la reinauguración del edificio del Colegio de San Nicolás.
5 de febrero de 1886	Contrae matrimonio con una conocida dama del pueblo de nombre Adela Castro Soto con la que realiza conciertos en su casa e imparte clases de música.
1892	Reseña la aparición de un cometa en el cuadrante de Pegaso en la descripción mensual del espacio celeste mexicano.

Julio 1895	Notifica la reunión de la mitad del sistema planetario en la constelación de los Gemelos.
1895	Encabeza la fundación del “Club Figueroa”, de Zinapécuaro, cuyo objetivo era favorecer las nominaciones de los candidatos Porfirio Díaz y Aristeo Mercado a los gobiernos federal y estatal, respectivamente.
28 de mayo de 1900	Publica varias notas en referencia a un “Concurso de planetas en la constelación de Sagitario” así como el eclipse total de sol.
1900	Se convierte en diputado local.
1901	Descubre una estrella temporal en la constelación de Perseo.
1904	Es nombrado presidente del Club Democrático Central de Zinapécuaro, cuyo propósito era promover la candidatura de don Aristeo Mercado a la gubernatura, y de la fórmula Porfirio Díaz-Ramón Corral a la presidencia y vicepresidencia de la República, respectivamente.
1 de marzo de 1902	La Sociedad Astronómica de México se formaliza, siendo Felipe Rivera fue uno de los fundadores y presidente honorario perpetuo.
5 de enero de 1905	Es uno de los fundadores y principales impulsores de la Sociedad Michoacana de Geografía y Estadística.
Agosto 1905	Publicó una reseña histórica de los principales eclipses totales de sol en el siglo XIX producidos entre 1842 y 1900.
7 de mayo de 1906	Publica el texto “La fotografía como auxiliar del estudio de la astronomía”.
Agosto 1906	Participa en el X Congreso Geológico Internacional. Acompaña las excursiones de los científicos internacionales participantes.
1910	Forma parte del comité directivo del Club Central Reeleccionista que encabezaba a 152 clubes locales en todo Michoacán a favor de la candidatura presidencial de Porfirio Díaz.
Septiembre 1912	Inicia su recorrido como candidato a la diputación federal.
1913	Electo diputado federal.
Octubre 1913	Regresa a Zinapécuaro para cultivar su pasión por la música y la astronomía.
23 de junio de 1920	Muere en su natal Zinapécuaro a los 68 años de edad.

*“El hecho de que la información de Felipe Rivera fuera tan exacta dio pauta para que México tuviera participación internacional en el estudio de la Nova Persei en 1901”* (Noventa grados, 2013).

Asimismo, su casa pasó a convertirse en un testimonio de dicha actividad en su conocido “Gabinete Urania” (Mijangos y Aguilar, 2024), donde aún se conservan instrumentos, documentos y mobiliario original. Un espacio de memoria científica que parte de un extracto de su vida personal, y los albores de la necesidad de comenzar a expandir la ciencia mexicana. El museo no solo es parte de la memoria colectiva, sino que representa la estimación que guarda Zinapécuaro a una figura de su comunidad que, sin título de astrónomo profesional, logró consolidar la

ciencia astronómica en el país y unificarla. La astronomía no solo es ciencia y datos, es principalmente asombro y curiosidad ante el cielo estrellado.

Desde su cargo como diputado local y federal, Felipe Rivera supo desenvolverse en la escena pública y se relacionó con diversas personalidades no solo de la política sino también entre la comunidad científica mexicana e incluso internacional. Prueba de ello son los numerosos libros a él dedicados que existen en su biblioteca personal ubicada en la casa museo. Entre los que se pueden encontrar obras de egresados del Colegio de Minería, después Escuela de Ingenieros como Francisco Díaz Covarrubias y Ángel Anguiano (Pacheco y Ramón, 2010), mismos que en algún momento se desempeñaron en algún cargo público, tal es el caso de Anguiano quien fue responsable del Observatorio Astronómico Nacional de Tacubaya.

Camille Flammarion (1842-1925) fue otro de los

científicos con los que Rivera estuvo en contacto, siendo este una referencia internacional en el área de la astronomía y que en 1887 fundó la Sociedad Astronómica Francesa y la revista *L'Astronomie*. Flammarion también fue un gran difusor de la astronomía y su obra fue sumamente conocida en México y Latinoamérica. En la casa museo del Lic. Felipe Rivera existen al menos 10 de los 26 títulos de astronomía escritos por Camille Flammarion y un retrato de él, autografiado con la leyenda: “A mi colega Don Felipe Rivera, con todos mis saludos, París, 1910”, lo que refiere una constante comunicación epistolar entre ambos personajes.

El Lic. Felipe Rivera murió el 23 de junio de 1920 en su natal Zinapécuaro a los 68 años de edad. Su tumba se encuentra en el pasillo central del panteón municipal donde en fechas conmemorativas el H. Ayuntamiento en turno suele hacer una guardia de honor para honrar su memoria. Existe en la misma localidad un jardín de niños que lleva su nombre y donde el personal educativo transmite la historia de vida a los pequeños alumnos de la escuela.

## Conclusiones

El desarrollo de la astronomía en México, desde las antiguas prácticas mesoamericanas hasta el desarrollo de un conocimiento más sistemático en la Nueva España, y posteriormente en el México independiente, nos permite valorar un panorama desde los acontecimientos cronológicos de cómo evolucionó cualitativamente el conocimiento astronómico, desde la observación de los fenómenos celestes ligados a los ciclos de producción agrícolas hasta la construcción de teorías y cosmogonías que determinaban ciertas formas de pensamiento que daban sustento a su vida cotidiana. El conocimiento científico evolucionó por necesidad, pasando de una astronomía posicional a una instrumental, ante la importancia de desarrollar y mejorar las herramientas y las técnicas de observación, hasta llegar a la creación de instituciones que en México independiente incentivaron el desarrollo de esta ciencia.

A Don Felipe Rivera se le otorga un lugar en la historia porque consolidó y mostró que se podía hacer ciencia desde la periferia, pero también desde fuera de las aulas, demostrando que en su condición de “aficionado” era posible generar conocimiento científico y difundirlo en medios impresos estatales. En este sentido, es importante tener en cuenta que más allá de cosmovisiones, intenciones instrumentales, descubrimientos estelares, la importancia central en Felipe Rivera fue la de un difusor de la astronomía, impulsado por la curiosidad, la atracción

que le generó mirar a las estrellas con un interés profundo.

Así pues, el hecho que fuera desde una posición de aficionado que se produjo el descubrimiento de la *Nova Persei* es lo que generó una particular empatía pública hacia su persona, visible en los medios periodísticos de la época, en el reconocimiento institucional y en el protagonismo que adquirió al integrarse en asociaciones científicas estatales y nacionales. Sin duda que ese empoderamiento personal se vio reflejado en su entorno comunitario en donde se le reconoció como un ciudadano distinguido, y benefactor de proyectos sociales. En la memoria popular de su natal Zinapécuaro, la vida y obra de Felipe Rivera es un referente de identidad local que permanece.

Es importante destacar que durante la época de Don Felipe Rivera la forma de hacer astronomía era “artesanal”, con iniciativa personal, para entonces no se contaba con la instrumentación moderna ni la inteligencia artificial de la que echan mano los científicos de hoy en día. Finalmente, México y sus entidades gubernamentales tienen la responsabilidad de seguir fomentando la astronomía y el conocimiento científico en las nuevas generaciones, así como resguardar y difundir el legado que desde el municipio de Zinapécuaro construyó don Felipe Rivera.

## Referencias

- Domínguez Prieto O (2022). La práctica de la astronomía en México durante la segunda mitad del siglo XIX. *Oficio. Revista de historia e interdisciplina* (15):97–113. doi:10.15174/orhi.vi15.244
- Gobierno del Estado de Michoacán (1910). Ley de división territorial del Estado de Michoacán de Ocampo, Talleres de la Escuela Industrial Militar “Porfirio Díaz”.
- González Seguí O (2003). *Ciencia como saber de élite y divulgación de cultura científica en el siglo XX en Michoacán*, El Colegio de Michoacán.
- Lizano Susana y Rodríguez Jorge LF (coord.) (2020). *La astronomía en México antes y después de la Conquista*, Colegio Nacional, Ciudad de México.
- Mijangos Díaz E y Aguilar López N (2024). *Felipe Rivera. Los impulsos de la ciencia a fines del porfiriato*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Moreno Corral MA (1988). El Observatorio Astronómico Nacional y el desarrollo de la ciencia en México (1878-1910). *Quiipu* 5(1):59–67.
- Moreno Corral MA (1991). Telescopios que han influido en el desarrollo de la astronomía y la astrofísica en México. *Quiipu* 8(1):111-122.
- Moreno Corral MA (1986). Algunos sucesos que dieron origen a la fundación definitiva del Observatorio Astronómico Nacional de México en 1878. *Quiipu* 3(3):299-309.

Moreno Corral MA (2010). *La astronomía en México en el Siglo XIX*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

Moreno Corral MA (2003). *Historia de la astronomía en México*. SEP, Fondo de Cultura Económica.

Moreno Corral MA, Rodríguez J (2020). Felipe Rivera y la Nova Persei 1901. *Cornal*, Ciudad de México.

Montero García IA (2023). *La astronomía en Mesoamérica*. Itio Ediciones.

Moncada JO, Escamilla I, Morelos L (2010). Ingenieros geógrafos y astronomía en el México del siglo XIX”, en: Moreno Corral MA, *La Astronomía en México en el siglo XIX*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

Pacheco Mejía IA, Ramos Lara MP (2010). Difusión de temas astronómicos en algunas revistas científicas mexicanas del siglo XIX, en: Moreno Corral A (coord.), *La Astronomía en México en el siglo XIX*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

Paxton Merideth (2022). El código de Dresde como documento del posclásico tardío: análisis visual en el desarrollo del concepto, *Estudios de Cultura Maya*, LIX: 117-148, primavera verano, en: *Estudios de cultura maya*, Instituto Latinoamericano e Ibérico, Universidad de Nuevo México, Ciudad de México.

Pérez Tamayo R (2005). *Historia general de la ciencia en México en el siglo XX*, Fondo de Cultura Económica, México.

Sánchez Estrada MA, Ramos Lara MP (2010). La astronomía, campo fundamental en las labores de la Secretaría de Fomento (Siglo, XIX)”, en: Moreno Corral A (coord.) *La Astronomía en México en el siglo XIX*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

Tapia Pérez RO (2017). *Felipe Rivera un hombre con estrella*, S.E.

Velázquez Fernández H (2008). Instrumentación, ciencia y epistemología: la relevancia de la observación novohispánica del eclipse lunar de 1584. *En-claves del pensamiento* 2(4):113-130.

## Archivos

Archivo Personal Lic. Felipe Rivera

Archivo Personal Omar Tapia Pérez

Hemeroteca Nacional

Hemeroteca Mariano de Jesús Torres

## Internet

Instituto de Astronomía Ensenada, UNAM, 2026, <https://www.astrosen.unam.mx/>

Noventa Grados. 2013, recuperado de: <https://www.noventagrados.com.mx>



Revista Juglares, 2020, [juglares.com.mx](http://juglares.com.mx)

Rodríguez, Luis Felipe, “Astronomía decimonónica michoacana”, 2020, recuperado de: <https://colnal.mx/wp-content/uploads/2020/01/Felipe-Rivera-y-la-Nova-Persei-1901.pdf>

Sociedad Astronómica de México. 2026, (<https://www.sociedadastro-nomicademexico.org>)



# Transcriptional interplay between gibberellic acid and jasmonic acid modulates root growth in *Arabidopsis thaliana*

Ernesto Vázquez-Chimalhua  <sup>1</sup>, Pedro Iván Huerta-Venegas<sup>2</sup>, Tzvetanka D. Dinkova<sup>1</sup>, León Francisco Ruíz-Herrera<sup>2</sup>, Javier Raya-González<sup>3</sup>, José López-Bucio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Bioquímica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

<sup>3</sup> Facultad de Químico-Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

## Abstract

Phytohormones tune growth and development in response to environmental cues. Positive and negative feedbacks enable genetic responses from every signaling molecule and their transductional interactions. For example, xylem formation in roots of *Arabidopsis thaliana* is promoted by jasmonic acid and antagonized by cytokinin. In contrast, root meristem development is synergistically stimulated by auxins and cytokinins, which act as morphogens according to their local concentrations. Here, we report that gibberellic acid, a major regulator of stem elongation, cross-talks with jasmonic acid, the canonical defense sentinel, at the transcriptional level and leads to root growth inhibition. Gibberellic acid reduced root growth and exacerbated the induction of jasmonic acid-related genes upon supplementation of both phytohormones. On the other hand, jasmonic acid upregulates gibberellic acid response, indicating a positive feedback loop. These results open the possibility to manage plant growth and defense via the formulation of phytohormone mixtures that orchestrate fundamental cell processes.

**Keywords:** jasmonic acid, gibberellic acid, root development, *Arabidopsis thaliana*.

## Introduction

Phytohormones regulate morphological, physiological and genetic processes. Gibberellic acid (GA) and jasmonic acid (JA) play critical roles in stem elongation and plant protection against wounding and herbivory, respectively. The activation of JA signaling pathway and response stimulates the synthesis of defense compounds, which is costly and overall, reduces plant growth (Zrimec *et al.*, 2025). JA is synthesized by organisms belonging to phylogenetically diverse kingdoms such as bacteria, fungi and plants, and shares structural similarity with animal prostaglandins (Forchetti *et al.*, 2007; Chini *et al.*, 2018; Sá-Nakanishi *et al.*, 2018). On the other hand, there are nearly 130 different types of GAs synthesized by microbes and plants (Zhang *et al.*, 2022).

GA compounds are based on a gibbane ring and some of these are composed by a tetracyclic diterpenoid C<sub>20</sub> dicarboxylic acid or C<sub>19</sub> monocarboxylic acid skeleton (Salazar-Cerezo *et al.*, 2018). The bioactive GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub> and GA<sub>4</sub> are perceived in the nucleus by the receptor GIBBERELIN INSENSITIVE DWARF1 (GID1). GA-GID1 dimer binds to DELLA protein in a GA-dependent manner to build the GA-GID-DELLA complex. DELLA proteins are nuclear repressors including GIBBERELIC ACID

### Dates

Received: May 12, 2025

Accepted: January 16, 2026

Available online: April 2026

### ✉ Corresponding author

Ernesto Vázquez Chimalhua

email: [belengwer@yahoo.com](mailto:belengwer@yahoo.com)

ORCID: 0000-0002-3118-4995

### Cite this article

Vázquez-Chimalhua E, Huerta-Venegas PI, Dinkova TD, Ruíz-Herrera LF, Raya-González J, López-Bucio J (2026). Transcriptional interplay between gibberellic acid and jasmonic acid modulates root growth in *Arabidopsis thaliana*. *Ciencia Nicolaita* 96:11-20. DOI:10.35830/cn.vi96.865

INSENSITIVE (GAI), REPRESSOR OF *GAI*-3 (RGA), RGA-Like1 (RGL1), RGL2 and RGL3. Later on, DELLA is recruited by SLEEPY1 (SLY1), a specific F-box protein member of the SCF<sup>SLY1</sup> complex for poly-ubiquitination and successive degradation by the 26S proteasome. Degradation of DELLA repressors releases MYELOBLASTOSIS (MYB) transcription factors, which trigger the GA response (Ueguchi-Tanaka *et al.*, 2005).

GA is involved in a wide variety of physiological process from seed germination to flowering (Hedden, 2020). Nonetheless, their roles in root development are not

well known. In *A. thaliana* roots, GA specifies xylem cell identity influencing auxin efflux carrier *PIN-FORMED1* (*PINI*). Moreover, GA promotes early stages of secondary xylem formation and expansion of vessel cells (Mäkilä *et al.*, 2023).

GA is involved in longitudinal and radial root development. GA application or loss-of-function of the RGA repressor influences root meristems involving the transcription factor SCARECROW (SCR) (Moubayidin *et al.*, 2010; 2016). For radial axis patterning, GA plays a key role in the ground tissue, particularly, in middle cortex (MC). During early root development, GA is accumulated and the MC formation is inhibited through CYCLIN D6;1 (*CYCD6;1*), a cell cycle regulator that promotes cell division (Paquette and Benfey, 2005). Interestingly, GA acts as a negative regulator of lateral and adventitious root formation, under normal growth conditions or in response to nutrient deficiency (Hetherington *et al.*, 2021; Jing *et al.*, 2024).

JA is a biotic stress-related hormone that activates defensive reactions and controls root growth and branching (Staswick *et al.*, 1992; Ishimura *et al.*, 2018; Major *et al.*, 2020). Within the cell nucleus, jasmonic acid-isoleucine (JA-Ile) is perceived by the F-box protein receptor CORONATINE INSENSITIVE1 (*COI1*), a specific moiety of the ubiquitin ligase complex SCF<sup>COI1</sup>, or by the co-receptor complex SCF<sup>COI1</sup>-InsP5-JAZ formed *a priori* (Mosblech *et al.*, 2011). JASMONATE ZIM-domain (JAZ) proteins act as transcriptional repressors that bind to and inactivate MYELOCYTOMATOSIS (MYC) transcriptional activators, inhibiting expression of JA responsive genes. JA-Ile-*COI1*-JAZ interaction ubiquitinates JAZ repressors and promotes their degradation via the 26S proteasome, liberating MYC transcription factors and activating JA response (Li *et al.*, 2024). JA inhibits root development interfering with cell cycle progression and expression of stem cell niche maintenance genes (Chen *et al.*, 2011).

JA and GA may interact at different levels. In response to chewing herbivores, the transcription factor WRKY70 prioritizes defense rather than growth. In rice, WRKY70 upregulates JA-biosynthetic genes *hervibore-induced type2 13-lipoxygenase* (*OsHI-LOX*) or *OsAOS2* and downregulates GA-biosynthetic *gibberellin 20-oxidase7* (*GA20ox7*) gene (Li *et al.*, 2015). The JAZs repressors compete with the transcriptional activators of GA signaling PHYTOCHROME INTERACTING FACTORS (PIFs) for the binding to DELLAs. The complex JAZ-DELLA allows the PIFs bind to GA-responsive gene promoters. Perception of JA prompts degradation of JAZ proteins via ubiquitin-26S proteasome, antagonizing GA signaling

by means of the PIF-DELLA dimerization (Yang *et al.*, 2012). Conversely, DELLAs bind to JAZs in competition with MYC2. GA perception promotes ubiquitin-26S proteasome degradation of DELLAs, releasing JAZs and subsequently dimerize with its cognate to form JAZ-MYC2 inhibitory complex (Hou *et al.*, 2010).

Here, we report a synergistic interaction of GA with JA, which leads to root growth inhibition in *Arabidopsis thaliana*. GA inhibits root growth from 100  $\mu$ M onwards, whereas JA inhibits root growth at lower concentrations (i.e. 4  $\mu$ M). Seedlings treated with a combination of GA plus JA (GA+JA) show an increased root growth inhibition. Analysis of *JAZ1/TIFY10A-GFP*, a JA-related gene marker, indicated that GA does not activate JA-responsive gene expression. However, the GA+JA condition triggered an enhanced reporter gene expression that the single JA treatment, suggesting a synergistic interaction. By using the JA insensitive mutant *coil-1*, we observed that synergistic root growth inhibition induced by GA+JA operates in a *COI1*-dependent manner, since *coil-1* mutant is more resistant to the combined treatment than Col-0 seedlings. Moreover, JA activates gibberellin responsive *RGL2::uidA* reporter gene, indicating that both phytohormones possibly interact at transcriptional level in *A. thaliana*. These data help to understand hormone interactions critical to protect plants against pathogens or to withstand environmental stress conditions.

## Materials and methods

### Plant materials and growth conditions

In this study, experiments were conducted seven days post germination in *Arabidopsis thaliana* seedlings, including the wild-type Columbia-0 (Col-0), the transgenic lines *JAZ1/TIFY10A-GFP* (Grunewald *et al.*, 2009) and *RGL2::uidA* (Lee *et al.*, 2002), and the *coil-1* mutant (Feys *et al.*, 1994). Seed preparation involved disinfection with 95% (v/v) ethanol for 5 minutes, followed by 20% (v/v) commercial bleach for 7 minutes, five rinses with sterile distilled water, and 2 days of stratification in darkness at 4 °C to synchronize germination. Then, seeds were sown on axenic Petri plates containing agar solidified MS 0.2x medium adjusted to pH 7.0, 0.6% (g/L) sucrose, 1% (g/L) phytagar (Phytotechnology Laboratories), and 0.09% (g/L) Murashigue and Skoog Basal Salts Mixture (Sigma Aldrich). Plates were placed in a vertical position to allow root growth and shoot development into a plant growth chamber Percival AR-95L with a photoperiod of 16 h light and 8 h darkness, light intensity of 300  $\mu$ mol/m<sup>2</sup>s, and a temperature of 22 °C.

## Chemical compounds

The MS 0.2x medium was supplemented with increasing concentrations of gibberellic acid (GA), jasmonic acid (JA), and the combination of GA+JA to evaluate their effects on the *Arabidopsis thaliana* primary root growth. GA<sub>3</sub> (CAS number: 77-06-5) and JA (CAS number: 77026-92-7) were purchased from Sigma-Aldrich and dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO) or ethanol, correspondingly. For control conditions, the MS 0.2x medium was supplemented with the maximum volume of absolute ethanol employed in the experimental treatments.

## Visualization of gene expression

The morphology of the root meristem and fluorescence signals from propidium iodide (PI) and green fluorescent protein (GFP) of the *JAZ1/TIFY10A-GFP* reporter gene were visualized and registered using a confocal microscope (Olympus FV1200). For sample preparation, roots were placed on a microscope slide with 90 µL of PI (0.5 mg/mL) and carefully covered with a coverslip. Fluorescence imaging was performed using the following parameters: PI was excited at 568 nm with emission detected at 585–610 nm, while GFP was excited at 458 nm with emission detected at 505–550 nm. Individual micrographs were acquired and subsequently merged to generate the final composite image.

To visualize the expression of the *RGL2::uidA* reporter gene, *Arabidopsis* seedlings were incubated overnight at 37 °C in an X-gluc staining solution (pH 7.0), and root apices were imaged using Nomarski optics (Leica DM5000B). The *uidA* gene encodes β-glucuronidase (GUS), which catalyzes the hydrolysis of X-gluc (5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide), producing an insoluble blue color to indicate reporter gene expression (Jefferson *et al.*, 1987). The staining procedure was conducted according to Jefferson *et al.* (1987) with some modifications: the incubation X-gluc staining solution contained X-gluc 1 mg/mL, NaHPO<sub>4</sub> 50 mM, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 50 mM, EDTA 10 mM, Triton X-100 0.1% v/v, K<sub>3</sub>Fe[CN]<sub>6</sub> 2 mM and K<sub>4</sub>Fe[CN]<sub>6</sub> 2 mM. After incubation, the samples were clarified to enhance visualization. First, treatment with solution 1 (20% v/v methanol and 2% v/v HCl) for 40 minutes at 62 °C, followed by solution 2 (7% w/v NaOH and 60% v/v ethanol) for 30 minutes at room temperature (Malamy and Benfey, 1997). The clearing process was completed by sequential treatment with ethanol at decreasing concentrations (40%, 20%, and 10% v/v) for 30 minutes each. Finally, the cleared samples were mounted on microscope slides with 90 µL of 50% (v/v) glycerol.

## Data analysis and software tools

The expression of the *RGL2::uidA* and *JAZ1/TIFY10A-GFP* reporter genes was quantified using the Fiji/ImageJ2 software (available at <https://imagej.net/>). For GUS activity quantification (Béziat *et al.*, 2017), images in JPG format color type RGB were converted to HSB stack. In saturation channel, expression area from meristem to columella were selected for grayscale values measurement within *RGL2::uidA* primary root. On the other hand, GFP fluorescence was quantified from confocal-microscopy-obtained composite images (.oib format). For this purpose, a defined region of interest (ROI) was selected using the polygon tool and green pixel intensity was measured within the expression area of *JAZ1/TIFY10A-GFP* in primary root. Total green pixel values were normalized by dividing them by the selected area and results were expressed as relative fluorescence units.

R statistical program (available at <https://www.r-project.org/>) was employed to establish statistical difference among treatments applying an analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's post hoc test with a significance threshold of  $p \leq 0.05$ . Statistical differences among treatments are indicated with distinct letters in the graphs.

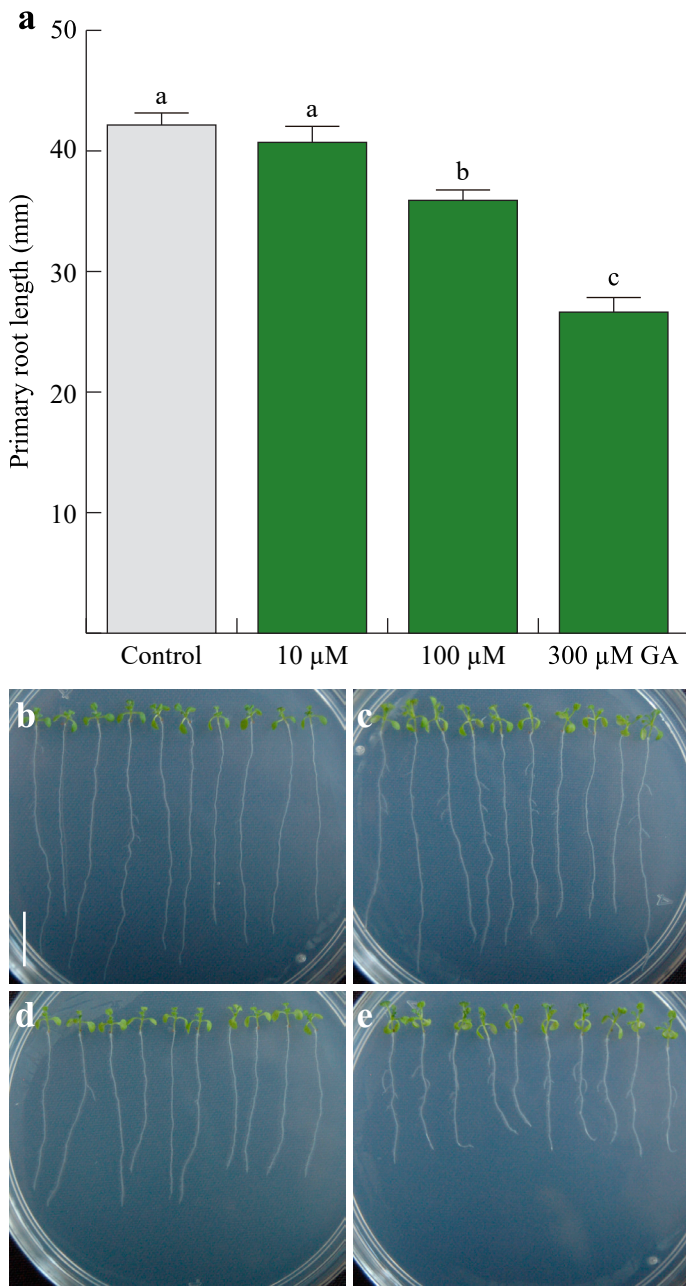
## Results

### Gibberellic acid has a mild growth repressing effect in *Arabidopsis* primary root growth at high micromolar concentrations

GA is a well known phytohormone promoting seed germination and stem elongation, but its role in post-embryonic root development has been scarcely investigated. To gain information on this process, the primary root growth in response to low and high GA concentrations was evaluated. GA showed a repressing effect on root growth inhibiting nearly 10% at 100 µM, while 300 µM reduced growth by 35%. This indicates that GA acts as a repressor of root elongation in *Arabidopsis thaliana* (Figure 1).

### Jasmonic acid represses *Arabidopsis* primary root growth at low micromolar concentrations

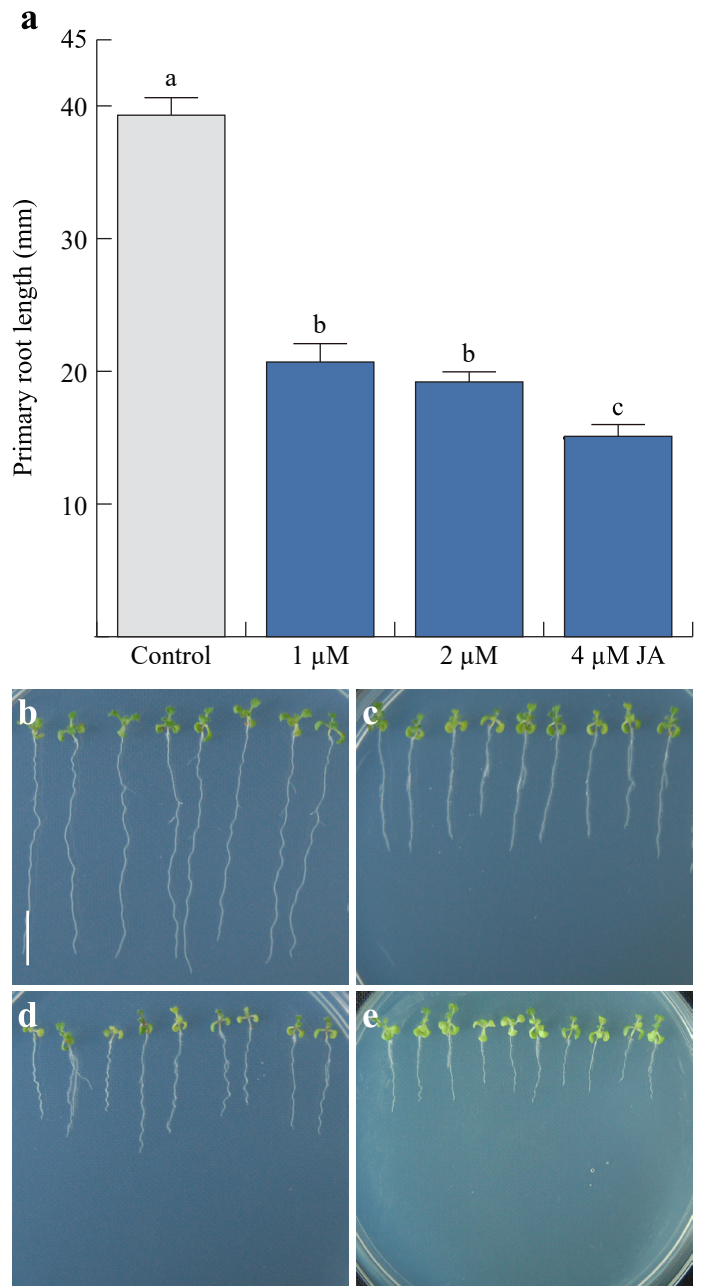
To establish the JA dose for analysis of GA-JA interaction, firstly, we evaluated several JA concentrations on *A. thaliana* root growth. As expected, and according to previous reports (Raya-González *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2025), JA had a 50% growth inhibition at 1 µM concentration, this effect was maintained at 2 µM and 4 µM (Figure 2). These results show the activity of JA in repressing root growth.



**Figure 1. Gibberellic acid inhibits root growth of *Arabidopsis thaliana*.** (a) Mean primary root length. Representative photos of *A. thaliana* seedlings in control condition (b), 10 μM (c), 100 μM (d), or 300 μM (e) GA. Scale bar = 1 cm. Different letters show statistically significant differences via ANOVA and Tukey's HSD test ( $p \leq 0.05$ ) from 50 seedlings. The experiment was repeated three times with comparable results.

### Gibberellic acid and jasmonic acid synergistically halt root growth

To study GA-JA interaction on root growth, 300 μM GA and 4 μM JA were applied together. Consistently with previous data, GA and JA inhibited primary root growth about 40% and 50%, respectively. However, when plants were grown in media supplemented with GA plus JA

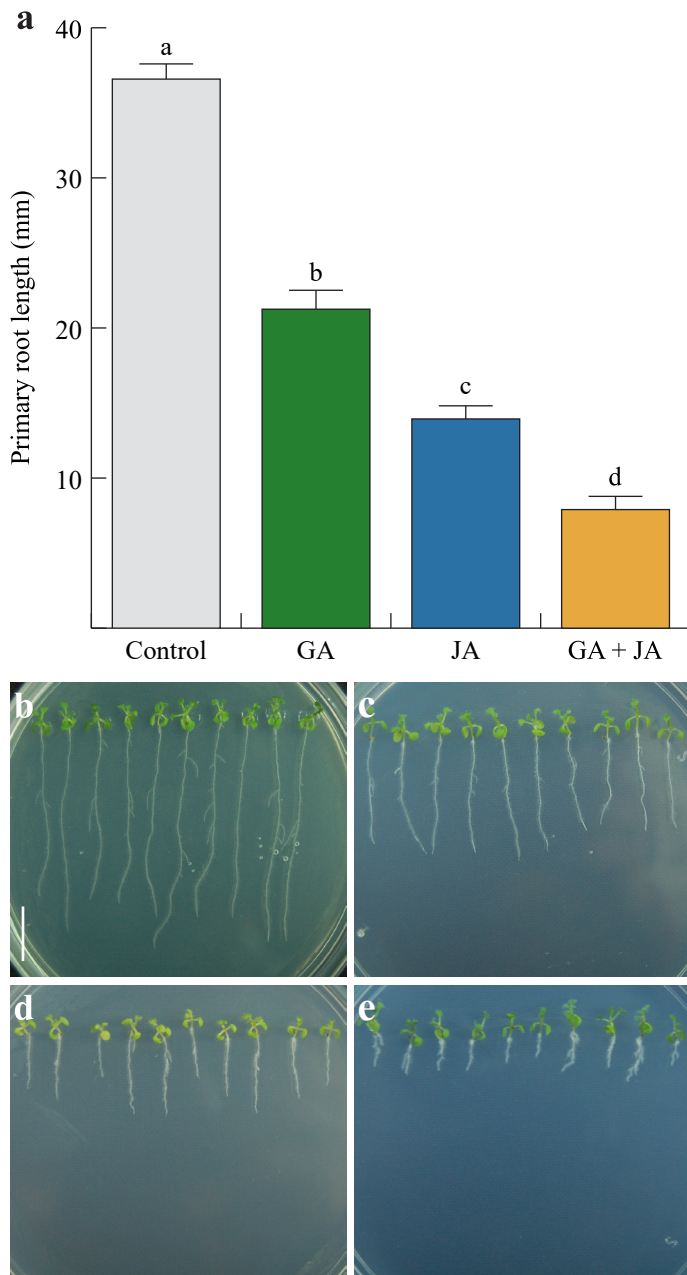


**Figure 2. Jasmonic acid inhibits root growth of *Arabidopsis thaliana*.** (a) Mean primary root length. Representative images of plants treated with the solvent only (b), 1 μM (c), 2 μM (d), or 4 μM (e) JA. Different letters indicate statistically significant differences via ANOVA and Tukey's HSD test ( $p \leq 0.05$ ) from 50 seedlings. Scale bar = 1 cm. The experiment was repeated three times with comparable results.

(GA+JA), the primary root inhibition was enhanced (about 80%) when compared to individual GA or JA treatments (Figure 3), suggesting a synergistic effect on root growth.

### Gibberellic acid enhances jasmonic acid-responsive gene expression in *A. thaliana* root tips

The JA signaling pathway is activated upon perception



**Figure 3. Root growth inhibition in *Arabidopsis thaliana* is exacerbated by GA-JA combination.** (a) Mean primary root length. Representative images of plants treated with the solvent only (b), 300  $\mu$ M GA (c), 4  $\mu$ M JA (d) and 300  $\mu$ M + 4  $\mu$ M GA-JA, respectively (e). Different letters indicate statistically significant differences from ANOVA and Tukey's HSD test ( $p \leq 0.05$ ) from 50 seedlings. Scale bar = 1 cm. The experiment was repeated three times with comparable results.

of JA-Ile by its receptor COI1, a subunit of SCF<sup>COI1</sup> complex, which leads to ubiquitination of JAZ transcriptional repressors and its posterior degradation by the 26S proteasome. The liberation of JAZ repressors allows transcriptional factor MYC2 to activate JA responsive genes. To explore whether GA is involved in JA response, we took advantage of the *A. thaliana* reporter line *JAZ1/TI-*

*FY10A-GFP*, a JA-inducible gene expression marker, to test the effects of the solvent only, 300  $\mu$ M GA, 4  $\mu$ M JA and combined treatments. Under control growth condition and GA treatment, *JAZ1/TIFY10A-GFP* reporter gene was not expressed in root tips (Figure 4 a-c). As expected, JA induced *JAZ1/TIFY10A-GFP* expression, preferentially in the external root tip cell layers, including epidermis, cortex and the root cap (Figure 4 d). Interestingly, roots exposed to the GA+JA treatment, not only enhance *JAZ1/TIFY10A-GFP* expression, but also its expression domain, covered most root tissues (Figure 4 e). This indicates that GA acts synergistically, promoting JA response.

### Synergistic interaction of gibberellic acid with jasmonic acid is dependent of COI1

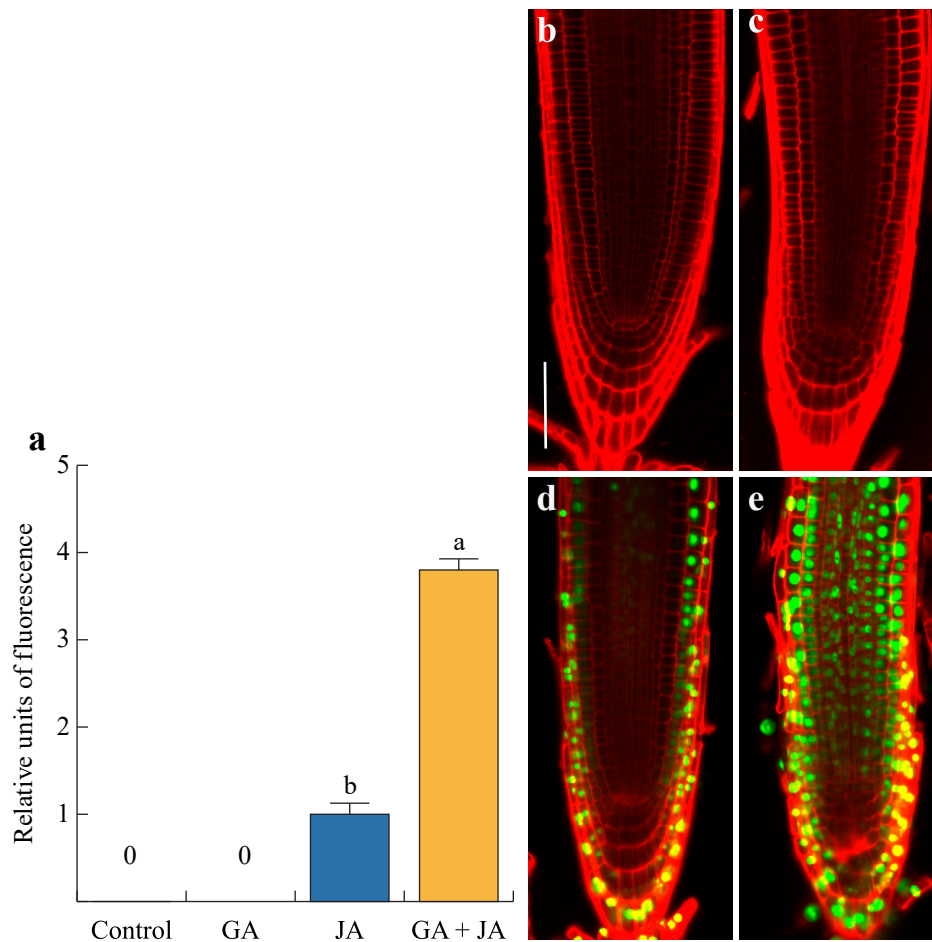
To elucidate whether the GA+JA interaction for root growth inhibition involves the jasmonic acid receptor COI1, the growth of wild-type (Col-0) plants and *coi1-1* mutants was compared. Col-0 seedlings were germinated and grown under standard growth conditions, whereas those of *coi1/coi1* homozygous plants were germinated and selected in growth media supplemented with 4  $\mu$ M JA. Four days post germination, Col-0 and *coi1-1* mutant seedlings were transferred to control medium or medium supplemented with GA (500  $\mu$ M), JA (32  $\mu$ M) or GA+JA (500  $\mu$ M and 32  $\mu$ M, respectively), and three days after transfer, primary root growth was recorded. GA did not affect root growth in Col-0 or *coi1-1* seedlings, compared with control condition. In contrast, JA inhibited root growth of Col-0 but not *coi1-1* seedlings. In GA+JA treatment, root growth inhibition of Col-0 was about 90%, while in *coi1-1* it was nearly 50% (Figure 5).

### Gibberellic acid-jasmonic acid treatment causes the collapse of the root tip

Detailed analysis of the root tips in Col-0 and *coi1-1* seedlings shows that GA treatment did not affect the morphology and structure of the root tips of either genotype, whereas Col-0 seedlings exposed to JA developed thinner primary roots than control condition, but not the *coi1-1* mutant. GA+JA treatment drastically affected the root tip structure of Col-0 seedlings, showing primary roots thinner and root meristem shorter than control condition, whereas *coi1-1* mutant roots manifest a slightly affectation (Figure 6). Thus, the jasmonic acid receptor COI1 plays an important role in cellular and structural adjustments upon combined GA and JA treatment.

### Jasmonic acid activates gibberellic acid-responsive gene expression in the *Arabidopsis* primary root

To determinate whether JA activates a GA response,



**Figure 4. Gibberellic acid synergistically influences jasmonic acid-inducible gene expression.** (a) Relative units of *GFP* fluorescence in *JAZ1/TIFY10A-GFP* expressing *Arabidopsis* seedlings. Representative confocal micrographs of *JAZ1/TIFY10A-GFP* roots in control condition (b), 300 μM GA (c), 4 μM JA (d) and GA+JA (e). Different letters indicate statistically significant differences by ANOVA and Tukey's HSD test ( $p \leq 0.05$ ) from 10 seedlings. Scale bar is 100 μm. The experiment was repeated three times with comparable results.

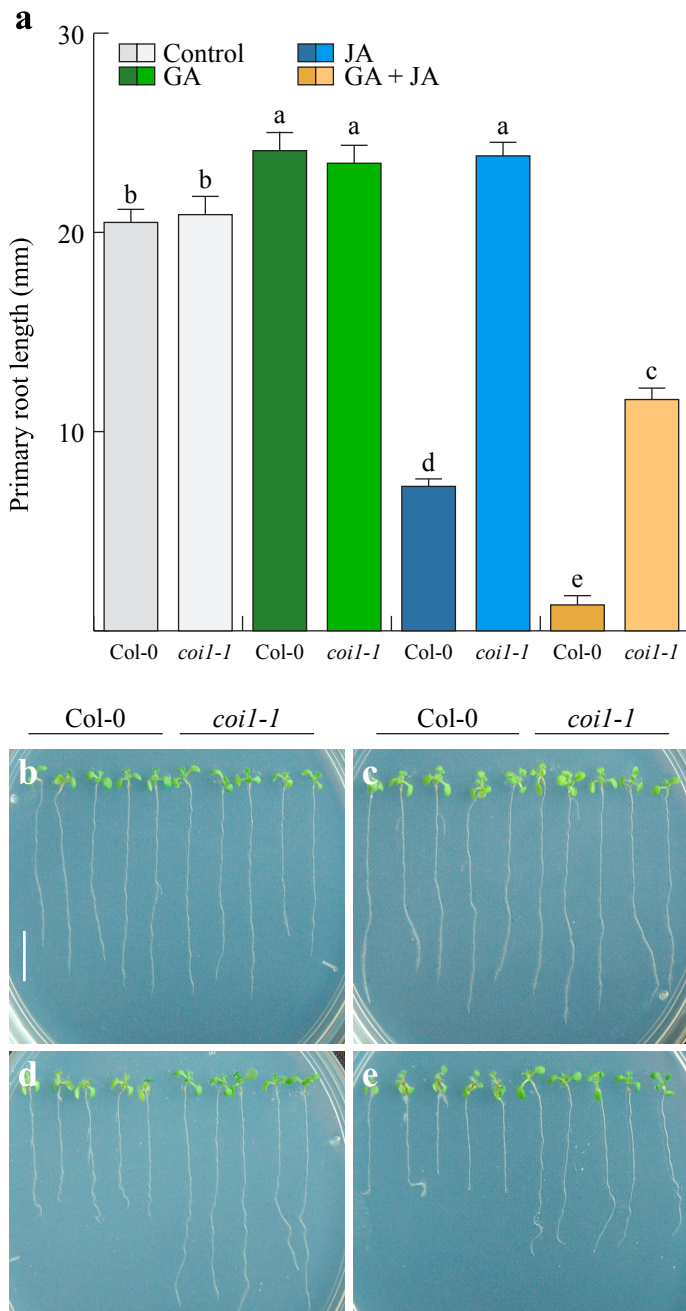
we evaluated the expression of GA-responsive gene expression by using seedlings harboring the *RGL2::uidA* gene construct. *RGL2* gene encodes a transcriptional regulator activated by GA. Under control conditions, *RGL2* is weakly expressed in the root cap. The JA negative effect on primary root growth and meristem were accompanied with a strong *RGL2* expression in the root tips showed in blue color (Figure 7).

## Discussion

Phytohormones may interact at the biosynthesis, perception and genetic response levels. The concentration of gibberellic acid (GA) starts to decline after seed germination, and between 3- and 5-days post germination *RG1* accumulates and upregulates expression of type-B *ARABIDOPSIS RESPONSE REGULATOR1* (*ARR1*) from cytokinin response pathway that together with auxin signaling

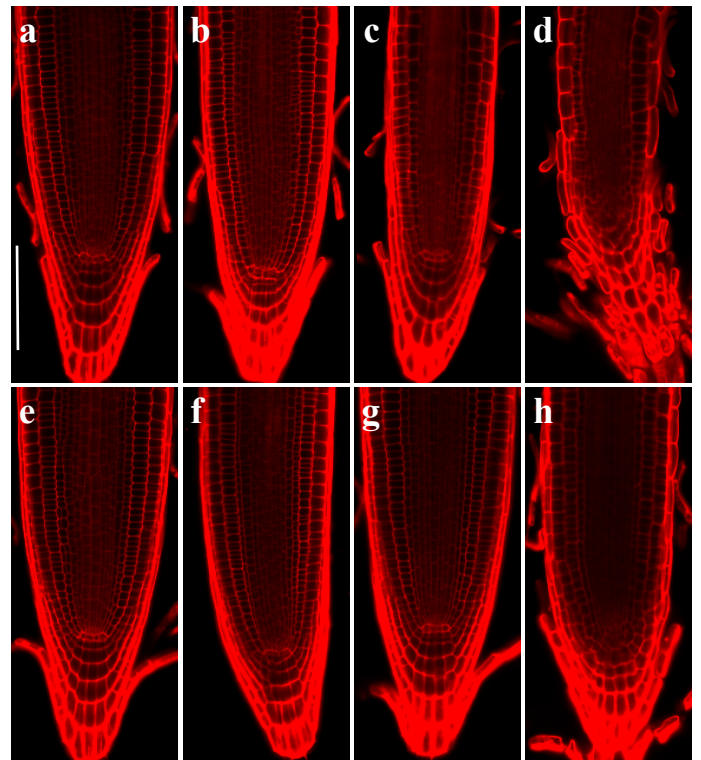
determine root meristem size and growth (Moubayidin *et al.*, 2010). Moreover, GA is synthesized and concentrated in cortex and endodermis to sustain cell expansion and division (Barker *et al.*, 2021). The fact that high concentrations of GA are required to inhibit growth suggests that modulating elements are required to amplify its effect. This could indeed be confirmed, as JA acts as a repressor of root elongation at low concentrations. The combined application of GA and JA exacerbated root growth inhibition in Col-0 seedlings, which correlated with upregulation of *JAZ1/TIFY10A-GFP* JA-responsive gene expression in comparison with JA treatment alone. Interestingly, the *coi1-1* mutant, defective on the JA receptor, had resistance to this hormonal combination suggesting its involvement in mediating the growth repressing effect.

Noteworthy, GA-responsive *RGL2::uidA* reporter gene was activated by JA treatment. This indicates a positive feedback loop among the transcriptional components that explains the reduction of root growth of Col-0



**Figure 5. Root growth reduction in *coil-1* mutant in combined application of gibberellic and jasmonic acid.** (a) Primary root length. Representative photos of Col-0 and *coil-1* seedlings grown side by side on the same plate three days after transfer to control condition (b), 500  $\mu$ M GA (c), 32  $\mu$ M JA (d) and 500  $\mu$ M GA + 32  $\mu$ M JA (e). Different letters indicate statistically significant differences by ANOVA and Tukey's HSD test ( $p \leq 0.05$ ) from 20 seedlings. Scale bar = 1 cm. The experiment was repeated three times with comparable results.

and the partial resistance of *coil-1* mutant to GA and JA combination. These results raise the question of how does JA interact with GA and the role of COI1 in the process. The precise mechanism by which GA and JA enhances JA response and the molecular components involved in this

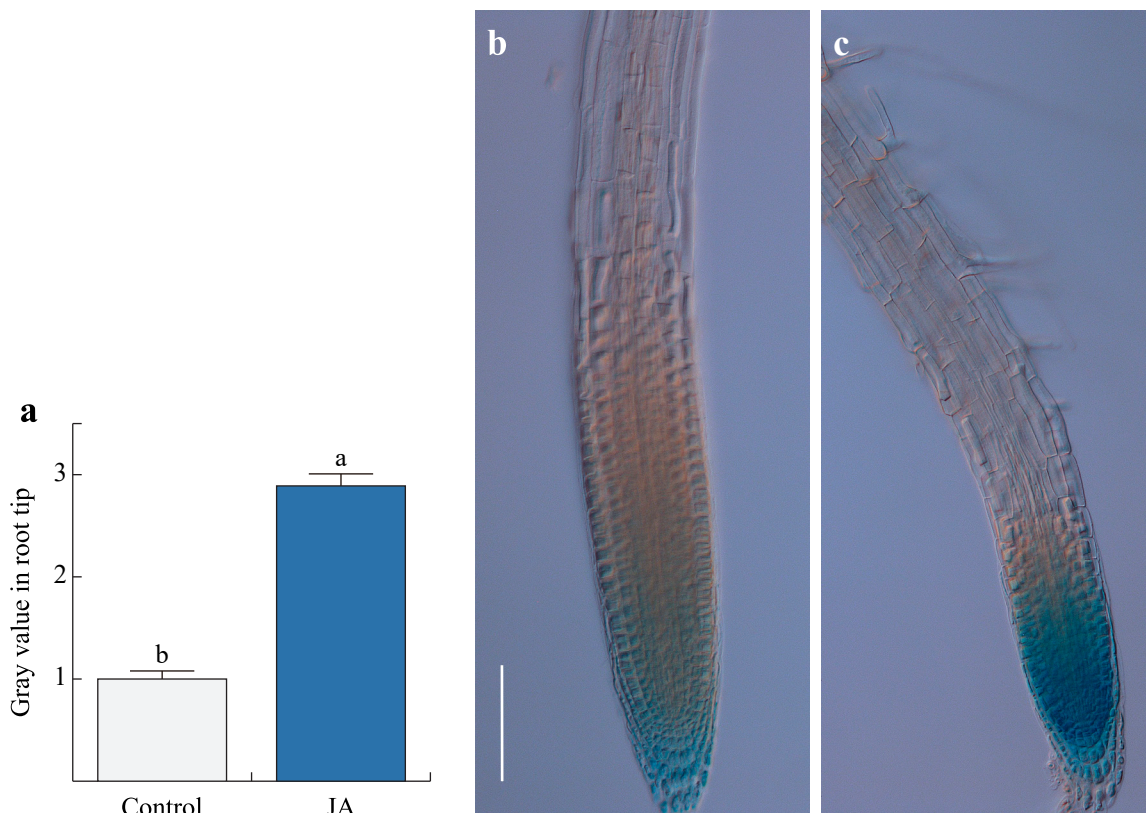


**Figure 6. Combination of gibberellic acid and jasmonic acid disrupts root meristem structure in the WT but not in *coil-1* mutants.** Representative confocal micrographs of Col-0 (a-d) and *coil-1* mutant roots three days after transfer to solvent only or hormonal treatments. Control (a, e), 500  $\mu$ M GA (b, f), 32  $\mu$ M JA (c, g), and 500  $\mu$ M GA + 32  $\mu$ M JA (d, h). Scale bar = 100  $\mu$ M. The experiment was repeated three times with comparable results.

interaction remain to be investigated.

Recent studies on the development of the stamen in *A. thaliana* showed that the transcriptional regulators JAZ and DELLA bind to MYB21 and MYB24 promoters via R2R3 domains to attenuate its function and coordinately suppress filament elongation (Huang *et al.*, 2020). Additionally, JA-dependent MYC2, MYC3, MYC4 and MYC5 transcription factors interact with the GA-dependent transcription factors MYB21 and MYB25 to form a MYC-MYB complex. This complex unveils a fundamental mechanism by which GA and JA cooperate to regulate stamen development and seed production (Qi *et al.*, 2015).

The results suggest that JA controls root development involving GA signaling in *A. thaliana*. JA upregulation of GA responsive *RGL2::uidA* gene expression pointed out that both phytohormones probably interact at the transcriptional level since there was reduction of root growth in *coil-1* mutant under combined GA and JA treatment. Several reports have described synergistic interactions between GA and JA at transcriptional level. For example, in *A. thaliana* DELLAs act as positive regulators of some transcription factors such as GAI-ASSOCIATED



**Figure 7. Jasmonic acid activates gibberellic acid related *RGL2::uidA* expression.** (a) Quantitative units of GUS expression. Representative Nomarsky micrographs of root tips of *A. thaliana* *RGL2::uidA* transgenic seedlings under control condition (b) and JA treatment (c). Different letters indicate statistically significant differences by ANOVA and Tukey's HSD test ( $p \leq 0.05$ ) from 20 seedlings. Scale bar is 100  $\mu$ m. The experiment was repeated three times with comparable results.

FACTOR1 (GAF1) and ARR1 (Fukazawa *et al.*, 2015). Besides, the normal development of the filament in stamen depends on the expression of JA-responsive *MYB21*, *MYB24* and *MYB57* genes and the production of JA is controlled by *DAD1* and *LOX1* genes that are regulated by GA (Cheng *et al.*, 2009). Here, we demonstrated that GA interacts synergistically with JA during root growth inhibition in a COII dependent-manner. However, the underlying molecular mechanism by which this positive interaction halts root growth remains to be clarified.

## Acknowledgements

Ernesto Vázquez Chimalhua thanks Dr. Tzvetanka D. Dinkova for the opportunity to carry out his postdoctoral studies in her laboratory, and appreciates the generous support from the Programa de Becas Posdoctorales de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) for postdoctoral studies.

## References

- Barker R, Fernandez Garcia MN, Powers SJ, Vaughan S, Bennett MJ, Phillips AL, Thomas SG, Hedden P (2021). Mapping sites of gibberellin biosynthesis in the Arabidopsis root tip. *New Phytol* 229:1521-1534.
- Béziat C, Kleine-Vehn J, Feraru E (2017). Histochemical staining of  $\beta$ -glucuronidase and its spatial quantification. *Methods Mol Biol* 1497:73-80.
- Cheng H, Song S, Xiao L, Soo HM, Cheng Z, Xie D, Peng J (2009). Gibberellin acts through jasmonate to control the expression of *MYB21*, *MYB24*, and *MYB57* to promote stamen filament growth in *Arabidopsis*. *PLOS Genetics* 5:e1000440.
- Chen Q, Sun J, Zhai Q, Zhou W, Qi L, Xu L, Wang B, Chen R, Jiang H, Qi J, Li X, Palme K, Li C (2011). The basic helix-loop-helix transcription factor MYC2 directly represses *PLETHORA* expression during jasmonate-mediated modulation of the root stem cell niche in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 23:3335-3352.
- Chini A, Cimmino A, Masi M, Reveglia P, Nocera P, Solano R, Evidente A (2018). The fungal phytotoxin lasiojasmonate A activates the plant jasmonic acid pathway. *J Exp Bot* 69:3095-3102.
- Feys BJJ, Benedetti CE, Penfold CN, Turner JG (1994). Arabidopsis

- mutants selected for resistance to the phytotoxin coronatine are male sterile, insensitive to methyl jasmonate, and resistant to a bacterial pathogen. *Plant Cell* 6:751-759.
- Forchetti G, Masciarelli O, Alemano S, Alvarez D, Abdala G (2007). Endophytic bacteria in sunflower (*helianthus annuus* L.): isolation, characterization, and production of jasmonates and abscisic acid in culture medium. *Appl Microbiol Biotechnol* 76:1145-1152.
- Fukazawa J, Ito T, Kamiya Y, Yamaguchi S, Takahashi Y (2015). Binding of GID1 to DELLAs promotes dissociation of GAF1 from DELLA in GA dependent manner. *Plant Signal Behav* 10:e1052923.
- Grunewald W, Vanholme B, Pauwels L, Plovie E, Inzé D, Gheysen G, Goossens A (2009). Expression of the *Arabidopsis* jasmonate signalling repressor *JAZ1/TIFY10A* is stimulated by auxin. *EMBO Rep* 10:923-928.
- Hedden P (2020). The current status of research on gibberellin biosynthesis. *Plant Cell Physiol* 61:1832-1849.
- Hetherington FM, Kakkar M, Topping JF, Lindsey K (2021). Gibberellin signaling mediates lateral root inhibition in response to K<sup>+</sup>-deprivation. *Plant Physiol* 185:1198-1215.
- Hou X, Lee LYC, Xia K, Yan Y, Yu H (2010). DELLAs modulate jasmonate signaling via competitive binding to JAZs. *Developmental Cell* 19:884-894.
- Huang H, Gong Y, Liu B, Wu D, Zhang M, Xie D, Song S (2020). The DELLA proteins interact with MYB21 and MYB24 to regulate filament elongation in *Arabidopsis*. *BMC Plant Biology* 20:64.
- Huang Y, Wang S, Wang C, Ding G, Cai H Shi L, Xu F (2021). Induction of jasmonic acid biosynthetic genes inhibits *Arabidopsis* Growth in response to low boron. *J Integr Plant Biol* 63:937-948.
- Ishimura Y, Hayashi K, Suzuki T, Fukaki H, Prusinska J, Meester C, Quareshy M, Egoshi S, Matsuura H, Takahashi K, Kato N, Kombrink E, Napier RM, Hayashi KI, Ueda M (2018). Jasmonic acid inhibits auxin-induced lateral rooting independently of the CORONATINE INSENSITIVE1 receptor. *Plant Physiol* 177:1704-1716.
- Jefferson RA, Kavanagh TA, Bevan MW (1987). GUS fusions: beta-glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants. *EMBO J* 6:3901-3907.
- Jing T, Xing Q, Shi Y, Liu X, Müller-Xing R (2024). Depletion of gibberellin signaling up-regulates *LBD16* transcription and promotes adventitious root formation in *Arabidopsis* leaf explants. *Int J Mol Sci* 25:13340.
- Lee S, Cheng H, King KE, Wang W, He Y, Hussain A, Lo J, Harber NP, Peng J (2002). Gibberellin regulates *Arabidopsis* seed germination via *RGL2*, a *GAI/RGA*-like gene whose expression is up-regulated following imbibition. *Genes Dev* 16:646-658.
- Li R, Zhang J, Li J, Zhou G, Wang Q, Bian W, Erb M, Lou Y (2015). Prioritizing plant defense over growth through WRKY regulation facilitates infestation by non-target herbivores. *eLife* 4:e04805.
- Li Z, Huang Y, Shen Z, Wu M, Huang M, Hong SB, Xu L, Zang Y (2024). Advances in functional studies of plant MYC transcription factors. *Theor Appl Genet* 137:195.
- Major IT, Guo Q, Zhai J, Kapali G, Kramer DM, Howe GA (2020). A phytochrome B-independent pathway restricts growth at high levels of jasmonate defense. *Plant Physiol* 183:733-749.
- Mäkilä R, Wybouw B, Smetana O, Vainio L, Solé-Gil A, Lyu M, Ye L, Wang X, Siligato R, Jenness MK, Murphy AS, Mähönen AP (2023). Gibberellins promote polar auxin transport to regulate stem cell fate decision in cambium. *Nature Plants* 9:631-644.
- Malamy JE, Benfey PN (1997). Organization and cell differentiation in lateral roots of *Arabidopsis thaliana*. *Development* 124:33-44.
- Mosblech A, Thurow C, Gatz C, Feussner I, Heilmann I (2011). Jasmonic acid perception by COI1 involves inositol polyphosphates in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J* 65:949-957.
- Moubayidin L, Perilli S, Dello Ioio R, Di Mambro R, Costantino P, Sabatini S (2010). The rate of cell differentiation controls the *Arabidopsis* root meristem growth phase. *Curr Biol* 20:1138-1143.
- Moubayidin L, Salvi E, Giustini L, Terpstra I, Heidstra R, Costantino P, Sabatini S (2016). A SCARECROW-based regulatory circuit controls *Arabidopsis thaliana* meristem size from the root endodermis. *Planta* 243:1159-1268.
- Paquette AJ, Benfey PN (2005). Maturation of the ground tissue of the root is regulated by gibberellin and SCARECROW and requires SHORT-ROOT. *Plant Physiol* 138:636-640.
- Qi T, Huang H, Song S, Xie D (2015). Regulation of jasmonate-mediated stamen development and seed production by a bHLH-MYB complex in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 27:1620-1633.
- Raya-González J, Pelagio-Flores R, López-Bucio J (2012). The jasmonate receptor COI1 plays a role in jasmonate-induced lateral root formation and lateral root positioning in *Arabidopsis thaliana*. *J Plant Physiol* 169:1348-1358.
- Sá-Nakanishi AB, Soni-Neto J, Moreira LS, Gonçalves GA, Silva FMS, Bracht L, Bersani-Amado CA, Peralta RM, Bracht A, Comar JF (2018). Anti-inflammatory and antioxidant actions of methyl jasmonate are associated with metabolic modifications in the liver of arthritic rats. *Oxi Med Cell Longev* 2018:2056250.
- Salazar-Cerezo S, Martínez-Montel N, García-Sánchez J, Pérez-y-Terrón R, Martínez-Contreras RD (2018). Gibberellin biosynthesis and metabolism: a convergent route for plants, fungi and bacteria. *Microbiol Res* 208:85-98.
- Singh AP, Kanwar R, Pandey AK (2025). Jasmonates regulate auxin-mediated root growth inhibition in response to rhizospheric pH in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Environ* 48:756-767.
- Staswick PE, Su W, Howell SH (1992). Methyl jasmonate inhibition of root growth and induction of a leaf protein are decreased in an *Arabidopsis thaliana* mutant. *Proc Natl Acad Sci* 89: 6837-6840.
- Ueguchi-Tanaka M, Ashikari M, Nakajima M, Itoh H, Katoh E,

Kobayashi M, Chow TY, Hsing, YI, Kitano H, Yamaguchi I, Matsuoka M (2005). *GIBBERELLIN INSENSITIVE DWARF1* encodes a soluble receptor for gibberellin. *Nature* 437: 693–698.

Yang DL, Yao J, Mei CS, Tong XH, Zeng LJ, Li Q, Xiao LT, Sun TP, Li J, Deng XW, Lee CM, Thomashow MF, Yang Y, He Z, He SY (2012). Plant hormone jasmonate prioritizes defense over growth interfering with gibberellin signaling cascade. *Proc Natl Acad Sci* 109:E1192-E1200.

Zhang X, Zhao B, Sun Y, Feng Y (2022). Effects of gibberellins on important agronomics traits of horticultural plants. *Front Plant Sci* 13:978223.

Zrimec J, Correa S, Zagorščak M, Petek M, Bleker C, Stare K, Schuy C, Sonnewald S, Gruden K, Nikoloski Z (2025). Evaluating plant growth-defense trade-offs by modeling the interaction between primary and secondary metabolism. *Proc Natl Acad Sci* 122:e2502160122.



# La chía en las colecciones biológicas, un recurso para el estudio de la domesticación

Chia in biological collections, a resource for the study of domestication

Sabina I. Lara Cabrera , Geraldine Murillo Suárez, Yocupitzia Ramírez Amezcua  

Laboratorio de Biodiversidad y Biogeografía de Plantas. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

## Resumen

*Salvia hispanica* L., conocida como chía, es una planta domesticada hace al menos 3,700 años que ha sido manejada en un gradiente donde persisten poblaciones silvestres, intermedias (manejadas *in situ*) y cultivadas. En este trabajo investigamos si el material de las colecciones de acceso público proviene de plantas silvestres. Para evaluar lo anterior, estudiamos 10 caracteres indicativos de domesticación y variables relacionadas al vigor de la planta y la inflorescencia en ejemplares de herbario digitalizados. Realizamos análisis en el software PAST, resultando en un dendrograma que no agrupa muestras categorizadas como silvestres, intermedias ni cultivadas. Sin embargo, de acuerdo al MANOVA y la prueba pareada, hay diferencias significativas excepto para distinguir intermedias de cultivadas. Los caracteres que mejor explican la variación son: largo de la inflorescencia, número de verticilastos y número de flores por verticilastro. Confirmamos que la mayoría de los ejemplares provienen de plantas silvestres, que la especie posee amplia variación o plasticidad fenotípica y no la homogeneidad que se esperaría en un cultivo plenamente domesticado.

**Palabras clave:** inflorescencia, núcula, silvestre, cultivado, gradiente domesticación.

## Abstract

*Salvia hispanica* L., known as chia, is a plant domesticated since at least 3,700 years ago, and it has been managed in a persisting gradient from wild populations and intermediate *in situ* management to cultivation. We wanted to know if specimens at public collections belong to wild plants. To evaluate this, we studied 10 domestication traits and vigor related to the plant and the inflorescence in digitalized herbaria specimens. We conducted the analyses using PAST software, and the resulting dendrogram showed no clustering of the categories of wild, intermediate and cultivated plants. Nevertheless, according to the MANOVA analysis and the paired test, significant differences exist, except for distinguishing intermediate from cultivated material. Inflorescence length, number of verticillasters, and number of flowers per verticillaster are the characters that better explain the variation. We confirm that the majority of the herbarium specimens belong to wild plants, and that the species possesses considerable morphological variation or phenotypic plasticity and does not show the homogeneity that a fully domesticated crop would be expected to display.

**Keywords:** inflorescence, nutlet, wild, cultivated, domestication gradient.

## Introducción

La chía, *Salvia hispanica* L. es una planta de enorme importancia para la que se han estudiado aspectos sobre su morfología (Cahill, 2003; Di Sapio *et al.*, 2012; Lara-Cabrera *et al.*, 2024; Wood *et al.*, 2022), arqueología (MacClung de Tapia *et al.*, 2014), historia (Cahill, 2003, 2005), propiedades nutraceuticas (Ullah *et al.*, 2016), diversidad genética (Cahill, 2004; Peláez *et al.*, 2019) y potencial de cultivo (Hassani *et al.*, 2022; Sosa-Baldivia *et al.*, 2018). Sin embargo, sobre el proceso de domesticación que la llevó a ser un cultivo tan importante como el maíz y el frijol en la época precolonial, sabemos poco (Murrieta *et al.*, 2020). Hoy en día la demanda comercial de la chía a

nivel mundial es cada vez mayor, y su tasa de crecimiento acumulado se calcula en 7.1% (ChiaSeedMarket, 2025);

### Historial

Manuscrito recibido: 11 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 16 de febrero de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

### Autor para correspondencia\*

Yocupitzia Ramírez Amezcua

yocupitzia@yahoo.com

Orcid Id: 0000-0003-3151-8016

### Como citar:

Lara-Cabrera SI, Murillo Suárez G, Ramírez Amezcua Y (2026). La chía en las colecciones biológicas, un recurso para el estudio de la domesticación. *Ciencia Nicolaita* 96:21-32. DOI:[10.35830/cn.vi96.887](https://doi.org/10.35830/cn.vi96.887)

según esta misma fuente, en 2003 su producción anual ascendió a 203 millones de dólares (Harisha *et al.*, 2025).

La domesticación se puede definir como el final de un continuo que comienza con el uso de un recurso silvestre, seguido de manejo y selección de organismos para su cultivo (**Figura 1**). Es un proceso en el que, a través de intervención humana, los cultivos se van diferenciando gracias a que algunos caracteres se fijan, pudiendo finalmente distinguirse morfológica y genéticamente el material domesticado del progenitor silvestre (Pickersgill, 2007). En ese continuo se pueden reconocer modificaciones en caracteres morfológicos acorde a la intensidad de manejo, así, las poblaciones manejadas por las comunidades sin extraerlas de sus hábitats se denominan como manejadas *in situ*, y éstas y las silvestres serán más parecidas entre sí que las cultivadas (Casas *et al.*, 2017), pudiendo identificarse a partir de ellas caracteres indicativos de domesticación (Pickersgill, 2007; Casas *et al.*, 2016).

Las hipótesis indican que la chía se domesticó en Mesoamérica y Centroamérica (Cahill, 2003, 2005; Sosa-Baldivia *et al.*, 2018). Sus poblaciones silvestres se encuentran en Mesoamérica habitando desde bosques tropicales deciduos hasta bosques de pino, bosques mixtos de pino-encino e incluso en vegetación secundaria y pastizal (Klitgaard 2012; Lara-Cabrera *et al.*, 2016); estudios comparativos de diversidad genética indican que las poblaciones silvestres son más diversas que las cultivadas (Cahill, 2004; Peláez *et al.*, 2019).

En Mesoamérica cohabitan poblaciones silvestres y cultivadas desde hace al menos 3,700 años (Lara-Cabrera *et al.*, 2025), y estas mantienen un estrecho vínculo con diversas comunidades y ambientes, actores en interacción continua. Los caracteres indicativos de domesticación que se han propuesto para esta especie son: plantas más vigorosas con dominancia apical, pigmentación purpúrea de los tallos, inflorescencias más largas y congestionadas con brácteas más grandes, floración sincrónica, cálices frutíferos cerrados y núculas más grandes (Cahill, 2003; Hernández y Miranda, 2008; Sosa-Baldivia *et al.*, 2018; Montes-Osorio *et al.*, 2021; Xingu-López *et al.*, 2022).

Una de las fuentes de información biológica más valiosa y que más tiempo han perdurado son los herbarios; se trata de reservorios de muestras de plantas colectadas en distintas épocas, lugares y por distintas personas. Estos acervos son consultados por biólogos y profesionales afines para, primeramente, corroborar la identidad taxonómica de una planta, pero también para estudiar la fenología y numerosos aspectos ecológicos de las especies. Cada registro cuenta con una etiqueta con información de procedencia, hábitat, abundancia, etc., datos que pueden ser útiles para inferir si la muestra proviene del medio sil-

vestre o de un cultivo, ya que esta información muchas veces no es explícita.

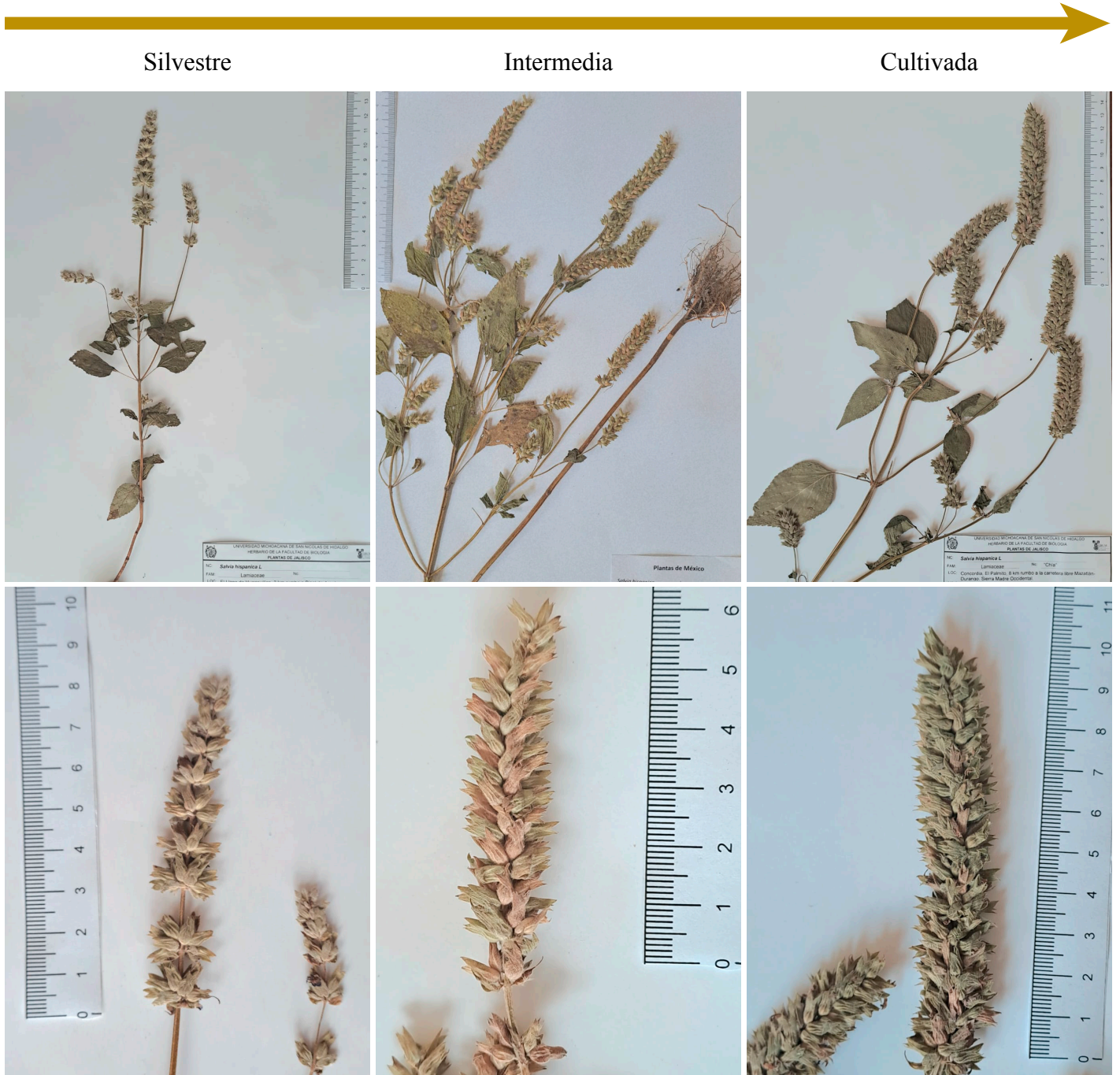
Hoy en día, gracias a esfuerzos internacionales se ha digitalizado con alta resolución el material de herbarios, y pueden consultarse a través de internet (Davis, 2023; Marín-Rodulfo *et al.*, 2024). Para el presente trabajo, se revisaron imágenes de ejemplares digitalizados de chía provenientes de 44 herbarios nacionales y extranjeros, para determinar si estos corresponden a chía silvestre o no, ya que, de dominar los ejemplares de plantas cultivadas en los herbarios, los usuarios tendrían una idea sesgada de la planta que lleva el nombre científico. Los caracteres indicativos de domesticación posibles de evaluar a través de imágenes de ejemplares de herbario son los referentes al vigor de la planta, e indirectamente, la cantidad de núculas que produce.

## Metodología

En este trabajo se evaluaron 94 imágenes digitales de ejemplares de herbario del portal JSTOR (<https://plants.jstor.org/collection/TYPSPE>) en el que se concentran ejemplares tipo y sinónimos de plantas de los principales herbarios del mundo, también se consultaron ejemplares de los portales Consortium of California Herbaria ([cch2.org/portal/collections/](http://cch2.org/portal/collections/)) y Texas Oklahoma Regional Consortium Herbaria (<https://portal.torcherbaria.org/portal/collections/>) y fotografías de ejemplares de reciente colecta provenientes de poblaciones silvestres y cultivados (**Material Adicional Anexo 1**). Se incluyeron cuatro muestras con duplicados de ejemplares para confirmar si los duplicados se agrupan por población y si se diferencian de otras. Entre los duplicados se incluyen 19 muestras de *Pringle 8837*, 5 muestras de *Heyde & Lux 4401*, y dos muestras de *Hinton 2640* y *Mittelman 519*. Cabe señalar que, Fernald (1907) describió dos variedades para *Salvia hispanica*: la var. *chionocalyx* Fern. basada en *Pringle 8837* y la var. *intonsa* Fern. a partir de *Heyde & Lux 4401*, el primer ejemplar colectado en campos de Uruapan (1904, Michoacán, México) y el segundo en Santa Rosa, Guatemala (1892). Fernald (1907) describió estas dos variedades diferenciando a la primera por la pubescencia de las hojas, tallos y cálices, mientras la var. *chionocalyx* se caracteriza por espigas más apretadas con cálices cinereos menos aplanados. Aunque estas variedades ya han sido sinonimizadas (Klitgaard, 2012) consideramos pertinente revisar si los caracteres que aquí analizamos apoyarían dichas variedades.

Los ejemplares se clasificaron en tres estadios de domesticación: silvestre, intermedio (probablemente pobla-

## Continuo de domesticación en chía



**Figura 1.** Fotografías de ejemplares de chía, arriba foto del ejemplar completo y abajo acercamiento a las inflorescencias. Ejemplares categorizados como silvestre (*Chamu 683*), intermedio (*Chamu 650*) y cultivado (*Chamu 689*).

ciones con manejo *in situ*) y domesticado, en base a los síndromes de domesticación que se han propuesto (Cahill, 2003; Hernández y Miranda, 2008; Sosa-Baldivia *et al.*, 2018; Montes-Osorio *et al.*, 2021; Xingu-López *et al.*, 2022). Evaluamos dos bloques de caracteres. El primero referente al vigor de la planta a través del *largo y ancho de las hojas*, donde las plantas cultivadas tienden a ser gran-

des al desarrollarse en mejores condiciones. Por otra parte, las variables relativas a mayor producción del órgano de interés (la núcula), evaluada indirectamente a través del *largo de la inflorescencia*, qué tan congestionadas están las inflorescencias [*ancho de la inflorescencia, distancia entre el 2o y 3er verticilastro, número de verticilastros en inflorescencias, número de flores por verticilastro*], y *flores por*

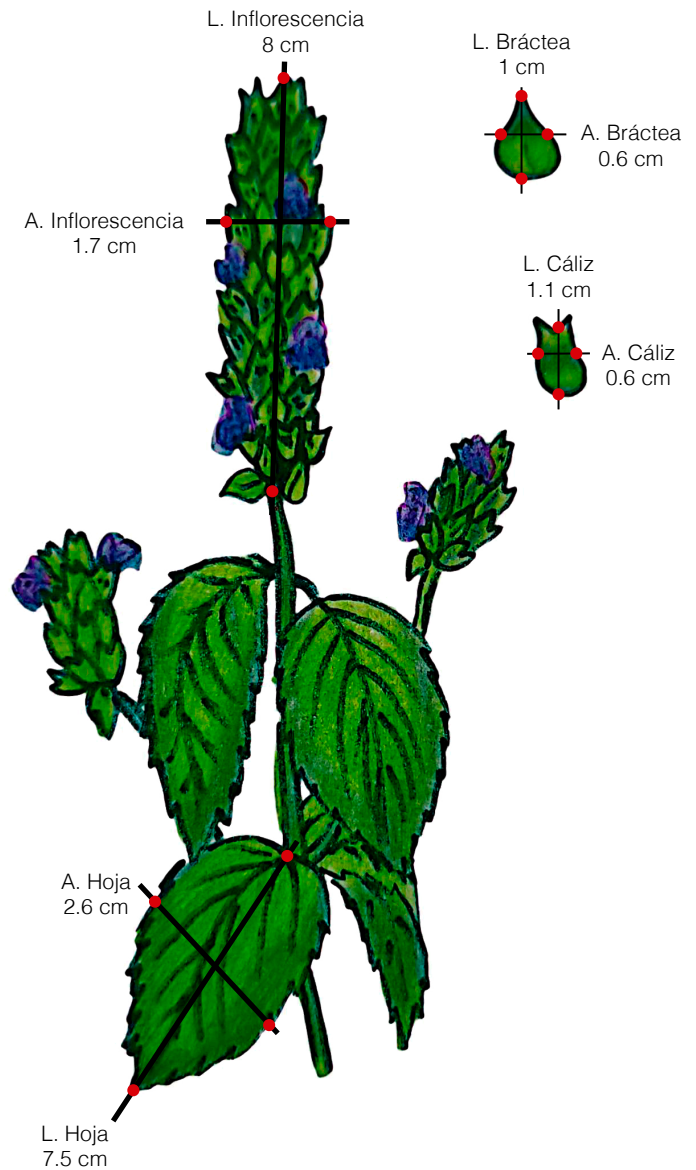
*verticilastro*; caracteres que sugieren mayor producción de núculas; además de brácteas más grandes [*largo y ancho de brácteas*] y cálices frutíferos más grandes [*largo y ancho de cáliz frutífero*]. Otros caracteres sugeridos como indicativos de domesticación que no son posibles de evaluar con esta metodología (debido al proceso de secado y oxidación de los ejemplares de herbario y la imposibilidad de realizar disecciones) son: *pigmentación purpúrea en los tallos, flores más grandes, cálices frutíferos cerrados y núculas más grandes*.

Las medidas se realizaron con una regla y vernier sobre la imagen en la pantalla, se capturaron en Excel y exportaron a PAST 4.15 (Hammer *et al.*, 2001) para su análisis. En PAST se generó un dendrograma Neighbor Joining con similitud Gower utilizando una muestra de chía mejorada como grupo externo (*Lara 418*, espécimen de material de G. Orozco de Rosas 410N); adicionalmente se realizó un análisis de componentes principales, análisis de discriminantes incluyendo biplot identificando las variables importantes para las categorías, además de una prueba MANOVA y pareada para determinar si las categorías son significativamente distintas, se generó un análisis de confusión de las asignaciones de las categorías *a priori* y *a posteriori*. Finalmente, se graficó la variación por categoría para las cuatro variables más importantes (**Figura 2**), mostrando la media, desviación estándar y rango para cada categoría.

## Resultados

En el dendrograma Neighbor Joining (**Figura 3**) no se observan agrupaciones correspondientes a las categorías de domesticación: silvestre, intermedia y cultivada; en general las muestras de las tres categorías están mezcladas en las ramas indicando que el conjunto de estos caracteres son variables entre las tres categorías y no indicativos; solo en la última rama hay muestras silvestres exclusivamente, pero esta incluye duplicados de especímenes (no todos). Las variedades de Fernald (*S. hispanica* var. *chionocalyx* -Pringle 8837- *S. hispanica* var. *intonsa* -Heyde & Lux 4401-) no se agruparon ni los duplicados de Hinton 2640 y Mittelman 519.

El análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) no muestra agrupaciones por categorías en el espacio tridimensional (**Figura 4**), solo el ejemplar de chía cultivada *Lara 418* proveniente de planta mejorada del Ing. Orozco de Rosas (Chía Blanca A.C.) se separa de los demás. El Componente Principal 1 explica el 63.2% de la varianza con tres variables más importantes: *largo de la inflorescencia, número de verticilos por inflorescencia*

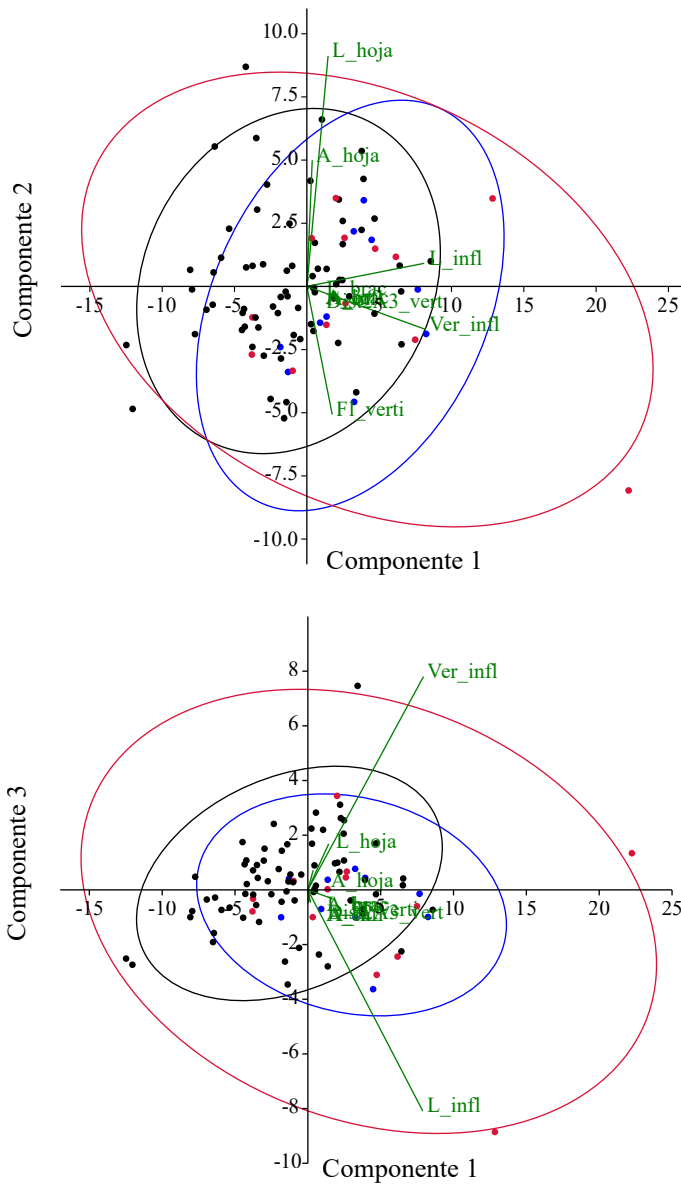


**Figura 2.** Ilustración de las variables evaluadas en imágenes digitales de ejemplares de herbario de chía. Se indican ancho (A.) y largo (L.) de las estructuras evaluadas. Ilustración elaborada por Geraldine Murillo Suárez.

y *número de flores por verticilastro*. En CP2 explica el 18.9% de la varianza con tres variables más importantes: *largo de la inflorescencia, largo de hoja y número de flores por verticilastro*. En CP3 explica el 8.9% de la varianza con tres variables más importantes: *largo de la inflorescencia, verticilastos por inflorescencia y largo de la hoja*.

En el análisis de discriminantes (**Figura 5**) hay agrupaciones para las tres categorías, pero se traslapan, el eje 1 explica el 82.63% de la varianza y el eje 2 explica el 17.37% de la varianza. La elipse negra es más pequeña y agrupa principalmente muestras clasificadas como silvestres, pero también algunas intermedias y cultivadas, y la elipse roja corresponde a la categoría cultivada, que

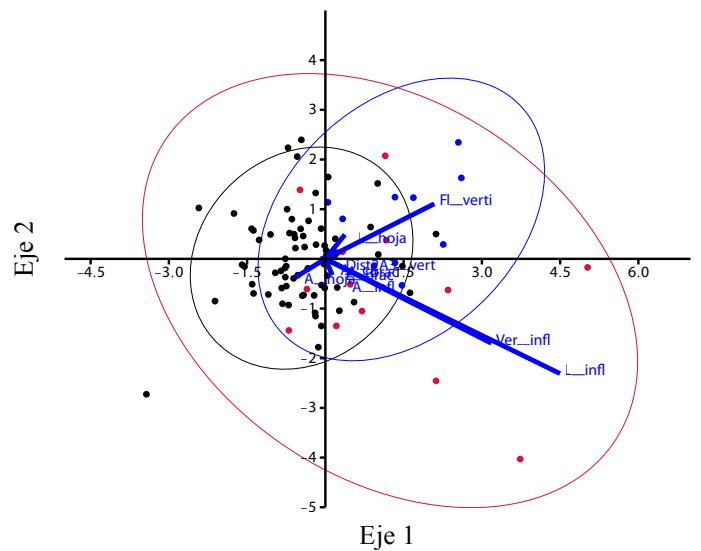




**Figura 4.** Análisis de componentes principales. Los colores de las muestras corresponden a chíá cultivada (rojo), chíá silvestre (negro), chíá intermedia, es decir con aparente manejo (azul).

es la más grande e incluye a las silvestres e intermedias, indicando más variación. Las variables más importantes para las categorías mostradas en el biplot son: *largo de inflorescencia*, *número de verticilastos por inflorescencia* y *número de flores por verticilastro*.

Se realizó una prueba de MANOVA lambda de Wilks 0.6319, F: 2.10215 y P: 0.00554 significativa y prueba pareada secuencial Bonferroni que es significativa para las comparaciones silvestre:cultivada (P = 0.0097719) e intermedia:silvestre (P = 0.2575), pero no es significativa para el par intermedia:cultivada (P = 0.8817). Adicionalmente se revisó la coincidencia en la clasificación *a priori* de categorías de domesticación y la posible confusión *a*



**Figura 5.** Análisis de Discriminantes. Los colores de las elipses y puntos corresponden a chíá cultivada (rojo), chíá silvestre (negro), chíá intermedia, es decir con aparente manejo (azul). Se muestra biplot con las variables más importantes y su dirección.

*posteriori* en la asignación (Tabla 1) con el 91% de las silvestres clasificadas adecuadamente y más confusión entre las categorías intermedias y cultivadas (Material Adicional Anexo 1).

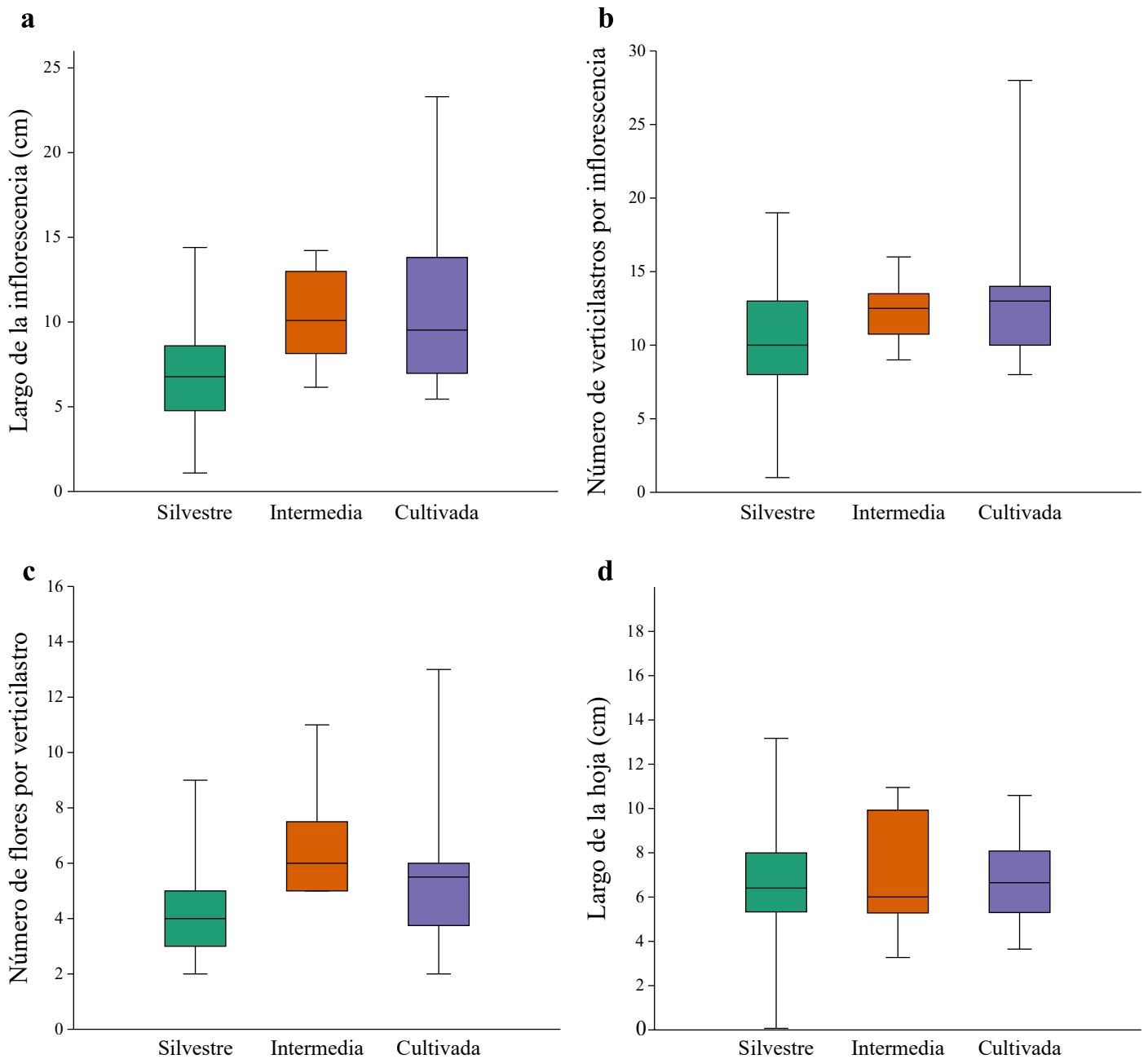
Adicionalmente, para visualizar la variación por categoría se observa en *largo de la inflorescencia* (Figura 6a), *verticilastos por inflorescencia* (Figura 6b) y *número de flores por verticilastro* (Figura 6d) que la media de la categoría silvestre es menor que en las otras categorías, el rango de variación de la categoría intermedia es menor y la categoría cultivada tiende a tallas mayores, excepto en el caso del largo de la hoja (Figura 6c).

## Discusión

El presente trabajo muestra que el análisis de tan solo 10 caracteres morfológicos indicativos de domesticación evidencia gran variación en *Salvia hispanica*; dicha variación existe incluso entre duplicados de una misma co-

**Tabla. 1.** Matriz de confusión, en los renglones se muestra el grupo dado y en las columnas el predicho.

	silvestre	intermedia	cultivada	Total
silvestre	60	4	6	70
cultivada	2	5	3	10
intermedia	4	3	7	14
Total	64	14	16	94



**Figura 6.** Variación entre categorías de domesticación para **a)** largo de la inflorescencia, **b)** número de verticilastos por inflorescencia, **c)** número de flores por verticilastro, **d)** largo de la hoja. Se muestra media, desviación estándar y rango.

lecta, puesto que ninguno de los ejemplares representados por varios duplicados, se recuperaron agrupados en ramas del dendrograma, situación que se repite en el caso de las variedades *chionocalyx* e *intonsa* de Fernald (1907). Cabe mencionar que la distinción de estas dos variedades se propuso principalmente basada en el indumento de la planta (carácter que no evaluamos) y en el caso de la var. *chionocalyx* que se mencionan inflorescencias apretadas, los duplicados aparecen separados; razones por las cuales

se apoya la sinonimización de ambas variedades propuesta por Klitgaard (2012).

Es importante destacar el papel de colecciones científicas como los herbarios, que en esta época digital están a nuestro alcance más que nunca, y que, su esencia material es irremplazable. Encontramos que la mayoría de los ejemplares depositados en los herbarios examinados pertenecen a plantas de la categoría silvestre, de manera que los usuarios que los consultan estarán revisando ma-

yormente representantes de la especie sin gran sesgo del manejo humano. Confirmamos también el patrón de gradiente de domesticación con diferencias estadísticamente significativas para las tres categorías en la prueba de MANOVA, siendo las categorías silvestre y domesticada los extremos del gradiente que en la prueba pareada son significativas. De los caracteres indicativos de domesticación previamente propuestos (Cahill, 2003; Hernández y Miranda, 2008; Sosa-Baldivia *et al.*, 2018) y evaluados aquí destacan cuatro: *largo de la inflorescencia* (para los tres primeros componentes principales) y para dos componentes principales *verticilos por inflorescencia*, *número de flores por verticilastro* y *largo de hoja*; mismos caracteres que dirigen la variación en el análisis de discriminantes.

En las gráficas de variación, la categoría silvestre tiene rangos menores para la mayoría de los caracteres (excepto el largo de la hoja), este patrón es el esperado cuando se trabaja con plantas cultivadas y sus progenitores, donde, de la variación intrínseca de la especie a través del manejo humano se favorecen ciertos caracteres y eventualmente se homogenizan en el cultivo (Casas *et al.*, 2016). Aunque en el caso de las chías cultivadas aquí evaluadas no se observa esa homogeneidad al no agruparse en una rama del dendrograma, posiblemente debido al escaso muestreo de plantas cultivadas; aunque también presentan extensa plasticidad fenotípica como se observa en la gráfica de discriminantes al incluir en la elipse roja muestras silvestres, intermedias y cultivadas. Observaciones en campo sugieren sensibilidad al microambiente de la planta donde incluso en una misma población puede haber individuos vigorosos y estériles o no vigorosos y fértiles.

Respecto a la categoría intermedia en la prueba pareada no hay diferenciación significativa con la categoría cultivada, es decir, las muestras manejadas, ya sea *in situ* o cultivadas, no se diferencian estadísticamente, y aunque el muestreo de individuos con caracteres intermedios es el menor de las tres categorías (pudiendo afectar el valor estadístico de las pruebas multivariadas), aun así, la categoría intermedia resulta algo difusa con medias y rangos de variación menos extensos en las gráficas. Cabe notar que cuando se estudia la domesticación es frecuente identificar ejemplares con caracteres intermedios entre silvestres y cultivados (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2005), lo que se ha atribuido a que no se han fijado esos caracteres, y al flujo genético de poblaciones silvestres a cultivadas o silvestres a semidomesticadas, y viceversa, evidenciando el continuo de domesticación (Casas *et al.*, 1997; Clement *et al.*, 2021). La domesticación de la chía bajo distintas intensidades de manejo a través de al menos 3,700 años de uso en Mesoamérica ha incidido tanto en el vigor de la planta como en el incremento de núculas (evaluado in-

directamente), y atestigua un complejo proceso donde se mantiene flujo genético, alta diversidad genética y diferentes tamaños de población en las distintas áreas de su distribución natural.

## Agradecimientos

Agradecemos a los curadores y el personal de los herbarios ASU, CIIDIR, COLO, DAO, DAV, DES, F, G, IBUG, IEB, IND, K, LINN, LL, MA, MEXU, MICH, MPU, MSC, NY, P, RSA, S, SBT, TCD, UCR, UNM, US, UV, WIS, por permitirnos consultar sus bases de datos y/o colecciones; a José Luis Fernández Alonso del Real Jardín Botánico de Madrid por facilitarnos imágenes de pliegos no disponibles en la red, al Consortium of California Herbaria (CCH2) y a la UNAM por hacer sus colecciones accesibles de manera virtual.

Apoyo financiero otorgado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) a SILC a través del proyecto 319466 y el 8.16 de la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH.

## Referencias

- Cahill JP (2003). Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Economic Botany* 57(4):604-618. doi:10.1663/0013-0001(2003)057[0604:EOCSHL]2.0.CO;2
- Cahill JP (2004). Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispanica* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution* 51(7):773-781. doi:10.1023/B:GRES.0000034583.20407.80
- Cahill JP (2005). Human selection and domestication of chia (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Ethnobiology* 25(2):155-174. doi:102993/0278-0771(2005)25[155:HSADOC]2.0.CO;2
- Casas A, Caballero J, Mapes C, Zárate S (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Botanical Sciences* 61:31-47.
- Casas A, Parra F, Aguirre-Dugua X, Rangel-Landa S, Blancas J, Vallejo M, Moreno-Calles A, Guillén S, Torres-García I, Delgado-Lemus A, Pérez-Negrón E, Figueredo C, Cruse-Sanders J, Farfán-Heredia B, Solís L, Otero-Arnaiz A, Alvarado-Sizzo H, Camou-Guerrero A (2017). Manejo y domesticación de plantas en Mesoamérica. Una estrategia de investigación y estado del conocimiento sobre los recursos genéticos. En: Casas A, Torres-Guevara J, Parra-Rondinel F (eds). *Domesticación en el continente americano*, vol 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, pp 69-102
- Casas A, Parra F (2016). La domesticación como proceso evolutivo. En: Casas A, Torres-Guevara J, Parra-Rondinel F (eds). *Domesticación en el continente americano*, vol 1. Manejo de biodiversidad y evolución

- dirigida por las culturas del Nuevo Mundo. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, pp 133–150.
- Clement CR, Casas A, Parra-Rondinel FA, Levis C, Peroni N, Hanazaki N, Cortés-Zárraga L, Rangel-Landa S, Palhares Alves R, Ferreira MJ, Franco Cassino M, Deambrozi Coelho S, Cruz-Soriano A, Pancorbo-Olovera M, Blancas J, Martínez-Ballesté A, Lemes G, Lotero-Velásquez E, Mutti Bertin V y Mazzochini GG (2021). Disentangling domestication from food production systems in the Neotropics. *Quaternary* 4(1):4. doi:10.3390/quat4010004
- ChiaSeedMarket (2025). Chia Seed Market Size, Growth, and Forecast for 2025 to 2035. Available at <https://www.futuremarketinsights.com/reports chia-seed-market> (consultado el 18 de septiembre de 2025).
- Davis CC (2023). The herbarium of the future. *Trends in Ecology & Evolution* 38(5):412-423. doi:10.1016/j.tree.2022.11.015
- Di Sapio O, Bueno M, Busilachi H, Quiroga M, Severín C (2012). Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L (Lamiaceae). *Boletín Latinoamericano Y del Caribe de Plantas Medicinales Y Aromáticas* 11(3):249–268. <https://www.redalyc.org/pdf/856/85622739007.pdf>.
- Fernald ML (1907). Diagnoses of new spermatophytes from Mexico. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 43(2):61-68.
- Hammer ØM, Harper DAT, Ryan PD (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Pelaeontologia Electronica* 4(1):9.
- Hassani M, Piechota T, Atamian HS (2022). Prediction of cultivation areas for the commercial and an early flowering wild accession of *Salvia hispanica* L. in the United States. *Agronomy* 12:1651. doi:10.3390/agronomy12071651.
- Harisha CB, Boraiah KM, Basavaraj PS, Halli HM, Singh RN, Rane J, Sammi Reddy K, Halagundegowda GR, Chaudhary A, Verma AK, Ravi Y, Asangi H, Senthamil E (2025). Optimizing sowing time and weather conditions for enhanced growth and seed yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in semi-arid regions. *PeerJ* 13:e19210. doi:10.7717/peerj.19210
- Hernández Gómez JA, Miranda Colín S (2008). Caracterización morfológica de chíá (*Salvia hispanica* L.). *Revista Fitotecnía Mexicana* 31(2):105-113.
- Klitgaard B (2012). *Salvia* L. En: Davidse G, Sousa Sánchez M, Knapp S, Chiang Cabrera F. Flora Mesoamericana. Rubiaceae a Verbenaceae. 4(2): i–xvi, 1–533. Missouri Botanical Garden Press., St. Louis.
- Lara-Cabrera SI, Bedolla-García BY, Zamudio S, Domínguez-Vázquez G (2016). Diversidad de Lamiaceae en el estado de Michoacán, México. *Acta botánica mexicana* (116):107-149.
- Lara-Cabrera SI, Ramírez-Amezcuca Y, Cárdenas NC, Fisher AE, Fernández-Alonso JLF (2024). Chía and its wild relatives: A superfood *Salvia* (Lamiaceae). *Plants, People, Planet*. 6(6):1284-1292. doi:10.1002/ppp3.10543
- Lara-Cabrera SI, Rivera-González II, Aguilar R, Farfán B, de Rosas, GO, Lomelí D, ... Ramírez-Amezcuca Y (2025). People and Chia: A Lengthy and Bumpy Relationship. In *Biodiversity Management and Domestication in the Neotropics* (pp. 1-33). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Marín-Rodulfo M, Rondinel-Mendoza KV, Martín-Girela I, Cañadas EM, Lorite J (2024). Old meets new: Innovative and evolving uses of herbaria over time as revealed by a literature review. *Plants, People, Planet* 6(6):1261-1271. doi:10.1002/ppp3.10541
- McClung de Tapia E, Martínez-Yrizar D, Adriano-Morán CC (2014). Chia (*Salvia hispanica* L.). En: Minnis, P. E. *New lives for ancient and extinct crops*. *Capsule* 6:180–203.
- Montes-Orsorio LR, Gil Esturban EA, Castillo Mont JJ, Sorensen, M (2021). The chia (*Salvia hispanica* L.)– The rediscovered Meso-American functional food crop. *Preprint* 2021050128. doi:10.20944/preprints202105.0128.v1
- Murrieta-Flores P, Jiménez-Badillo D, Martins B, Favila-Vázquez M, Licerias-Garrido R (2020). DECM Machine Ready Corpus. T-AP Digging into Early Colonial Mexico Project. Figshare, Dataset. doi:10.6084/m9.figshare.12048729
- Peláez P, Orona-Tamayo D, Montes-Hernández S, Valverde ME, Paredes-López O, Cibrián-Jaramillo A (2019). Comparative transcriptome analysis of cultivated and wild seeds of *Salvia hispanica* (chia). *Scientific reports* 9(1):9761.
- Pickersgill B (2007). Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics, *Annals of botany* 100(5):925-940. doi:10.1093/aob/mcm193
- Sosa-Baldivia A, Ruiz-Ibarra G, de la Torre RRR, Lopez RR, Montúfar López A (2018). The chia (*Salvia hispanica*): Past, present and future of an ancient Mexican crop. *Australian Journal of Crop Science* 12(10):1626–1632. doi:10.3316/informit.065277003134061
- Ullah R, Nadeem M, Khaliq A, Imran M, Mehmood S, Javid A, Hussain J (2016). Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review. *Journal of food science and technology* 53(4):1750-1758.
- Wood JRI, Bedolla García BY, Pink L, King C (2022). 1028 *Salvia hispanica*. *Curtis's Botanical Magazine* 39(2): 359-378.
- Xingú-López A, González-Huerta A, de la Cruz-Torres E, Sangerman-Jarquín DM, Montes-Hernández S, Rubí-Arriaga M (2022). Caracterización agronómica del germoplasma de *Salvia hispanica* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(8):1361–1371. doi:10.29312/remexca.v13i8.2647
- Zizumbo-Villarreal D, Colunga-GarcíaMarín P, de la Cruz EP, Delgado-Valerio P, Gepts P (2005). Population structure and evolutionary dynamics of wild–weedy–domesticated complexes of common bean in a Mesoamerican region. *Crop Science* 45(3):1073-1083.

## Material adicional

**Anexo 1.** Material estudiado, se incluye como identificador de los ejemplares el Colector y su número de colecta, la clasificación otorgada en el gradiente de domesticación (se resaltan en negritas las muestras correctamente clasificadas tras el análisis MANOVA), así como fecha de colecta, localidad y herbario en que se encuentra resguardado (utilizando los acrónimos de *Index Herbariorum* <https://sweetgum.nybg.org/science/ih/>).

Colector # de Colecta	Clasificación	Fecha	Localidad	Herbario
Boldo_ ##_ S. <i>prismatica</i>	<b>silvestre</b>		Ex Nova Hispania	MA
Bonpland&Humb 2232	<b>silvestre</b>		Ecuador: Chillo	P
Breedlove 28711	<b>silvestre</b>	08/10/72	México, Chiapas, Zinacantán, In the Paraje Paste, Municipio of Zinacantán	RSA
Bye 14228	<b>intermedia</b>	07/10/85	México, Chihuahua, Mpio Guachochi, cumbre entre Umira y Rio Urique. Carta topográfica G13 A32 ca. km56 camino Creel-Guachochic. ca 1 km al S de Úlmira, al lado N de la Barranca del Cobre (Río Urique)	COLO
Bye 5399	<b>silvestre</b>	10/10/73	México, Chihuahua, Sierra Madre Occidental, Mpio. Batopilas. Near the crest of the Barranca de Batopilas S of Quirire	COLO
Bye 5553	<b>silvestre</b>	10/10/73	México, Chihuahua, Mpio. Batopilas, near the crest of the Barranca de Batopilas S of Quirire	UCR
Bye 5617	<b>intermedia</b>	26/10/73	México, Chihuahua, Sierra Madre Occidental. Mpio. de Batopilas, N side of Barranca de Batopilas, between La Bufa and Quirire	COLO
Bye 9512	<b>cultivada</b>	08/10/79	México, Chihuahua, Sierra Madre Occidental. Mpio Guachochi, Ejido Cusarare, E of Cusarare. In vicinity of Bajichi	COLO
Cahill 2948	silvestre	02/01/99	Guatemala, Dpto. Santa Rosa, Santa Lucia near town of Buena Vista	UCR
Cahill 2962	<b>silvestre</b>	06/01/99	Guatemala, Mpio. Chiantla, Dpto. Huehuetenango, Sierra de Cuchumatanes, 3 km north of Chiantla at km 271	UCR
Cahill 2970	<b>silvestre</b>	29/12/98	Guatemala, Mpio. Santiago Sacatepequez, Dpto. Satepequez, town of Pachalí near town of Santiago	UCR
Cahill 2987	<b>silvestre</b>	21/11/99	México, Michoacán, Mpio. Coeneo, Tarascan Plateau: East of Comanja on Highway 15	UCR
Cahill 2994	<b>silvestre</b>	22/11/99	México, Michoacán, Mpio. Uruapan, Tarascan Plateau, Off highway 37 near town of Capacuaro	UCR
Cahill 2998	intermedia	23/11/99	México, Michoacán, Mpio. Tancitaro, Tarascan Plateau: near the town of Tancitaro	UCR
Cahill 3010	intermedia	01/12/99	México, Jalisco, Mpio. Chiquilistlan, Carretera de Oja de Agua to Chiquilistlan, outside wall of cementery	UCR
Cahill 3014	<b>silvestre</b>	05/12/99	México, Colima, Mpio. Minatitlan, Sierra of Manatlan, road from El Sauces to El Terrero	UCR
Cahill 3030	cultivada	16/11/00	México, Jalisco, Acatic, Acatic. Grown at UC Riverside from seed collected in Acatic	UCR
Cahill 3031	cultivada	16/11/00	México, Jalisco, Acatic, Acatic. Grown at UC Riverside from seed collected in Acatic	UCR
Cahill 3033	intermedia	10/12/85	México, Jalisco, Acatic, Acatic. Grown at UC Riverside from seed collected in Acatic	UCR
Chamu 556	<b>silvestre</b>	28/11/22	México, Guerrero, Leonardo Bravo, Las Cruces, a 23 km al SW de Xochipala, camino a Filo de Caballo	EBUM


Chamu 640	silvestre	25/10/22	México, Michoacán, Huaniqueo Tendepracua	EBUM
Chamu 641	cultivada	26/10/22	México, Michoacán, Uruapan, Capácuaro	EBUM
Chamu 642	<b>cultivada</b>	01/10/22	México, Michoacán, La piedad cerro grande de Cujaruato	EBUM
Chamu 648	cultivada	11/11/22	México, Jalisco, Cuautla, Tierra Blanca	EBUM
Chamu 650	intermedia	12/11/22	México, Jalisco, Cuautla, Cerro Piedra del Águila	EBUM
Chamu 652	silvestre	12/11/22	México, Jalisco, Chiquilistlán, 2 km de Chiquilistlán	EBUM
Chamu 653	<b>intermedia</b>	27/11/22	México, Guerrero, Leonardo Bravo, 3 km al SW de Filo de Caballo, rumbo a Carrizal de Bravo	EBUM
Chamu 654	<b>intermedia</b>	27/11/22	México, Guerrero, Leonardo Bravo, Campo de Aviación, rumbo a Filo de Caballo	EBUM
Chamu 655	silvestre	28/11/22	México, Guerrero, Leonardo Bravo, 1.5 km al W de Los Morros, carr. Xochipala-Filo de Caballo	EBUM
Cházaro 8048	silvestre	19/12/99	México, Jalisco, Mpio. Cuautla, Cerro Piedra del Águila, cerca de Cuautla	UCR
Chia_ Sesse&Moc_218	<b>silvestre</b>		Colombia	MA
González 2189	<b>silvestre</b>	15/10/16	México, Durango, Mpio. San Dimas. La Fragueta, 1 km al O de la población y 1 km antes de La Mesa Verde	CIDIIR
González 2197	<b>silvestre</b>	16/10/16	México, Sinaloa, Mpio. Concordia, Potrerillos, 1 km rumbo a El Palmito, antes de llegar a Santa Rita	CIDIIR
Hernández 1995	silvestre	11/12/16	México, Jalisco, Mpio. de Tecalitlán, Camino de Canutillo a Mexiquillo	IBUG
Heyde&Lux 4401	<b>silvestre</b>	12/1892	Guatemala: Santa Rosa, Buenavista	G, K, K, NY, US,
Hinton 14768	intermedia	03/11/39	México, Guerrero, Toetepec. Distrito Mina	RSA
Hinton 2640	<b>silvestre</b>	19/11/32	México, México, Chorrera, Temascaltepec	ASU. ASU
Hinton 4892	<b>silvestre</b>	12/10/33	México, México, Comunidad, Temascaltepec	ASU
LaChenal_SN	silvestre		Jstor LINN-HS63-44	LINN
Lara 418	<b>cultivada</b>	12/10/23	México, Jalisco, Acatic. Planta mejorada por G. Orozco de Rosas accesión 410N	EBUM
Lofling_SN	<b>silvestre</b>		Jstor sbt14341S	SBT
Martínez 5693	<b>silvestre</b>	24/11/83	México, Guerrero, Mpio. Chichihualco, 1 km al SW de Cruz de Ocote, camino Filo de Caballo Atoyac	IEB
Martínez 7307	<b>silvestre</b>	24/10/08	México, Jalisco, Mpio. Zapotlán EL Grande, Laguna de Zapotlán, Ciudad Guzmán	IEB
McVaugh 399	<b>silvestre</b>	10/11/59	México, Jalisco, Sierra del Tigre, 3 miles south of Mazamitla	MICH
Mittelman 534	<b>silvestre</b>	02/11/84	México, Sinaloa, 20 km NE of St. Lucia on Mazatlan-Durango Hwy, crossing the Sierra Madre	
Mittelman M 519	silvestre	27/10/84	México, Chihuahua, 4 km E of Chiniacas, Sierra Saguaribo	ASU, DES
mpu017263S	<b>silvestre</b>		Jstor mpu017263S	MPU
Mutis 687_2Colo	<b>silvestre</b>		Jstor ma665538	MA
Mutis 687_Colo	<b>silvestre</b>		Jstor ma665537	MA
NA_##_Lin3	<b>cultivada</b>		Jstor s09-37849S	S
NA_##_Linn	<b>silvestre</b>		Jstor LINN-HL42-29	LINN

NA_##_Linn2	<b>silvestre</b>		Jstor m0242125	M
NA_##_Schiende	<b>silvestre</b>		Jstor K000929956	K
Pringle 8837 <i>chionocalyx</i>	silvestre	16/10/04	México, Michoacán, Fields, Uruapan	ASU
Pringle 8837	<b>silvestre</b>	24/10/04	México, Jalisco, Fields near Etzatlan.	IND, COLO-V, IND
Pringle 8837 <i>chionocalyx</i>	<b>silvestre</b>	16/10/04	México, Michoacán, Fields, Uruapan	IBUG, IND, MICH, ASU, COLO, DAO, DAV, ENCB, LL, LL, MEXU, MICH, MSC, UV, WIS
PurdieW_sn	<b>cultivada</b>		Jamaica: Cofee plantation	TCD
Ramamoorthy 4615	silvestre	17/11/83	México, Michoacán, Aguilillas, El Manguito de La Sierra	RSA
Ramírez Amezcua 2255	<b>silvestre</b>	09/10/22	México, Michoacán, Pátzcuaro, carretera Tzurumútaró-Tzintzuntzan, base del cerro de las víboras	EBUM
Ramírez Amezcua 2256	<b>silvestre</b>	09/10/22	México, Michoacán, Tzintzuntzan, carretera Sanabria-El Jaguey, poco antes de Las Cuevas	EBUM
Ramírez Amezcua 2258	cultivada	18/10/22	México, Michoacán, Pátzcuaro, «Quinta Ofelia», en la avenida Las Garzas, cerca del muelle	EBUM
Ramírez Amezcua 2259	cultivada	24/10/22	México, Michoacán, Pátzcuaro, «Quinta Ofelia», en la avenida Las Garzas, cerca del muelle	EBUM
Ramírez Amezcua 2260	<b>silvestre</b>	10/10/22	México, Michoacán, Pátzcuaro, base del Cerro Blanco, cerca de la «Quinta Margarita»	EBUM
Ramírez Amezcua 2261	silvestre	10/10/22	México, Michoacán, Pátzcuaro, Cerro Blanco, por la vereda que sube a las antenas, cerca de banco del antiguo banco de material, aproximadamente a la mitad del camino entre la cima y la «Quinta Margarita»	EBUM
Rzedowski 490	<b>silvestre</b>	16/06/71	México, Michoacán, Parte más alta del Cerro Grande de Cujaruato, al suroeste de la Piedad	UNM
Sanders 4489	intermedia	30/12/83	México, Sinaloa, Concordia, Sierra Madre Occidental, Along MEX Hwy 40, 0.8 mile above the pass at Loberas, 3.9 miles above Santa Rita, and 39 miles NE of Concordia	UCR
Soto 5721	<b>silvestre</b>	17/10/83	México, Guerrero, Cuenca del Río Balsas y Sierra M. del Sur. A 34 km. al SW de Xochipala, camino a Filo de Caballo	RSA
Tenorio 10685	intermedia	10/12/85	México, Oaxaca, Cerro verde, 23km al NE de Teotitlan, carr. Teotitlan-Huautla, Mpio. Teotitlan	MEXU
Toledo García 32	<b>silvestre</b>	12/06/12	México, Michoacán, Morelia, Antigua carretera a Pátzcuaro, a un lado del Fraccionamiento Lomas de la campiña.	UNM
Torres 7658	<b>silvestre</b>	01/11/85	México, Oaxaca, 10 Km al NE del entronque Tlaxiaco-Putla-Juxtahuaca, o 3 Km al NE de Putla, camino a Tlaxiaco.	RSA
Weber 8376	<b>silvestre</b>	19/10/77	México, Chihuahua, Road from Creel to Batopilas, La Bufa Canyon, N side of canyon across from La Bufa	COLO
Williams 41161	<b>cultivada</b>	12/14/72	Guatemala, Huehuetenango, Cañón of Río Seligua, in «El Tapón» near Puente Monos Bridge, 40 km. northwest of Huehuetenango	F



# Desarrollo de especies de pino en micro parcelas *in situ* con condiciones ecológicas contrastantes

Development of pine species in *in situ* microplots under contrasting ecological conditions

María Elena Granados García<sup>1</sup> ✉ , Melissa Corine Carbajal Tapia<sup>2</sup>, Pablo Ayala Hernández<sup>1</sup>, María Alcalá de Jesús<sup>1</sup>, Juan Carlos González Cortés<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Gral. Francisco J. Múgica S/N, C.P. 58030, Morelia, Michoacán.

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Morelia, Av. Vicepresidente Pino Suárez No. 750, C.P. 58200, Morelia, Michoacán.

## Resumen

Los ecosistemas forestales se renuevan de manera natural a través de procesos de sucesión que ocurren como consecuencia de cambios causados por factores naturales o por actividades antrópicas, en los que la vegetación original ha experimentado perturbación. En este estudio se muestra que las condiciones ecológicas a nivel local determinan el desarrollo de especies de pino, desde su germinación hasta su transición hacia el estado de plántula. *Pinus pseudostrobus* se desarrolló en las tres condiciones analizadas: al cénit, en ladera de cárcava y en bosque secundario, en comparación con *P. patula* y *P. lawsonii*. A través del tiempo, las condiciones ambientales de cada sitio limitaron la supervivencia y desarrollo de las especies; así, *P. pseudostrobus* estableció una diferencia significativa en el crecimiento en altura, estimado a los cuatro meses ( $F=15.004$ ;  $P < 0.001$ ), como al final del período de estudio, en el que *P. patula* y *P. lawsonii* no sobrevivieron a ningún tratamiento.

**Palabras clave:** ecosistemas forestales, ladera de cárcava, cénit, germinación de semillas, plántulas de pino.

## Abstract

Forest ecosystems are naturally renewed through succession processes that occur when original vegetation is disturbed by natural factors or human activities. This study shows that ecological conditions at local level determine the development of pine species from germination to the seedling stage. *Pinus pseudostrobus* thrived in all three conditions analyzed: at the zenith, on the gully slope and in secondary forest, compared to *P. patula* and *P. lawsonii*. Over time, the environmental conditions of each site limited the survival and development of the species; thus, *Pinus pseudostrobus* established a significant difference in height growth, estimated at four months ( $F=15.004$ ;  $P < 0.001$ ), as well as at the end of the study period, in which *P. patula* and *P. lawsonii* did not survive any treatment.

**Keywords:** forest ecosystems, gully slope, pine seedlings, *Pinus pseudostrobus*, seed germination.

## Introducción

La estructura y la función de los ecosistemas forestales está determinada por factores que operan en diferentes niveles (Huggett, 1995; Bailey, 1998). En el primer nivel la radiación solar, la temperatura, la precipitación pluvial, la humedad del suelo y su variación anual, son los principales factores que determinan la distribución natural de la vegetación. En el segundo nivel, la posición topográfica, la inclinación de la pendiente y su exposición influyen en la distribución de la precipitación y de los materiales del suelo, lo que se traduce en la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. En el tercer nivel la intervención humana como incendios, tala, cambio en el uso del suelo, originan deterioro de la cubierta vegetal con formación de etapas de desarrollo o sucesión (Manson *et al.*, 2009).

### Historial

Manuscrito recibido: 5 de febrero de 2026

Manuscrito aceptado: 12 de marzo de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

### ✉ Autor para correspondencia

María Elena Granados García  
elena.granados.garcia@umich.mx  
orcid.org/0000-0003-1942-9854

### Como citar

Granados García ME, Carbajal Tapia MC, Ayala Hernández P, Alcalá de Jesús M, González Cortés JC (2026). Desarrollo de especies de pino en micro parcelas *in situ* con condiciones ecológicas contrastantes. *Ciencia Nicolaita* 96:33-40. DOI:[10.35830/cn.vi96.904](https://doi.org/10.35830/cn.vi96.904)

El cambio en el uso del suelo debido a factores naturales o a actividades antrópicas, donde la vegetación ha experimentado una transformación total o parcial, oc-

asiona, como consecuencia, la formación de bosques secundarios. La variación en el tipo de vegetación que se establece después de alguna perturbación se conoce como “sucesión secundaria”, en la que las plantas colonizan el suelo previamente ocupado por una comunidad pionera. Este tipo de sucesión es muy frecuente en campos de cultivo abandonados, donde existen semillas o remanentes de la vegetación natural (Muñiz *et al.*, 2006). Durante este proceso se observa que las comunidades se van reemplazando una y otra vez a lo largo del tiempo, hasta lograr un equilibrio composicional.

El uso de terrenos forestales con fines de restauración de ecosistemas degradados, para promover que las especies presentes en el entorno natural se establezcan de manera eficiente, proporciona un área de oportunidad para comprender cómo estas cumplen sus funciones ecológicas. Se plantea la necesidad de desarrollar estrategias orientadas a la conservación de fragmentos forestales remanentes y la rehabilitación de terrenos degradados, con vocación forestal (Díaz *et al.*, 2012). Por lo tanto, la persistencia de especies nativas en predios ubicados dentro de su distribución natural resultará en la conservación de la biodiversidad y en su capacidad de regeneración, tanto en el presente como para futuras generaciones.

La restauración de un ecosistema con vocación forestal consiste en restituir la capacidad de las tierras que antes contaban con árboles para que estos recuperen sus condiciones originales. En terrenos forestales se ha establecido una influencia positiva del dosel al proporcionar sombra a las plantas; así como un efecto de competencia con el sotobosque por recursos como agua y nutrientes. En este sentido, Smith y Huston (1989) y Valladares (2004) demostraron que la luz y el agua varían e interactúan simultáneamente, por lo que la respuesta de las plantas a la luz y su tolerancia a la sombra dependerá de la disponibilidad de agua. Por lo tanto, las estrategias de las plantas para hacer frente a condiciones de sombra y de sequía pueden producir compensaciones morfológicas y fisiológicas como respuesta a estas variaciones.

Por otro lado, el estado ontogénico (Soliveres *et al.*, 2010); los requerimientos ecológicos de las especies interactuantes (Liancourt *et al.*, 2005) y la presencia de diferentes factores de estrés (Baumeister y Callaway 2006; Soliveres *et al.*, 2012), modulan la interacción planta-planta a través de gradientes ambientales. Por lo tanto, es importante evaluar el efecto de las condiciones del microclima en sitios con condiciones ecológicas contrastantes, sobre el desarrollo de especies nativas con potencial para la restauración *in situ*, en terrenos forestales degradados.

En este contexto, en el Convenio del Plan de Manejo

para la Biodiversidad Biológica (PMDB, Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal, 2022), México se comprometió con el objetivo estratégico D del PMDB. El objetivo de este Convenio establece un compromiso global integral para conservar, restaurar y usar sustentablemente su biodiversidad, incrementar su resiliencia y contribuir a la mitigación de la emergencia climática.

Con base en lo anterior, en este trabajo nos planteamos la hipótesis de que las especies de pino cuentan con características fisiológicas y fenotípicas propias para germinar y desarrollarse de manera diferenciada en condiciones naturales que experimentan cambios micro climáticos a lo largo del día.

## Materiales y métodos

### Localización del área de estudio

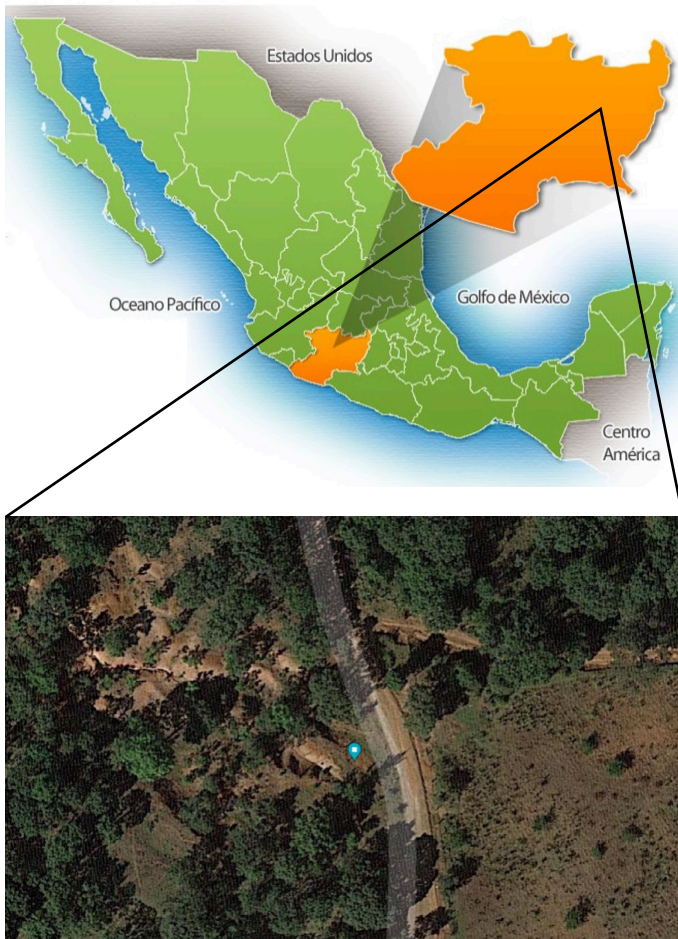
El estudio se realizó en la localidad del ejido Santa Rosalía, en el poblado “El Escobal”, municipio de Morelia, Michoacán (**Figura 1**), situada a 16.4 km al Noroeste de la cabecera municipal, en las coordenadas 19°34'0" N y 101°14'0" W, a una altitud de 2160 m.

### Diseño experimental

Se delimitaron tres sitios de 1 m<sup>2</sup> (parcelas) con condiciones ecológicas contrastantes en cuanto a pendiente, radiación solar, humedad del suelo y cubierta vegetal, con tres repeticiones. El experimento corresponde a un diseño factorial con tres sitios y tres especies como factores fijos.

En el área de estudio, la primera parcela denominada ladera de cárcava se delimita a 50 m lineales partiendo de la cabecera de la cárcava al este; sobre la misma línea hacia el oeste, a 12 m lineales se localizan las otras dos parcelas en ladera de cárcava. A partir de la primera parcela en ladera de cárcava, hacia el norte, se localizan las parcelas denominadas al cénit. De la cabecera de la cárcava hacia el oeste, a 140 m lineales, siguiendo el lecho de la cárcava, se localizan las parcelas del sitio denominado bosque secundario.

En la zona de estudio, Ibarra (2018) observó que las variables ambientales de las micro parcelas están definidas por la radiación fotosintéticamente activa (PPFD, la cual se midió con un PAR METER; SUN SYSTEM, Canada), en un transecto lineal en cada parcela, registrando 10 medidas por tratamiento, por la humedad del suelo y su clase textural, además de la pendiente del terreno. El primer sitio se delimitó en un área de cárcavas, en ladera de cárcava con una radiación promedio de 400  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , 30 por ciento de humedad del suelo y 8° de pendiente; el segundo sitio se delimitó en un área libre fuera del dosel,



**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio. Parcelas en el área de cárcavas en El Escobal.

en la parte alta de la cárcava a la que se denominó al cénit, con una radiación promedio de  $1800 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$  y 17 por ciento de humedad del suelo; el tercer sitio se delimitó en el área de bosque secundario sin pendiente, con una radiación promedio de  $100 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$  y 26 por ciento de humedad del suelo (**Tabla 1**).

### Siembra de semillas

En mayo de 2023 se sembraron "al voleo" 30 g de semilla de tres especies de pino: *Pinus pseudostrobus*, esta especie tiene una amplia distribución geográfica y

climática, así como una gran importancia económica y ecológica; *P. patula* tiene importancia comercial por su potencial productivo y capacidad de adaptarse a diferentes condiciones climáticas y *P. lawsonii* con potencial de crecer en áreas erosionadas "al voleo", las cuales fueron esparcidas manualmente sobre el terreno de manera homogénea en cada micro parcela (**Figura 2a-c; Tabla 2**).

### Crecimiento y supervivencia

Se monitoreó el crecimiento y la supervivencia de las plántulas en cada condición ecológica descrita a los cuatro, siete y once meses posteriores a la siembra de las semillas. El crecimiento se registró después de extraer una muestra de 10 plántulas al azar en cada tratamiento, tanto en altura a partir de la base del cuello de la raíz hasta la yema apical, como en diámetro, tomando la medida en el cuello de la raíz. La supervivencia se registró de forma general en cada tratamiento a través del crecimiento de las plántulas una vez que estas germinaron y su posterior persistencia en cada tratamiento.

### Análisis estadístico

El análisis se hizo bajo un diseño factorial con dos factores fijos: el factor tratamiento experimental (tres sitios) y el factor especie (tres especies), con el modelo:

$$y_{ijk} = \mu + T_i + E_j + \epsilon_{ijk}$$

donde

$y_{ij}$  = variable respuesta.

$\mu$  = media general;

$T_i$  = efecto del tratamiento  $i$ ;

$E_j$  = efecto de la especie  $j$  y

$\epsilon_{ijk}$  = error.

Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico *Statistica 2013*, verificando los supuestos de independencia de las observaciones, homocedasticidad de los residuales y la normalidad de los datos.

**Tabla 1.** Condiciones abióticas presentes en las micro parcelas en El Escobal.

Sitio	Radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ )	Humedad del suelo (%)	Pendiente (° grados)	Clase de Textura del suelo
Al cénit	1800	17	0	Arcilla
Ladera de Cárcava	400	30	8	Arcillo/Arenoso
Bosque Secundario	100	26	0	Arcillo/ Franco Arenoso

Fuente: Ibarra, 2018.



**Figura 2.** Delimitación de micro parcelas para la siembra de semillas: a) Ladera de cárcava; b) Al cénit; c) Bosque secundario.

**Tabla 2.** Cantidad de semillas sembradas en cada micro parcela.

Especie	Semillas/gr	Semillas/30 gr
<i>P. pseudostrobus</i>	47	1410
<i>P. patula</i>	70	1590
<i>P. lawsonii</i>	53	2100

## Resultados

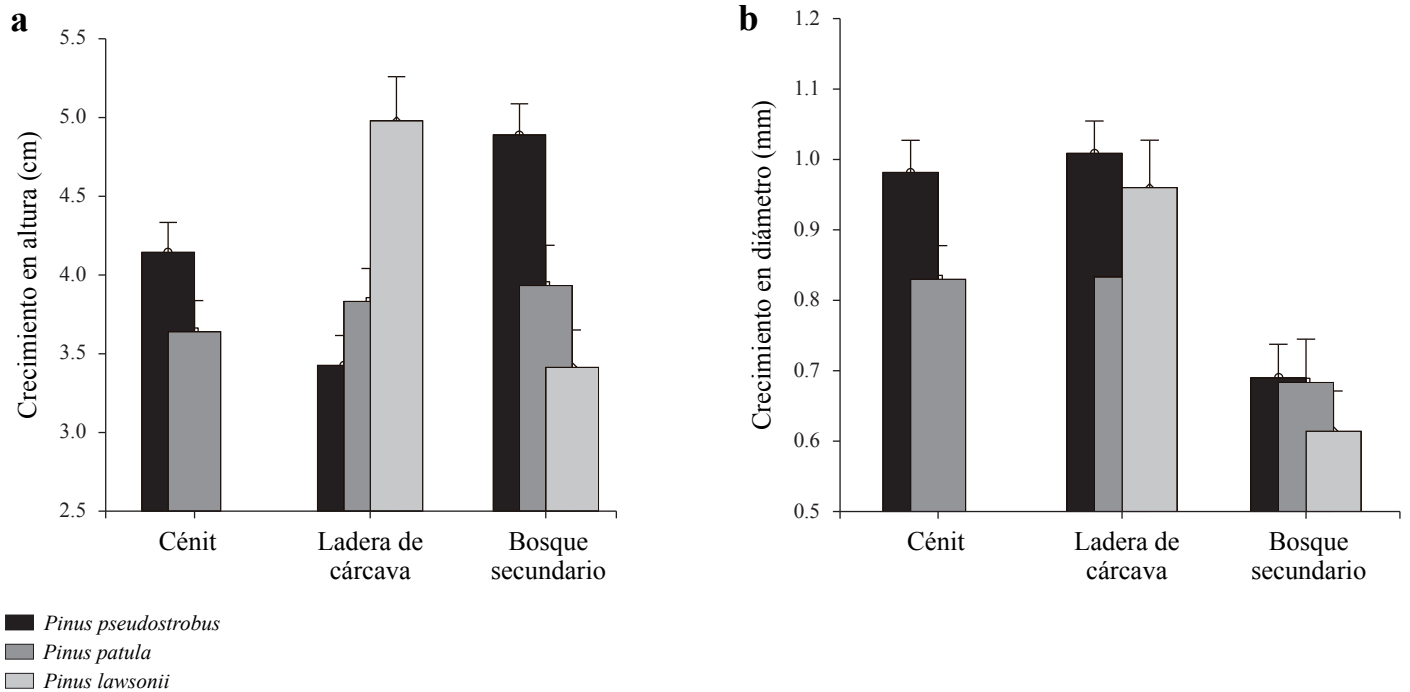
### Crecimiento de las especies

De acuerdo con la Organización Mundial Meteorológica (OMM) entre junio de 2023 a julio de 2024 se registró un aumento de temperatura que superó por primera vez el umbral de 1.5 °C establecido en el Acuerdo de París en 2015 (CONAGUA 2024). Es probable que las condiciones extremas de temperatura afectaran el crecimiento en altura y en diámetro de las plántulas. En septiembre de 2023; cuatro meses después de la siembra de las semillas, se encontraron diferencias significativas entre los factores especie y tratamiento ( $F=15.004$ ;  $P < 0.001$ ). El crecimiento de las plántulas de *Pinus lawsonii* en altura fue mayor en ladera de cárcava, fue menor en bosque secundario y no sobrevivieron al cénit; las plántulas de *P. pseudostrobus* tuvieron mayor crecimiento en altura en bosque secundario y al cénit. Las plántulas de *P. patula* crecieron de manera similar en los tres tratamientos (Figura 3). El crecimiento de las plántulas en diámetro no mostró diferencias significativas ( $F=1.296$ ;  $P < 0.05$ ). Sin embargo, las plántulas de *P. pseudostrobus* al cénit, lo mismo que en las plántulas de *P. pseudostrobus* y de *P.*

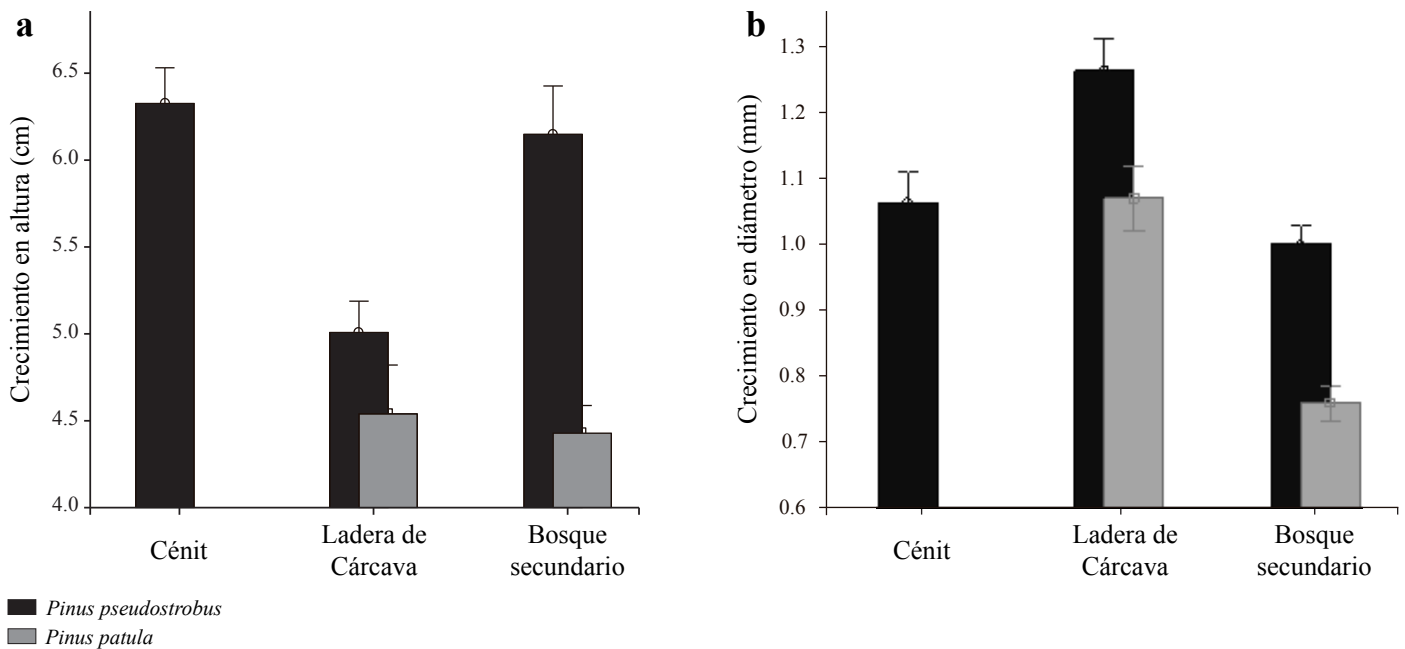
*lawsonii* en ladera de cárcava, se observa una tendencia hacia un mayor diámetro y menor para las plántulas de las tres especies en bosque secundario (Figura 3).

Después de siete meses de desarrollo de las plántulas en las micro parcelas, se realizó una estimación del crecimiento en altura y diámetro de aquellas que sobrevivieron en las condiciones de cada tratamiento (diciembre de 2023). En general, en esta época del año los procesos fisiológicos de las especies en campo se ralentizan debido a la disminución de temperatura. En particular, observamos que las plántulas de *P. lawsonii* no sobrevivieron en ningún tratamiento. Por otro lado, las plántulas de *P. pseudostrobus* mostraron mayor crecimiento en altura al cénit y en bosque secundario y menor en ladera de cárcava, mientras que las plántulas de *P. patula* no sobrevivieron al cénit y su crecimiento fue menor en ladera de cárcava y en bosque secundario (Figura 4), con diferencias significativas entre tratamiento ( $F= 5.245$ ;  $P < 0.05$ ) y entre los factores tratamiento y especie ( $F= 7.722$ ;  $P < .05$ ). El crecimiento en diámetro de las plántulas de *P. pseudostrobus* fue mayor en ladera de cárcava y menor al cénit y en bosque secundario; en el caso de las plántulas de *P. patula*, su diámetro fue menor en bosque secundario (Figura 4), sin diferencias significativas entre especie y tratamiento ( $F= 0.301$ ;  $P > 0.05$ ).

El año 2024 destacó por ser el año más caluroso de acuerdo con la OMM, dando como resultado condiciones extremas (CONAGUA 2024). Es probable que la nula supervivencia de las plántulas de las tres especies en todos los tratamientos a excepción de las plántulas de *P. pseudostrobus* que sobrevivieron en la ladera de cárcava,



**Figura 3.** Crecimiento de las plántulas en **a)** altura y **b)** diámetro en cada tratamiento (micro parcela) en septiembre de 2023.

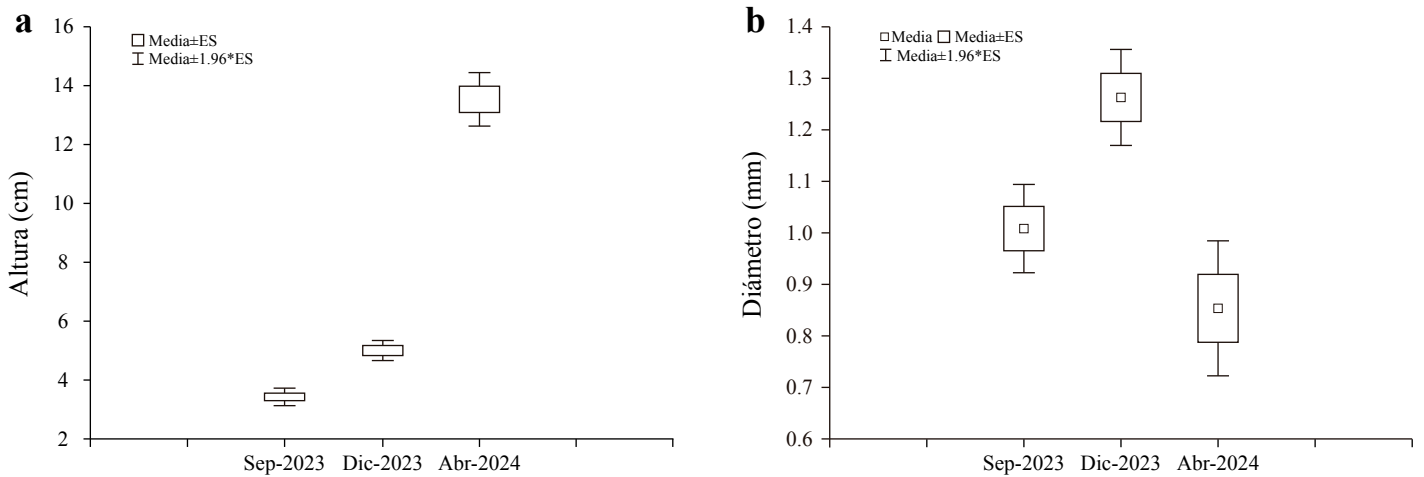


**Figura 4.** Crecimiento en **a)** altura y **b)** diámetro de las plántulas en diciembre de 2023.

haya sido por las condiciones extremas de temperatura reportadas. En el caso de *P. pseudostrobus* se hizo un análisis del crecimiento de la especie a lo largo del período de estudio en estas micro parcelas (**Figuras 5 y 6**). En altura, la especie creció de acuerdo con lo esperado, registrando un aumento al final del período. Sin embargo, el crecimiento del diámetro mostró una disminución inesperada en abril de 2024 (**Figura 5**).

## Discusión

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), las condiciones climáticas en el municipio de Morelia en el período comprendido entre 2023-2024, se caracterizó por temperaturas altas y escasa precipitación. El reporte indica condiciones de sequía moderada a partir de enero de 2023 hasta sequía severa en mayo de 2023;



**Figura 5.** Crecimiento en **a)** altura y **b)** diámetro de *Pinus pseudostrobus* en ladera de cárcava durante el período de estudio.

a partir de junio de 2023 hasta julio de 2024, se indicó sequía extrema. Estos datos sugieren que, para la zona de estudio, perteneciente al municipio de Morelia, las altas temperaturas y la escasa precipitación tuvieron como consecuencia una escasa disponibilidad de agua, además de largos períodos de intensa radiación solar para las plántulas.

En el área de estudio, las condiciones referidas provocaron el desarrollo diferenciado de las plántulas. En particular, *Pinus lawsonii* no sobrevivió al tratamiento al cénit. En este tratamiento prevalecen una alta radiación solar y baja humedad del suelo, lo que afectó el desarrollo de esta especie; aunque es relevante considerar que las plántulas tuvieron un alto crecimiento en altura 4.9 cm en ladera de cárcava y 3.4 cm en bosque secundario, y un crecimiento en diámetro de 0.96 mm en ladera de cárcava y de 0.61 mm en bosque secundario. Sin embargo, entre septiembre y diciembre, la especie no sobrevivió a estos tratamientos.

En el caso de *Pinus patula*, se encontró que las plántulas de esta especie tuvieron un crecimiento promedio similar en altura de 4.8 cm en los tres tratamientos y un diámetro de entre 0.68 mm en bosque secundario y 0.83 mm al cénit y en ladera de cárcava, en septiembre de 2023. En diciembre de 2023 tuvo un crecimiento promedio en altura de 4.5 cm tanto en ladera de cárcava como en bosque secundario y un diámetro de 1.0 mm en ladera de cárcava y de 0.7 mm en bosque secundario, sin sobrevivencia al cénit en diciembre de 2023.

El crecimiento de las plántulas de *Pinus pseudostrobus* en altura fue mayor en el bosque secundario en septiembre de 2023 y en el tratamiento al cénit en diciembre de 2023; por otro lado, el crecimiento de las plántulas en diámetro fue mayor en ladera de cárcava a lo largo del período. Sin embargo, la especie prevaleció hasta abril de 2024, sólo

en la ladera de cárcava. Una respuesta de interés sobre la fisiología de la especie fue el hecho de que, el crecimiento promedio en altura siguió un patrón normal, de septiembre de 2023 (3.4 cm) a abril de 2024 (13.5 cm); sin embargo, se encontró que las plántulas disminuyeron su diámetro en abril de 2024 de 1.2 a 0.85 mm. Lo anterior podría explicarse por la sequía extrema que se registró en el área de estudio, de acuerdo con el reporte de la CONAGUA (2024).

La gran mayoría de los pinos son intolerantes a la sombra, son especies pioneras de etapas iniciales o de sucesión intermedia. Aunque pueden representar el clímax o una etapa de sucesión avanzada (Rodríguez-Trejo, 2021). En este caso, es importante tener en cuenta, además de las condiciones micro climáticas en las que se encontraron expuestas las plántulas, el estado ontogénico de las especies (Soliveres *et al.*, 2010), así como los requerimientos ecológicos (Liancourt *et al.*, 2005), que modulan la interacción de los organismos y su hábitat en los ecosistemas forestales a través de gradientes ambientales.

En este trabajo, exploramos la respuesta de especies de pino en estado de plántula, en cuanto a su desarrollo *in situ* en micro parcelas con condiciones micro climáticas contrastantes generadas por el ecosistema. Como se indicó antes, el municipio de Morelia experimentó una sequía de diversos grados desde junio de 2023 hasta julio de 2024, condición que afectó el desarrollo de las semillas que habían germinado y de las plántulas que crecieron de manera diferenciada en cada tratamiento comprometiendo, su desarrollo posterior.

Las condiciones micro climáticas, así como las variaciones edáficas y la diferencia en cobertura vegetal de las áreas estudiadas y que tienen distintos tipos de perturbación, provocaron diferencias en las respuestas



**Figura 6.** Plántulas de *Pinus pseudostrobus* a lo largo del tiempo; **a)** julio de 2023, **b)** septiembre de 2023, **c)** diciembre de 2023 y **d)** abril de 2024.

tanto en el crecimiento como en la supervivencia de las especies germinadas que lograron su desarrollo al estado de plántula en condiciones naturales, *in situ*. Al final del período, sólo *Pinus pseudostrobus* prevaleció en el microclima con una radiación moderada y un porcentaje de humedad del suelo en el que, por el largo de su raíz y la biomasa registrada (datos no mostrados), alcanzó un buen desarrollo en la ladera de cárcava. En el bosque secundario, una baja intensidad lumínica podría ser perjudicial para cualquier especie, ya que la fijación de carbono se vería comprometida. Por otro lado, la competencia por el agua con los árboles y las plantas del sotobosque pudo ser determinante para la supervivencia de las plántulas de las tres especies en este tratamiento (Granados, 2019).

Para tener un método homogéneo de análisis, se eligieron tres sitios, cada uno con tres repeticiones, las cuales son necesarias para los análisis posteriores. En campo, es posible encontrar condiciones ecológicas homogéneas, aunque no es común. Por otro lado, en campo, un transecto de 1 m<sup>2</sup> es representativo para determinar distintos aspectos ecológicos. Consideramos que las condiciones

de sequía extrema provocaron las respuestas observadas. Es posible que, de haberse presentado el período de lluvia normal para esta región, la respuesta de las especies habría sido diferente, por ejemplo, en términos de supervivencia. El tamaño de muestra en campo fue de cinco plantas por tratamiento, lo que en nuestra opinión permite hacer un análisis confiable en cuanto a las pruebas de independencia de las observaciones, homocedasticidad y homogeneidad de las medias.

## Conclusiones

La disponibilidad de luz y la humedad del suelo son parámetros que determinan la supervivencia de las especies en condiciones naturales. En este estudio, las plántulas de las tres especies analizadas lograron regular de manera diferenciada, a través de la asignación de biomasa aérea o subterránea su desarrollo y en última instancia su supervivencia en hábitats donde compiten por estos recursos. Así, la supervivencia de *P. lawsonii* fue determinada por la radiación solar (1800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y la baja humedad del suelo (17%) al cénit, al encontrar que la especie no sobrevivió en ningún tratamiento después de cuatro meses, aunque sí germinó. En el caso de *P. patula* se definió un buen rendimiento después de cuatro meses de su germinación, si bien, en abril de 2024 se encontró nula supervivencia de esta especie en los tres tratamientos. El desarrollo de *P. pseudostrobus* fue modulado por las características fisiológicas de la especie y probablemente sus características ontológicas, ya que esta manifestó una adaptación a condiciones climáticas de mediana radiación solar y con una humedad del suelo de 30%, al final del período de estudio.

## Referencias

- Bailey RG (1996). *Ecosystem Geography*. Springer-Verlag. p. 216.
- Baumeister D, Callaway RM (2006). Facilitation by *Pinus flexilis* during succession: A hierarchy of mechanisms benefits other plant species. *Ecology* 87:1816–1830. doi:10.1890/0012-9658(2006)87[1816:FBPFDS]2.0.CO;2
- CONAGUA (2024). <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Díaz V, Sosa-Ramírez J, Pérez-Salicrup Diego R (2012). Distribución y abundancia de las especies arbóreas y arbustivas en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Polibotánica* (34):99-126.
- Huggett RJ (1995). *Geocology. An evolutionary approach*. Routledge, Londres, Reino Unido. 320 p.

Ibarra-Concepción E (2018). Introducción de especies leñosas para la rehabilitación ecológica de sitios perturbados en el poblado El Escobal del municipio de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, p. 33.

Granados-García ME (2019). Restauración de bosques de *Pinus halepensis* mediante la introducción de especies rebrotadoras para aumentar su resiliencia ante incendios forestales. Tesis de Doctorado. Universitat de Barcelona, pp. 154. [Disponible en: <https://hdl.handle.net/2445/150265>].

Liancourt P, Callaway RM, Michalet R (2005). Stress tolerance and competitive-response ability determine the outcome of biotic interactions. *Ecology* 86:1611-1618. doi:10.1890/04-1398.

Manson RH, Jardel EJ, Jiménez-Espinoza PM, Escalante-Sandoval CA (2009). Perturbaciones y desastres naturales: impacto sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En: Dirzo, González RR, March IJ (Compiladores) *Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp. 131-184.

Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming Montreal. (2022). Conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica. Montreal, Canadá. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/hoja-de-ruta-de-mexico-para-cumplir-o-superar-la-meta-3-del-marco-mundial-de-biodiversidad-kunming-montreal-411548?idiom=es>

Muñiz-Castro MA, Williams-Linera G, Rey-Benayas JM (2006). Distance effect from cloud forest fragments on plant community structure in abandoned pastures in Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 22:431-440. doi:10.1017/S0266467406003221.

Rodríguez-Trejo DA (Coord.). 2021. Semillas de Especies Forestales. División de Ciencias Forestales, *Universidad Autónoma Chapingo*. Chapingo, Edo. de Méx. 505 p.

Smith T, Huston M (1989). A theory of spatial and temporal dynamics of plant communities. *Vegetatio* 83(1):49-69. doi:10.1007/BF00031680

Soliveres S, Desoto L, Maestre FT, Olano JM (2010). Spatio-temporal heterogeneity in abiotic factors modulate multiple ontogenetic shifts between competition and facilitation. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 12:227-234.

Soliveres S, Eldridge DJ, Hemmings F, Maestre FT (2012) Nurse plant effects on plant species richness in drylands: The role of grazing, rainfall and species specificity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14:402-410.

Valladares F, Aranda I, Sánchez-Gómez D (2004). La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. *Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante*. pp. 335-369. Ministerio del Medio Ambiente EGRAF. Madrid.



# Flora y vegetación del cerro La Cruz, Ucareo, municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México

Flora and vegetation of cerro La Cruz, Ucareo, municipality of Zinapécuaro, Michoacán, Mexico

Carlos Alberto Rivera Ortiz<sup>1</sup>  , Patricia Silva Saénz<sup>1</sup> , Erandeni Durán Mendoza<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Calle Gral. Francisco J. Múgica S/N, CP. 58030, Morelia, Michoacán.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, Carretera Morelia Salamaca, km 6.5, CP. 58100, Morelia, Michoacán.

## Resumen

El conocimiento de la biodiversidad, particularmente la flora de cualquier área geográfica es una parte básica y esencial para iniciar otro tipo de actividades científicas en varios campos de estudio. En este trabajo se presenta el inventario de plantas vasculares del cerro La Cruz, ubicado al noreste del estado de Michoacán. La vegetación consiste principalmente de bosque de pino-encino, con áreas de cultivos anuales y estacionales. Se registran 199 especies, 10 taxa infraespecíficos y un híbrido natural, pertenecientes a 60 familias y 140 géneros. La familia con más especies es Asteraceae, mientras que, *Quercus* y *Salvia* son los géneros más diversos, 68 taxa son endémicos al país y dos se encuentran en alguna categoría de riesgo. En particular, *Callitropsis lusitanica* (Mill.) D.P. Little (Cupressaceae) está sujeta a protección especial en la NOM-059-SEMANART-2010. El cerro La Cruz presenta evidencias de actividades humanas, uso de recursos maderables y presencia de especies no nativas, lo que muestra una perturbación antropogénica evidente y la necesidad de estudios para conocer su impacto sobre la diversidad vegetal.

**Palabras clave:** florística, bosque de pino-encino, plantas vasculares, diversidad vegetal

## Abstract

The knowledge of biodiversity, particularly the flora of any geographic area, is a basic and essential part of initiating other types of scientific activities in various fields of study. This work presents the inventory of vascular plants of Cerro La Cruz, located in the northeast of the state of Michoacán. The vegetation consists mainly of pine-oak forest, with areas of annual and seasonal crops. A total of 199 species, 10 infraspecific taxa, and one natural hybrid are recorded, belonging to 60 families and 140 genera. The family with the most species is Asteraceae, while *Quercus* and *Salvia* are the most diverse genera; 68 taxa are endemic to the country and two are in some risk category. In particular, *Callitropsis lusitanica* (Mill.) D.P. Little (Cupressaceae) is subject to special protection under NOM-059-SEMANART-2010. Cerro La Cruz shows evidence of human activities, the use of timber resources, and the presence of non-native species, which shows an evident anthropogenic disturbance and the need for studies to understand its impact on plant diversity.

**Keywords:** floristics, pine-oak forest, vascular plants, plant diversity

## Introducción

México es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo, se posiciona en el cuarto lugar, después de Brasil, China y Colombia (Villaseñor, 2016). Para el estado de Michoacán, Villaseñor (*op. cit.*) reporta 5,885 especies de plantas vasculares y se posiciona en el sexto lugar, después de Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Jalisco y Guerrero. Mientras que, de acuerdo a la estimación de la biodiversidad de Michoacán en el último estudio, se reportan un total de 5,344 especies, lo que a su vez corresponde 296 a helechos y grupos afines, 30 gimnospermas y 5,018 angiospermas

### Historial

Manuscrito recibido: 15 de diciembre de 2025

Manuscrito aceptado: 20 de febrero de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

### Autor para correspondencia

Carlos Alberto Rivera-Ortiz  
alberto.rivera.ortiz9@gmail.com  
ORCID: 0009-0005-7475-7035

### Como citar:

Rivera-Ortiz CA, Silva-Saénz P, Durán Mendoza E (2026). Flora y vegetación del cerro La Cruz, Ucareo, municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* 96:41-58. DOI:10.35830/cn.vi96.885

(Blanco-García *et al.*, 2019; Madrigal-Guridi, 2019; Silva-Sáenz, 2019a; Silva-Sáenz, 2019b; Zamudio y Carranza, 2019).

Para conocer la biodiversidad de una región, estado o país, es importante la consulta de los registros en herbarios, pero también la realización de inventarios florísticos pues en las colecciones no está todavía la diversidad presente en la naturaleza; sin embargo, esta actividad es un proceso que conlleva paciencia, tiempo y esfuerzo, mismo que en ocasiones representa una minoría en la evaluación científica y académica (Rzedowski, 2015; Villaseñor, 2015). En el estado de Michoacán los trabajos florísticos se han realizado principalmente en la parte central de la entidad, como algunas elevaciones de los municipios de Morelia, Tingambato y Tzintzuntzan: cerro El Águila (Cornejo-Tenorio *et al.*, 2013), cerro Takiakeri (Hernández-Valdovinos, 2022) y cerro de Comburinda (Sales-Figueroa y Silva-Sáenz, 2022). También se han realizado inventarios en los lagos cráter de la entidad: la alberca de Los Espinos en Villa Jiménez (Contreras-Bailón, 2018), la alberca de Teremendo de los Reyes, al noroeste de Morelia (Contreras-León y Silva-Sáenz, 2020) y la alberca del municipio de Tacámbaro (Ramírez-Ramos *et al.*, 2023). O bien, el enfoque de estudio han sido un grupo en particular, como es el caso de los árboles del estado (Cué-Bár *et al.*, 2006) o la diversidad del género *Salvia* (Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manríquez, 2011), entre otros.

El municipio de Zinapécuaro de Figueroa se localiza al noreste del estado de Michoacán, colindando con Guanajuato, destaca por su turismo basado en el uso de los recursos hídricos y termales, y por la identificación de utensilios de cerámica y obsidiana prehispánica denotando su importancia antropológica (Arévalo, 2015; Helean y Hernández, 2023). La mayor parte de su territorio lo cubre vegetación de coníferas y asociaciones mixtas de encino, cultivos agrícolas y pastizales, posee cuerpos y corrientes temporales, siendo el lago de Cuitzeo el cuerpo de agua con mayor superficie (Aguilar y Aguilar, 2023; Pimienta-Ramírez *et al.*, 2025).

En el área circundante a la localidad de Ucareo se han realizado recolectas botánicas de manera esporádica a lo largo de los años (Dirección General de Repositorios Universitarios, 2026), y el trabajo florístico más cercano corresponde a las plantas acuáticas del lago de Cuitzeo, en el cual se reportan 92 especies (Rojas y Retana, 1995). El proyecto Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes (INECOL, 2025) forma parte primordial, ya que abarca la parte norte de Michoacán y los estados completos de Guanajuato y Querétaro. El presente trabajo tiene como objetivo inventariar la flora presente en el cerro La Cruz,

localizado al noreste de la localidad de Ucareo, en el municipio de Zinapécuaro, Michoacán y describir su vegetación

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El cerro La Cruz se ubica aproximadamente a 700 m al NO de la localidad de Ucareo, que pertenece al municipio de Zinapécuaro de Figueroa, y a 55 km de la capital del estado de Michoacán; se ubica entre los extremos 19°54'14.74" y 19°55'9.54" latitud norte, 100°42'27.37" y 100°41'10.28" longitud oeste, con un rango altitudinal de 2500 a 2700 msnm, se estima una superficie de 225 hectáreas cuadradas (INEGI, 2010 y 2021; **Figura 1**).

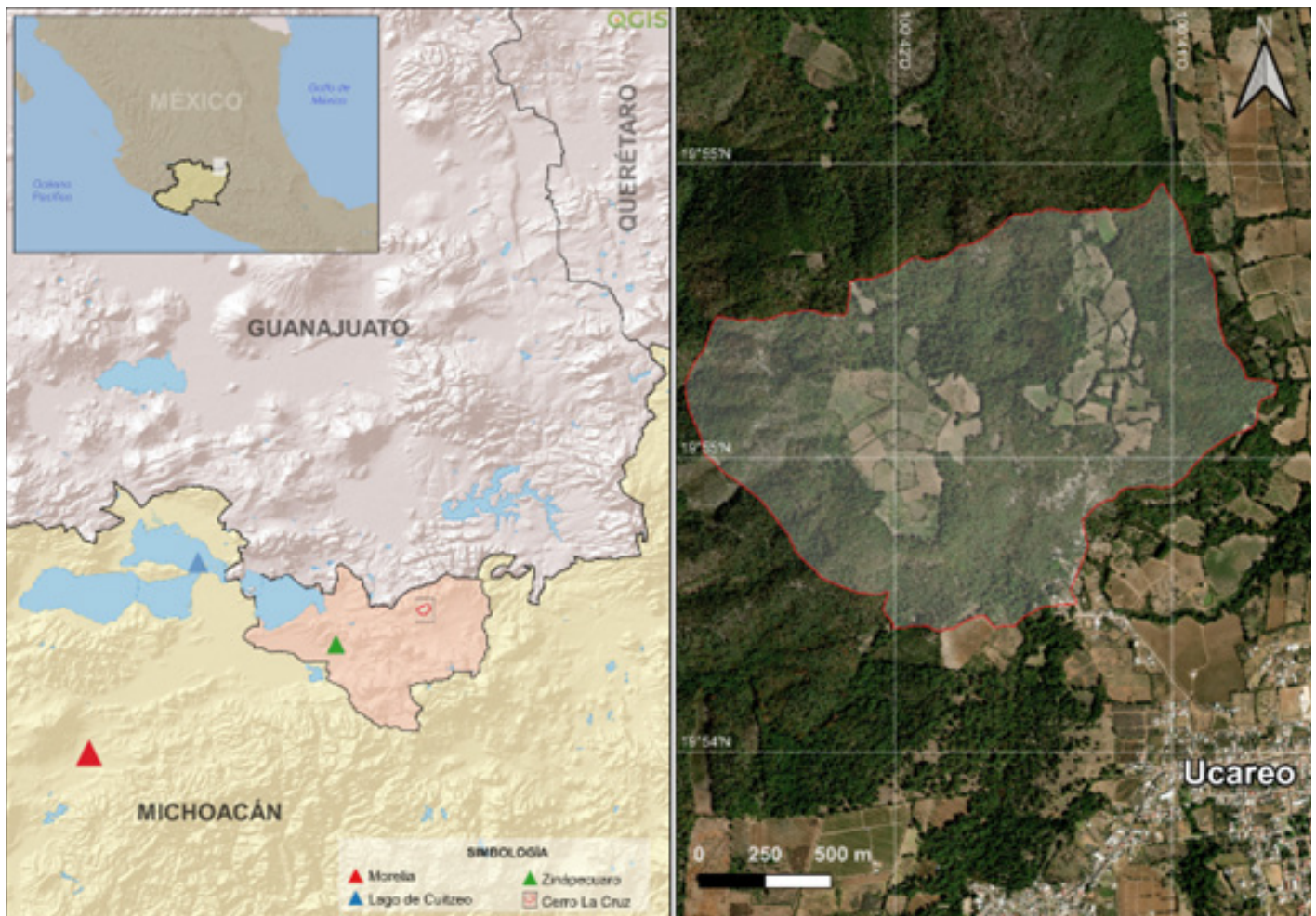
El área de estudio se ubica en la provincia Eje Neovolcánico Transversal, en la región hidrológica Lerma-Santiago, encontrándose corrientes temporales y al noreste el lago de Cuitzeo, siendo el cuerpo más grande del municipio; los suelos principales corresponden a Luvisol (30.63%), Andosol (19.68%) y Leptosol (17.72%), en el área de estudio se encuentran en mayor superficie Leptosol y Luvisol (Aguilar y Aguilar, 2023, INEGI, 2010).

En el municipio predominan las rocas ígneas extrusivas, al igual que en el área de estudio. El clima es subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 15 °C y la precipitación anual de 629.5 mm, esto de acuerdo con los datos correspondientes a la estación meteorológica Ucareo (Aguilar y Aguilar, 2023; SMN, 2026). De acuerdo con García (2004) corresponde a la fórmula climática Cb(wo)(w)(i')g (**Figura 2**).

La localidad de Ucareo se encuentra al sureste del cerro La Cruz, cuenta con una población de 2,123 habitantes, presentando una disminución de 119 habitantes de acuerdo con el censo poblacional de 2005, se caracteriza por la producción frutícola, destacando el durazno, la pera y la ciruela (Guillén, 2016; INEGI, 2023).

### Trabajo de campo y de gabinete

Se realizaron 16 salidas a campo entre los años 2009 a 2010 y posteriormente una en 2018. La presencia de estructuras reproductivas fue la característica principal al momento de realizar la recolección de los ejemplares siguiendo el método convencional (Lot y Chiang, 1986; Sánchez-González y González, 2007). En algunos casos no fue posible la recolecta, ya que los ejemplares se encontraban sin estructuras reproductoras o eran muy escasos en el sitio, por lo que se procedió a tomar registro en fotografía y/o un fragmento de la planta, el material se encuentra en la plataforma iNaturalist México (iNaturalist



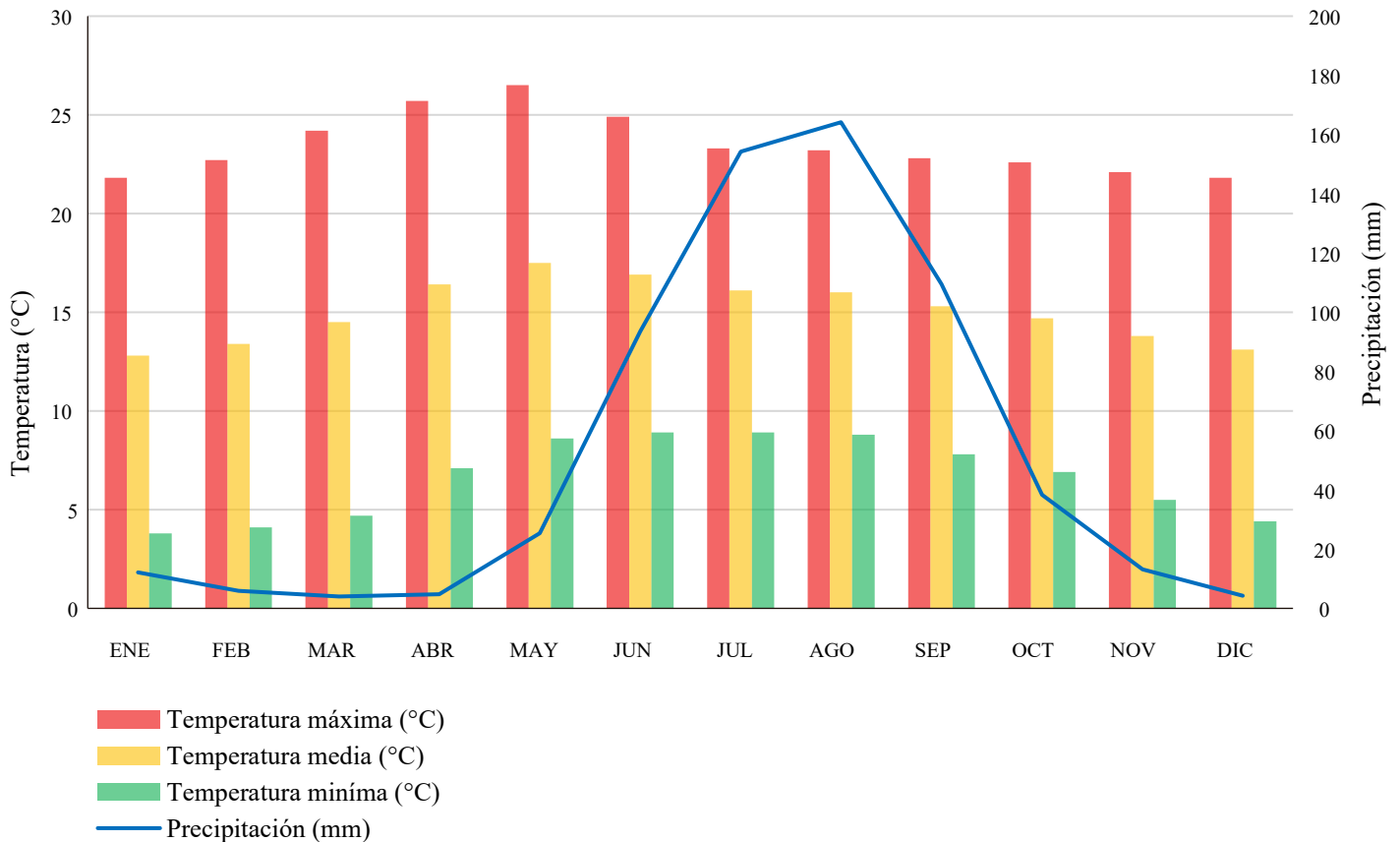
**Figura 1.** Ubicación y delimitación del cerro La Cruz, municipio de Zinapécuaro, Michoacán.

MX, 2026: <https://www.inaturalist.org/>) (apéndice 2). La herborización de los ejemplares recolectados consistió en la deshidratación mediante una secadora eléctrica con focos incandescentes. Para definir la abundancia de las especies, se consideran las observaciones visuales en campo de acuerdo a Braun-Blanquet (1950), estimación combinada de la abundancia y cobertura de las especies en el área, quedando en el presente estudio las siguientes categorías: muy escasa (r y +), escasa (1), poco abundante (2), abundante (3) y muy abundante (4 y 5); donde: r (uno o muy pocos individuos, sin cobertura aparente), + (pocos individuos, cobertura <1%), 1 (abundante, pero con cobertura muy baja menor a 5%), 2 (abundante con cobertura de 5-25%), 3 (cobertura 25-50%) 4 (cobertura alta, 50-75%) y 5 (cobertura muy alta, 75 al 100%).

La determinación taxonómica se realizó mediante literatura especializada, entre los cuales están: Calderón de Rzedowski y Rzedowski (2005), McVaugh (1984, 1985, 1987), Mickel y Smith (2004) y fascículos de la Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes (INECOL, 2025). Adicionalmente, para varios ejemplares se consultó con es-

pecialistas en los géneros *Quercus* y *Salvia* y las familias Asteraceae, Poaceae y Orchidaceae. Los ejemplares identificados se cotejaron de manera presencial en el herbario IEB del Instituto de Ecología A. C., y el herbario EBUM de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, así como el Portal de Datos Abiertos de la UNAM (Dirección General de Repositorios Universitarios, 2026: <https://datosabiertos.unam.mx>). Los ejemplares determinados se depositaron en los herbarios anteriormente mencionados y el MEXU (Instituto de Biología, UNAM) (acrónimos de acuerdo con Thiers, 2019). Por último, se confirmaron las identificaciones de los ejemplares recolectados al compararlos con las colecciones del Portal de Datos Abiertos UNAM y el herbario IEB del Instituto de Ecología A. C. respecto a las especies vegetales reportadas en el cerro La Cruz, los listados se conjuntaron al resultado del presente trabajo.

El ordenamiento de las familias botánicas se realizó mediante los sistemas de clasificación Pteridophyte Phylogeny Group (PPG I, 2016) para helechos y grupos afines, Christenhusz *et al.* (2011) para gimnospermas



**Figura 2.** Climograma de la estación meteorológica Ucareo (16255) correspondiente al período 1991-2020.

y Angiosperm Phylogeny Group (APG, IV, 2016) para angiospermas. Las autoridades taxonómicas se validaron en el portal Internacional Plant Index (IPNI, 2026: <https://www.ipni.org/>), portal de Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2026: <https://tropicos.org/>), Plants of the World Online (POWO, 2026: <https://powo.science.kew.org/>) y el World Flora Online (WFO, 2026: <https://www.worldfloraonline.org/>). En cuanto al estatus de endemismo de las especies en el país se consultó Villaseñor (2016) y el Índice Internacional de Plantas (IPNI, 2026: <https://www.ipni.org/>). Para determinar si se encuentra alguna especie en riesgo de conservación, se consultó la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2026).

## Resultados

Se enlistan un total de 199 especies, 7 variedades, 3 subespecies y un híbrido natural, los cuales se agrupan en 140 géneros y 60 familias botánicas (**apéndice 1**). Del total, el grupo de los helechos y plantas afines representan el 9.1%, las gimnospermas menos del 2% y las angiospermas el 89% restante, de esta última, las eudicotiledóneas

representan el 71.9% con 151 especies (**Tabla 1**).

Las familias más diversas, que en conjunto conforman más del 50% del total de especies y el 43% de géneros corresponden a: Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Poaceae y Commelinaceae (**Tabla 2**). Respecto a la diversidad en géneros, los más diversos registrados son *Salvia* y *Quercus* con 7 cada uno, seguido de *Desmodium* y *Muhlenbergia* con 6 respectivamente y *Stevia* con 4 especies (**Tabla 3**).

El estrato herbáceo representa el mayor número de especies en el área de estudio con 159, lo que representa más del 75% del total, seguido de los arbustos con 25 especies y 18 el estrato arbóreo. En menor riqueza se encuentran los subarbustos con 4 especies, las trepadoras herbáceas con 3 y las lianas con una especie.

Se enlistan un total de 68 taxa endémicos al país, en caso contrario, 12 son reportadas en la literatura como no nativos a México (Villaseñor, 2016; IPNI, 2026; WFO, 2026). De los 209 taxa registrados en el cerro La Cruz, *Callitropsis lusitanica* (Mill.) D.P. Little (Cupressaceae) se encuentra en la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010), bajo la categoría Sujeta a protección especial (Pr). En cambio, en la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2026) se enlistan 40 especies, de

**Tabla 1.** Diversidad de los grupos taxonómicos del cerro La Cruz.

Grupo taxonómico	Familias	Géneros	Especies*	% del total de especies
Lycopodiopsida	1	1	1	0.5
Polypodiopsida	6	11	18	8.6
Pinidae	2	2	4	1.9
Magnólidas	1	1	2	1
Monocotiledónea	10	26	34	16.2
Eudicotiledónea	40	99	151	71.9
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>140</b>	<b>210</b>	<b>100</b>

\*Incluye especies con taxa infraespecíficos.

**Tabla 2.** Familias más diversas del cerro La Cruz.

Familia	No. de especies*	% del total de especies*	No. de géneros
Asteraceae	53	25	31
Fabaceae	23	11	11
Poaceae	15	7	10
Lamiaceae	9	4	3
Fagaceae	7	3	1
Commelinaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae,	6 cada una	3 cada una	11 en total
52 familias restantes	85	40	73

\*Incluye especies con taxa infraespecíficos.

**Tabla 3.** Géneros más diversos del cerro La Cruz.

Género	No. de especies*	% del total de especies*
<i>Quercus</i> , <i>Salvia</i>	7 cada uno	3.3 cada uno
<i>Desmodium</i> , <i>Muhlenbergia</i>	6 cada uno	2.8 cada uno
<i>Stevia</i>	4	1.9
<i>Ageratina</i> , <i>Bidens</i> , <i>Cosmos</i> , <i>Dalea</i> , <i>Dahlia</i> , <i>Eryngium</i> , <i>Pinus</i> , <i>Pleopeltis</i> , <i>Pseudognaphalium</i> , <i>Tagetes</i>	3 cada uno	1.4 cada uno
125 géneros restantes	150	71.4

las cuales 39 se ubican en la categoría Precaución Menor (LC) y *Phaseolus tenellus* Piper (Fabaceae) se reporta En Peligro (EN) (apéndice 1).

### Vegetación

De acuerdo con el sistema de clasificación para México por Rzedowski (2006), así como las anotaciones de los



**Figura 3.** Algunos componentes de la vegetación del cerro La Cruz. a) *Myriopteris myriophylla* (Desv.) J. Sm. (Pteridaceae). b) *Salvia patens* Cav. (Lamiaceae). c) *Mammillaria rhodantha* Link & Otto (Cactaceae). d) *Bletia* sp. (Orchidaceae).

ejemplares, recorridos dentro del área y con lo reportado por Heredia (1997) a la zona de Zinapécuaro-Ucareo, se determina un bosque mixto de pino y encino en el cerro La Cruz. Las tres especies de *Pinus* aquí registradas son dominantes en toda el área con vegetación junto a las cinco especies y un híbrido del género *Quercus*, y con co-dominancia con otras especies arbóreas y arbustivas. Se identifican zonas donde hay una dominancia de encinos sobre pinos (Figura 3a-d).

La vegetación es discontinua en el área de estudio, al interior se encuentran cultivos temporales y anuales, principalmente maíz, durazno, ciruela y pera. El dosel de la

vegetación se presenta en general poco definida, no hay un estrato arbóreo evidente ni constante o incluso ausente. En estas zonas las especies dominantes son las arbustivas o herbáceas.

El estrato arbóreo se distingue por una discontinuidad en el dosel, ya que hay especies con crecimiento mayor, como el caso de *Pinus devoniana* Lindl., entre otras especies dominantes se encuentran: *P. pringlei* Shaw, *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Ternstroemia lineata* DC., *Quercus glaucooides* M. Martens & Galeotti, *Q. crassifolia* Bonpl. y *Crataegus pubescens* (C. Presl) C. Presl. En menor abundancia se encuentra *Callitropsis lusitanica* (Mill.) D.P. Little, *P. lawsonii* Roezl ex Gordon y *Q. × dysophylla* Benth. Se pudo distinguir que los individuos de *Pinus* son usadas con fines maderables y para la obtención de resina (**Figura 4**).

Seguidamente, los arbustos componen el siguiente estrato, las especies con mayor abundancia son *Buddleja cordata* Kunth, *Cestrum thyrsoideum* Kunth, *Clinopodium macrostemum* (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze y *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck. En este estrato se distingue la dominancia de la familia Asteraceae, ya que varias especies son abundantes en zonas amplias, ahí se puede reconocer a: *Ageratina areolaris* (DC.) Gage ex B.L. Turner, *Montanoa tomentosa* Cerv., *Dahlia coccinea* Cav., *Barkleyanthus salicifolius* (Kunth) H. Rob. & Brettell y *Stevia caracasana* DC. Algunas otras con menor abundancia son: *Aldama hispida* (Kunth) E.E. Schill. & Panero, *Desmodium amplifolium* Hemsl., *D. densiflorum* Hemsl. y *Fuchsia thymifolia* Kunth. Algunas especies pueden encontrarse como subar busto o también herbáceas, que desarrollan sus ramas principales leñosas, tales como: *Salvia patens* Cav., *Penstemon roseus* (Cerv. ex Sweet) G. Don y de manera muy escasa *Pseudognaphalium roseum* (Kunth) Anderb.

El estrato más diverso son las herbáceas, se encuentran ampliamente en el sotobosque y ocupan cualquier sustrato, como suelo, roca (saxícolas) o sobre otras plantas (epífitas y trepadoras). Entre las especies terrestres están: *Salvia mexicana* L., *Muhlenbergia cenchroides* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) P.M. Peterson y *M. quadridentata* (Kunth) Trin. En menor abundancia se localizan a las especies: *Allium glandulosum* Link & Otto, *Eryngium bonplandii* F. Delaroché y *Pseudognaphalium oxyphyllum* (DC.) Kirp.; así como algunas especies de orquídeas, como *Habenaria* cf. *ibarrae* R. González, *H. cf. zamudioana* R. González., *Govenia* sp. y *Malaxis soulei* L.O. Williams. Algunas herbáceas se encontraron sobre rocas, como es el caso de *Villadia acuta* Moran & C.H. Uhl, *Peperomia campylotropa* A.W. Hill y *Pinguicula moranensis* Kunth var. *neovolcanica* Zamudio, algunos helechos como



**Figura 4.** Fisonomía de la vegetación del cerro La Cruz. Se aprecia la codominancia de *Pinus* y *Quercus*, así como el uso de sus recursos no maderables, en este caso la extracción de resina.

*Pellaea cordifolia* (Sessé & Moc.) A.R. Sm y *Woodsia mollis* (Kaulf.) J. Sm.

Se identificaron especies que crecen sobre arbustos y árboles, tales como: *Ipomoea purpurea* (L.) Roth, *Phaseolus coccineus* L. y *P. tenellus* Piper. Los helechos se encuentran también de manera epífita, como *Pleopeltis*, principalmente sobre especies de encino, se puede mencionar a *P. madrensis* (J. Sm.) A.R. Sm. & Tejero y *P. guttata* (Maxon) E.G. Andrews & Windham; algunas especies de angiospermas como *Peperomia galioides* Kunth y en mayor abundancia a *Tillandsia prodigiosa* (Lem.) Baker.

Las parásitas juegan un papel interesante en el área

de estudio, en esta categoría se encuentra a *Phoradendron galeottii* Trel. y *Cladocolea microphylla* (Kunth) Kuijt, ambas se lograron apreciar parasitando a *Quercus* spp. y a otros árboles. Su abundancia en el cerro de La Cruz es esporádica, sin embargo, se pueden encontrar manchones afectando varios individuos. Sobre la hojarasca del suelo se localiza a *Conopholis alpina* Liebm. de manera muy escasa y poco llamativa, se encuentra parasitando raíces de encino.

## Discusión

El grupo de las plantas con flor representan la mayor diversidad de plantas vasculares en el planeta, en México representa el 94.9% del total (Villaseñor, 2016), tal y como se representa en esta área de estudio, con más del 85%. Respecto a la diversidad de las familias, las tres con mayor número de especies son: Asteraceae, Fabaceae y Poaceae, lo cual coincide con lo reportado por Villaseñor (2004; 2018). Esta diversidad también es concordante con varios trabajos florísticos del estado de Michoacán, como en el caso de la flora del cerro Tariakeri (Hernández-Valdovinos, 2022), con el cerro Comburinda (Sales-Figueroa y Silva-Sáenz, 2022) y lo reportado en el cerro El águila (Cornejo-Tenorio *et al.*, 2013). En el área de estudio, Asteraceae se encuentra en primer lugar tanto en el número de géneros y especies, con el 21 y 24%, respectivamente. De acuerdo con Villaseñor (2018), para México hay 3,113 especies, de las cuales 1,988 son endémicas al territorio, mientras que en el cerro La Cruz se enlistan 23 especies endémicas, lo que a su vez representa el 43% de lo reportado en el área de la familia. Para el estado de Michoacán se registran 837 especies, correspondiendo al 6.3% la diversidad de la familia en el cerro La Cruz.

Seguidamente, Fabaceae es la tercera familia más diversa a nivel mundial con 19,500 especies y 770 géneros ubicándose después de Asteraceae y Orchidaceae (LPWG, 2017), en el país se encuentra en segundo lugar y se localiza en la mayoría de los tipos de vegetación con una diversidad de 1,903 especies en 155 géneros (Villaseñor, 2016). La tercera familia más diversa en el área de estudio es Poaceae con 10 géneros y 15 taxa; en México se constituye como una de las más diversas dentro de las monocotiledóneas, solo después de Orchidaceae y se estima una diversidad de 1,047 especies (Sánchez-Ken, 2019; Villaseñor, *op. cit.*), lo cual corresponde al 1.4%.

Los géneros con mayor número de especies en el área de estudio coinciden con los reportados en México por Villaseñor (2004), de los cuales dicho autor menciona, dentro de los más diversos, a *Salvia* como el más diverso

del país y *Quercus* dentro de los cinco más diversos; ambos géneros ocupando las primeras posiciones en el cerro La Cruz. Del primero se reportan 328 especies para el país y en el estado de Michoacán 66, lo que representa el 10.6% encontrado en el cerro La Cruz (Lara-Cabrera *et al.*, 2016; Villaseñor, *op. cit.*; Flores-Tolentino *et al.*, 2020). Mientras que *Quercus* es importante en el país por la diversidad de sus especies y su abundancia, formando asociaciones con otras especies y entre ellas, estableciendo tipos de vegetación únicos y de grandes extensiones (Rzedowski, 2006), en México se estiman 192 especies posicionando al género en el quinto lugar (Villaseñor, 2016). El género *Desmodium* está representado con 6 taxa en el cerro La Cruz, en México se enlista con 118 ubicándolo en décimo noveno (Villaseñor, *op. cit.*). Por último, *Muhlenbergia*, también con la segunda posición en este estudio, de acuerdo con Sánchez-Ken (2019) ocupa el primer lugar de los géneros de la familia Poaceae en el país. En Michoacán este género tiene el noveno lugar con 37 especies (Zamudio y Carranza 2019), 47 (Villaseñor, 2016) o hasta 53 especies (Sánchez-Ken, *op. cit.*) siendo las del cerro La Cruz entre 16.2, 12.7 o 11.3% respecto del total de la entidad, de acuerdo con estos tres reportes.

De acuerdo con la forma de crecimiento, la mayor diversidad corresponde a las herbáceas, un resultado esperado para el área, ya que encaja con lo mencionado por Villaseñor (2004) y Villaseñor y Ortiz (2014), quienes indican que las hierbas (anuales y perenes) conforman el mayor número de géneros y especies en el país, seguido de los arbustos y árboles. Para el estado de Michoacán este dato también coincide con la diversidad reportada en los resultados de los cerros Tariakeri (Hernández-Valdovinos, 2022), Comburinda (Sales-Figueroa y Silva-Sáenz, 2022) y El Águila (Cornejo-Tenorio *et al.*, 2013)

En cuanto a las especies endémicas al país, en el área de estudio corresponden a 68 taxa, lo que a su vez representa el 32% del total, mientras que el 5.7% se reportan como invasoras en México, los pastos destacan con más especies en esta categoría. Por otro lado, *Callitropsis lusitanica* es la única especie que se encuentra enlistada en la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMANART, 2010); sin embargo, Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) mencionan que *C. lusitanica* presenta una distribución amplia, encontrándose en países de Centroamérica como Guatemala, en algunas zonas no presenta problemas de distribución y frecuentemente es usada en programas de reforestación. En la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2026) la categoría En Peligro representa una de las categorías más críticas y se puede definir de acuerdo con los criterios de reducción de tamaño poblacional, distribución geográfica limitada, tamaño de población y probabilidad de extinción

(UICN, 2012). En esta categoría se encuentra *Phaseolus tenellus*, esta especie posee una distribución amplia en el país, reportándose en Aguascalientes, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Zacatecas. En caso contrario, en la categoría de Precaución Menor se enlistan las especies que han sido evaluadas, sin embargo, no presentan un riesgo crítico de supervivencia, estas especies se mencionan las especies *Avena fatua* L. (avena silvestre) y *Pyrus communis* L. (pera), las cuales son especies no nativas en México y son usadas ampliamente por el ser humano (Dirección General de Repositorios Universitarios, 2026; Villaseñor, 2016).

## Conclusiones

El presente trabajo aporta conocimiento florístico de las plantas vasculares del cerro La Cruz localizado en el municipio de Zinapécuaro, en el cual dominan las plantas con flor con más del 85% del total, a su vez la familia Asteraceae es la más diversa y *Quercus* es el género mejor representado junto a *Salvia*. La vegetación dominante en el cerro La Cruz es el bosque de pino-encino encontrándose dentro del área zonas donde dominan los encinos sobre otros géneros. Se reportan 68 especies que son endémicas al país, lo que representa el 32%. Hay una especie reportada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y 40 en la Lista Roja de Especies Amenazadas, de las cuales 39 están en Preocupación Menor.

El cerro La Cruz muestra una perturbación antropogénica evidente y se logra apreciar por la cercanía a la localidad de Ucareo, ya que en la parte sur del área se encuentran viviendas. A pesar de que La Cruz posee 225 hectáreas de superficie, el 19% corresponde a cultivos de maíz, pera, ciruela y durazno. Otro rasgo para destacar es la presencia de diez plantas no nativas al país, que en su mayoría son especies cultivables y aprovechadas por el humano, como es el caso de la pera (*Pyrus communis* L.) y el haba (*Vicia faba* L.).

El conocimiento de la biodiversidad, particularmente la flora de cualquier área geográfica es una parte básica y esencial para iniciar otro tipo de actividades científicas en varios campos de estudio, tales como, comportamientos individuales de especies, interacción planta-animal, procesos ecológicos y evolutivos, o para la acción de planes de restauración forestal. También en temas sobre la divulgación científica en énfasis de la conservación, uso de recursos no maderables y la educación ambiental.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Ecología A.C. por permitir el cotejo de los ejemplares, así como el envío de base de datos del área, y también al herbario EBUM de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el uso de su colección para el cotejo. Por el valioso apoyo a los especialistas: Xavier Madrigal Sánchez en los encinos, José Luis Villaseñor Ríos en las asteráceas, José Luis Vigosa Mercado en los pastos, Rolando Jiménez Machorro y Julián Duarte en las orquídeas y Brenda Judith Bedolla García en las salvias. También un cordial agradecimiento a los revisores que brindaron observaciones para mejorar el presente trabajo. Y no menos importante, a las personas involucradas directa e indirectamente, y que aportaron su esfuerzo en colectas, y su entusiasmo para la publicación.

## Referencias

- Aguilar SG, Aguilar SD (2023). Uso de la tierra en las comarcas del municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México. *Revista Geográfica de América Central* 70 (1): 243-272. doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.70-1.9>
- Angiosperm Phylogeny Group. APG IV (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 181: 1-20.
- Arévalo PGJ (2015). Características de la oferta de turismo de salud por medio del aprovechamiento de aguas termales en Ciudad Hidalgo y Zinapécuaro, Michoacán. *Revista Turismo y Desarrollo local* 8(19): 1-17.
- Blanco-García A, Carbajal-Navarro AL, Loera-Padilla FJ, López-Toledo L, MacGregor-Fors I (2019). Arbolado urbano en ciudades michoacanas. Apéndice 29. Especies de flora registradas en seis diferentes ciudades de Michoacán. En: *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2, vol. II*. CONABIO, México. Pp. 279-286.
- Braun-Blanquet J. 1950. Sociología vegetal: estudio de las comunidades. *McGraw-Hill. Buenos Aires, Argentina*. Pp 444
- Calderón de Rzedowski G, Rzedowski J (2005). Flora fanerogámica del Valle de México. *Instituto de Ecología A.C., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Pp 1406.
- Christenhusz M, Reveal J, Farjon A, Gardner MF, Mill RR, Chase MW, (2011). A new classification and li-near sequence of extant gymnosperms: *Phytotaxa* 19: 55-70. doi: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.19.1.3>
- Contreras-Bailón R (2018). Inventario florístico del Área Natural Protegida Alberca de los Espinos, municipio de Jiménez, Michoacán.

- Tesis de licenciatura en Biología, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Pp. 106.
- Contreras-León J, Silva-Sáenz P (2020). Inventario florístico del cráter de la Alberca de Teremendo, Michoacán, México. *Acta Botanica Mexicana* 127: 1-21. doi: 10.21829/abm127.2020.1561
- Cornejo-Tenorio G, Ibarra-Manríquez G (2011). Diversidad y distribución del género *Salvia* (Lamiaceae) en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(4): 1279-1296. doi: <https://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.668>
- Cornejo-Tenorio G, Sánchez-García E, Flores-Tolentino M, Santana-Michel FJ, Ibarra-Manríquez G (2013). Flora y vegetación del cerro El Águila, Michoacán, México. *Botanical Sciences* 91(2): 155-180
- Cué-Bár EM, Villaseñor JL, Arredondo-Amezcu L, Cornejo-Tenorio G, Ibarra-Manríquez G (2006). La flora arbórea de Michoacán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 78: 47-81.
- Dirección General de Repositorios Universitarios (2025). Portal de Datos Abiertos UNAM, Colecciones Universitarias Universidad Nacional Autónoma de México. <https://datosabiertos.unam.mx/>, (Consultado el 9 de febrero de 2026).
- Flores-Tolentino M, Lara-Cabrera SI, Villaseñor JL (2020). Distribution, richness and conservation of the genus *Salvia* (Lamiaceae) in the State of Michoacán, Mexico: *Biodiversity Data Journal*, 8 1-24. doi: <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e56827>
- García E (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). *Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México*. Pp. 200. ISBN 9703210104.
- Gernandt DS, Pérez-de la Rosa JA (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 126-133. doi: 10.7550/rmb.32195
- Guillén ADL, (2016). Complejo turístico-artesanal Ucareo, Michoacán. Tesis de licenciatura en Arquitecto. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Arquitectura*. Pp. 95.
- Healan DM, Hernández C (2023). Ceramic sequence, chronology and cultural dynamics of the Ucareo-Zinapécuaro, Michoacán obsidian source area. *Ancient Mesoamerica*, 34: 47–67. doi:10.1017/S0956536121000092
- Heredia AG (1997). Evaluación de la región Zinapécuaro-Ucareo, municipio de Zinapécuaro, con la aplicación de un sistema de información geográfica. Tesis de licenciatura en Biología, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*.
- Hernández-Valdovinos KC (2022). Plantas vasculares de la parte sur y suroeste del cerro Tariakeri, localidad de Ihuatzio, Tzintzuntzan, Michoacán: Tesis de licenciatura en Biología, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Pp. 70.
- iNaturalis MX. 2026. Disponible en: <https://www.inaturalist.org/> (Consultado el día 16 de febrero de 2026).
- INECOL (2025). Flora del bajo y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología A.C. <https://libros.inecol.mx/index.php/FB/catalog/series/ordinarios>, (Consultado el 16 de febrero de 2026).
- INEGI (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Zinapécuaro, Michoacán de Ocampo. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/16/16110.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16110.pdf), (Consultado el 16 de febrero de 2026).
- INEGI (2021). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional). Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://geoportail.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html>, (Consultado el 8 de febrero de 2026).
- INEGI (2023). Censo de Población y Vivienda (2020). Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020: Michoacán de Ocampo. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México. Pp. 146.
- IPNI (2026). International Plant Names Index. Published on the Internet. The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium. <https://www.ipni.org>, (Consultado el 6 de febrero de 2026).
- IUCN (2026). The IUCN Red List of Threatened Species. versión 2025-1. <https://www.iucnredlist.org>, (Consultado el 16 de febrero de 2026).
- Lara-Cabrera SI, Bedolla-García B, Zamudio S, Domínguez-Vázquez G (2016). Diversidad de Lamiaceae en el estado de Michoacán, México. *Acta Botanica Mexicana* 116: 107-149.
- Lot A, Chiang F (compiladores) (1986). Manual de herbario. *Consejo Nacional de la Flora de México A.C.*, México D.F., México. Pp. 142.
- LPWG (The Legume Phylogeny Working Group) (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: *TAXON* 66, 44-77. doi: 10.12705/661.3
- Madrigal-Guridi X (2019). Vegetación acuática. Apéndice 27. Listado de especies de hidrófitas en Michoacán. En: *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2, vol. II*. CONABIO, México. Pp. 249-257.
- McVaugh R (1984). Compositae. Flora Novo-Galiciana: A Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico. Volumen 12. *University of Michigan Press. USA. Pp. 1157. ISBN 9780472048120*.
- McVaugh R (1985). Orchidaceae. Flora Novo-Galiciana: A Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico. Volumen 16. *University of Michigan Press, USA. Pp. 393. ISBN 9780472048168*.
- McVaugh R (1987). Leguminosae. Flora Novo-Galiciana: A Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico. Volumen 5. *University of Michigan Press. USA. Pp. 786. ISBN 9780472049684*.
- Mickel JT, Smith AR (2004). The Pteridophytes of Mexico. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 88. *The New York Botanical Garden Press, Nueva York. Pp. 1054. ISBN 9780893274887*.
- Pimienta-Ramírez L, Granados EML, Espinosa SG (2025). Cambios de

cobertura/uso del suelo y fuerzas impulsoras a lo largo de dos décadas en Zinapécuaro, Michoacán, México. *Revista Cartográfica* 110: 99-120. doi: <https://doi.org/10.35424/rcarto.i110.5833>

POWO (2026). Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <https://powo.science.kew.org/> (Consultado el 10 de febrero de 2026).

Pteridophyte Phylogeny Group. PPG I (2016). A community derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution* 54(6): 563-603. doi: <https://doi.org/10.1111/jse.12229>

Ramírez-Ramos F, Cornejo-Tenorio G, Ibarra-Manríquez G (2023) Flora y vegetación del Área Natural Protegida La Alberca, municipio Tacámbaro, Michoacán, México. *Acta Botanica Mexicana* 130: 1-31 doi: <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2209>

Rojas MJ, Retana NA (1995). Flora y vegetación acuáticas del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botanica Mexicana* 31: 1-17.

Rzedowski J (2006). Vegetación de México. 1ra edición digital. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México*, D.F., México. Pp. 505.

Rzedowski J (2015). Algunas reflexiones en torno al trabajo florístico en México. *Botanical Sciences* 93 (1): 1-2. doi: 10.17129/botsci.530

Sales-Figueroa M, Silva-Sáenz P (2022). Flora y vegetación del Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVC): Cerro de Comburinda, municipio de Tingambato, Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* 86: 6-32. doi: <https://doi.org/10.35830/cn.vi86.653>

Sánchez-González A, González ML (2007). Técnicas de recolecta de plantas y herborización. En: Contreras, RA, Goyenechea I, Cuevas CC, Iturbe U (eds.). *La Sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad. Ciencia al Día 5. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. México, D.F., México. Pp. 177-193.

Sánchez-Ken JG (2019). Riqueza de especies, clasificación y listado de gramíneas (Poaceae) de México. *Acta Botanica Mexicana* 126: doi: <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1379>

SEMARNAT (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010#gsc.tab=0)

Silva-Sáenz P (2019a). Helechos y plantas afines (Pteridophyta). Apéndice 22. Listado de especies de helechos y plantas afines en

Michoacán. En: *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2, vol. II*. CONABIO, México. Pp. 193-201.

Silva-Sáenz P (2019b). Gimnospermas: ahuehuetes, pinos, cedros y cícadas. Apéndice 24. Listado de especies de gimnospermas nativas, Clasificadas de acuerdo a Brummitt (1992). En: *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2, vol. II*. CONABIO, México. Pp. 203-223.

SMN (2026). Estadística Climatológica. *Sistema Meteorológico Nacional. Información Estadística Climatológica*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>, (Consultado el 9 de febrero de 2026).

Thiers B (2019). Continuously updated. Index Herbariorum, a global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Gardens Virtual Herbarium. New York, USA. <http://sweetgum.nybg.org/ih/> (Consultado el 16 de febrero de 2026).

Tropicos.org. (2026). Missouri Botanical Garden. <https://tropicos.org> (Consultado el 6 de febrero de 2026).

UICN. (2012). Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. 34pp. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2001-001-2nd-Es.pdf> (Consultado el 16 de febrero de 2026).

Villaseñor JL (2004). Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Bol.Soc.Méx.* 75: 105-135

Villaseñor JL (2015). ¿La crisis de la biodiversidad es la crisis de la taxonomía? *Botanical Sciences* 93 (1): 3-14. doi: 10.17129/botsci.456

Villaseñor JL (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 519-902. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

Villaseñor JL (2018). Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences* 96(2): 332-358. doi: <https://dx.doi.org/10.17129/botsci.1872>

Villaseñor JL, Ortiz E (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Supl.* 85: 134-142. doi: 10.7550/rmb.31987

WFO (2026). World Flora Online. Publicado en internet: <https://www.worldfloraonline.org> (consultado el 9 de febrero de 2026).

Zamudio S, Carranza-González E (2019). Angiospermas. Apéndice 26. Angiospermas presentes en el estado. En: *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2, vol. II*. CONABIO, México. Pp. 229-238.

## Apéndice 1. Listado florístico del cerro La Cruz, Ucareo, municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México

Se señala con \* las especies no nativas en el país. Con <sup>1</sup> las especies depositadas en el herbario MEXU de acuerdo con Datos Abiertos UNAM y <sup>2</sup> las especies depositadas en el herbario IEB del Instituto de Ecología. Entre corchetes se indica la categoría: Sujeta a Protección Especial (Pr) de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010; Precaución Menor (LC) y En Peligro (EN) de acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2026). **Forma biológica (Form biol):** Árb: Árbol; Arbu: Arbusto; Herb: Herbácea; Sarbu: Subarbusto; Lian: Liana; Trep: Trepadora herbácea. **Endémica (End):** se señala con × si lo es y – en caso contrario. **Colector (Col):** se indica la abreviación del colector seguido del número de recolecta, donde: Andrea Iovanna Raya Hernández (AIRH); Antonieta Gina Figueroa Camacho (AGFC); Armando Canché Delgado (ACD); Berenice Marisela Villegas Sánchez (BMVS); César Nahum Maldonado Cortés (CNMC); Diego Arceo Muratalla (DAM); Esmeralda Arce Huerta (EAH); Gonzalo Contreras Negrete (GCN); Horalia Díaz Barriga (HDB); Linda Trejo Morales (LTM); Luis Manuel Avilés Ramos (LMAR); María Claudia Álvarez Santiz (MCAS); María Guadalupe Soto Ochoa (MGSO); María Semiramis Gutiérrez Núñez (MSGN); Marisol Fragoso Maldonado (MGM); Marisol Pineda Cortés (MPC); Melissa Adriana Mendoza Vázquez (MAMV); Mónica Martínez Montes (MMM); Patricia Silva Sáenz (PSS); Sandra Luz Silva Solís (SLSS); Sergio Zamudio (SZ); Silvia Ecaterina García Jaín (SEGJ); Tania Janeth Pasaye Suazo (TJPS); Zareth Sarai Tinoco Murillo (ZSTM); en el caso de los números sin abreviación del recolector corresponde a Erandeni Durán Mendoza.

Grupo taxonómico	Form biol	End	Col	Abundancia
<b>LYCOPODIOPSIDA</b>				
<b>Selaginellaceae</b>				
<i>Selaginella pallescens</i> (C. Presl) Spring	Herb	-	PSS2360	Escasa
<b>POLYPODIOPSIDA</b>				
<b>Aspleniaceae</b>				
<i>Asplenium monanthes</i> L.	Herb	-	3; 59	Poco abundante
<i>Asplenium hallbergii</i> Mickel & Beitel	Herb	-	AAH4	Escasa
<b>Dennstaedtiaceae</b>				
<i>Pteridium aquilinum</i> subsp. <i>feei</i> (W.Schaffn. ex Fée) J.A.Thomson, Mickel & Mehltr.	Herb	-	PSS2372	Poco abundante
<b>Dryopteridaceae</b>				
<i>Dryopteris cinnamomea</i> (Cav.) C. Chr.	Herb	-	9; PSS2379	Abundante
<i>Elaphoglossum petiolatum</i> (Sw.) Urb.	Herb	-	58; 64	Muy abundante
<i>Elaphoglossum potosianum</i> Christ	Herb	×	SZ4569	Abundante
<b>Polypodiaceae</b>				
<i>Pechuma alfredii</i> var. <i>cupreolepis</i> (A.M. Evans) A.R. Sm.	Herb	-	71	Muy abundante
<i>Pleopeltis guttata</i> (Maxon) E.G.Andrews & Windham	Herb	×	PSS2390	Abundante
<i>Pleopeltis madrensis</i> (J. Sm.) A.R. Sm. & Tejero	Herb	-	2; 32; PSS2365	Abundante
<i>Pleopeltis polylepis</i> (Roem. ex Kunze) T. Moore	Herb	-	12	Poco abundante
<i>Polypodium fraternum</i> Schldl. & Cham.	Herb	-	LMAR11; 94	Escasa
<b>Pteridaceae</b>				
<i>Adiantum andicola</i> Liebm.	Herb	-	48; 58b	Muy abundante
<i>Adiantum poiretii</i> Wikstr.	Herb	-	PSS2385	Escasa
<i>Gaga hirsuta</i> (Link) Fay-Wei Li & Windham	Herb	-	PSS2352; PSS2381	Muy escasa
<i>Gaga kaulfussii</i> (Kunze) Fay-Wei Li & Windham	Herb	-	PSS2398	Abundante
<i>Pellaea cordifolia</i> (Sessé & Moc.) A.R. Sm	Herb	-	PSS2362	Muy escasa

<i>Pellaea ternifolia</i> (Cav.) Link	Herb	-	PSS2355	Escasa
<b>Woodsiaceae</b>				
<i>Woodsia mollis</i> (Kaulf.) J. Sm.	Herb	-	PSS2361	Muy escasa
<b>PINIDAE</b>				
<b>Cupressaceae</b>				
<i>Callitropsis lusitanica</i> (Mill.) D.P. Little [Pr; LC]	Árb	-	97	Poco abundante
<b>Pinaceae</b>				
<i>Pinus devoniana</i> Lindl. [LC]	Árb	-	112; 140	Abundante
<i>Pinus lawsonii</i> Roehl ex Gordon [LC]	Árb	×	79; 84	Escasa
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham. [LC]	Árb	-	67; 141	Abundante
<b>MAGNOLIDAS</b>				
<b>Piperaceae</b>				
<i>Peperomia campyloptropa</i> A.W. Hill	Herb	-	90	Muy abundante
<i>Peperomia galioides</i> Kunth	Herb	-	101	Escasa
<b>MONOCOTILEDÓNEAS</b>				
<b>Amaryllidaceae</b>				
<i>Allium glandulosum</i> Link & Otto	Herb	-	PSS2392	Muy escasa
<b>Asparagaceae</b>				
<i>Echeandia mexicana</i> Cruden	Herb	×	MC12	Abundante
<b>Bromeliaceae</b>				
<i>Tillandsia prodigiosa</i> (Lem.) Baker	Herb	×	LMAR10	Abundante
<b>Commelinaceae</b>				
<i>Commelina dianthifolia</i> Delile	Herb	-	15B; 91	Abundante
<i>Commelina tuberosa</i> L.	Herb	-	10; PSS2345	Poco abundante
<i>Gibasis pulchella</i> (Kunth) Raf.	Herb	-	DAM11; 80	Escasa
<i>Tinantia erecta</i> (Jacq.) Fenzl	Herb	-	PSS2396	Escasa
<i>Tripogandra amplexans</i> Handlous	Herb	-	PSS2348	Escasa
<i>Tripogandra disgrega</i> (Kunth) Woodson	Herb	-	MAMV21	Abundante
<b>Cyperaceae</b>				
<i>Cyperus fendlerianus</i> Boeckeler	Herb	-	123	Poco abundante
<b>Dioscoreaceae</b>				
<i>Dioscorea multinervis</i> Benth. <sup>122</sup>	Herb	×	SZ4550	Escasa
<b>Iridaceae</b>				
<i>Sisyrinchium konzattii</i> Calderón & Rzed.	Herb	×	68	Abundante
<i>Tigridia pavonia</i> (L. f.) DC.	Herb	-	100	Abundante
<b>Liliaceae</b>				
<i>Calochortus purpureus</i> (Kunth) Baker <sup>122</sup> [LC]	Herb	×	SZ4571	Escasa
<b>Orchidaceae</b>				
<i>Govenia</i> sp.	Herb	-	PSS2374	Abundante
<i>Habenaria</i> cf. <i>ibarrae</i> R. González	Herb	×	PSS2347	Muy escasa
<i>Habenaria</i> cf. <i>zamudioana</i> R. González	Herb	×	116	Escasa
<i>Malaxis macrostachya</i> (Lex.) Kuntze	Herb	-	115	Escasa
<i>Svenkoeltzia congestiflora</i> (L.O. Williams) Burns-Bal. <sup>2</sup>	Herb	×	SZ3833	Escasa

<b>Poaceae</b>				
<i>Andropogon gerardii</i> Vitman <sup>2</sup>	Herb	-	SZ4556	Escasa
<i>Avena fatua</i> L.* [LC]	Herb	-	119	Poco abundante
<i>Bromus catharticus</i> Vahl*	Herb	-	118	Poco abundante
<i>Digitaria curtigluma</i> Hitchc. [LC]	Herb	-	126	Abundante
<i>Festuca myuros</i> L.* <sup>2</sup>	Herb	-	SZ4558	Abundante
<i>Muhlenbergia cenchroides</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) P.M. Peterson	Herb	-	120	Muy abundante
<i>Muhlenbergia gigantea</i> (E. Fourn.) Hitchc. <sup>2</sup>	Herb	×	SZ7064	Abundante
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc.	Herb	-	117	Abundante
<i>Muhlenbergia quadridentata</i> (Kunth) Trin.	Herb	-	121	Muy abundante
<i>Muhlenbergia rigida</i> (Kunth) Kunth <sup>2</sup>	Herb	-	SZ4555	Abundante
<i>Muhlenbergia</i> sp.	Herb	-	38	Escasa
<i>Nassella mucronata</i> (Kunth) R.W. Pohl	Herb	-	110b; 122	Poco abundante
<i>Piptochaetium virescens</i> (Kunth) Parodi <sup>1'2</sup>	Herb	-	SZ7065	Escasa
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br. [LC]	Herb	-	PSS2394	Escasa
<i>Trachypogon spicatus</i> (L.f.) Kuntze <sup>2</sup>	Herb	-	SZ7066	Escasa
<b>EUDICOTILEDÓNEAS</b>				
<b>Apiaceae</b>				
<i>Eryngium beecheyanum</i> Hook. f. & Arn.	Herb	×	MSGN15	Abundante
<i>Eryngium bonplandii</i> F. Delaroché	Herb	×	133	Muy escasa
<i>Eryngium carlinae</i> F. Delaroché	Herb	-	PSS2395	Escasa
<i>Tauschia nudicaulis</i> Schldtl.	Herb	-	109; PSS2342	Poco abundante
<b>Apocynaceae</b>				
<i>Asclepias ovata</i> M. Martens & Galeotti	Herb	×	PSS2383	Muy escasa
<i>Gonolobus uniflorus</i> Kunth	Lian	-	106	Escasa
<b>Asteraceae</b>				
<i>Acourtia turbinata</i> (La Llave & Lex.) Reveal & R.M. King <sup>2</sup>	Herb	×	SZ7074	Escasa
<i>Ageratina areolaris</i> (DC.) Gage ex B.L. Turner [LC]	Arbu	-	125; PSS2363	Abundante
<i>Ageratina glabrata</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob. [LC]	Arbu	×	25	Poco abundante
<i>Ageratina muelleri</i> (Sch. Bip. ex Klatt) R.M. King & H. Rob. <sup>1'2</sup>	Herb	-	SZ7067	Escasa
<i>Ageratum corymbosum</i> Zuccagni ex Pers.	Arbu	-	PSS2351	Escasa
<i>Aldama dentata</i> La Llave	Herb	-	MPC6	Abundante
<i>Aldama hispida</i> (Kunth) E.E. Schill. & Panero	Arbu	×	14	Poco abundante
<i>Archibaccharis serratifolia</i> (Kunth) S.F. Blake <sup>1'2</sup>	Herb	-	SZ7078	Escasa
<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth [LC]	Arbu	-	54	Abundante
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell [LC]	Arbu	-	41	Abundante
<i>Brickellia cavanillesii</i> (Cass.) A. Gray <sup>2</sup>	Herb	×	SZ7073	Abundante
<i>Brickellia pedunculosa</i> (DC.) Harc. & Beaman	Arbu	×	25b	Escasa
<i>Bidens bigelovii</i> A. Gray	Herb	-	PSS2339	Muy escasa
<i>Bidens pilosa</i> L. <sup>2</sup>	Herb	-	SZ4560	Abundante
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	Herb	-	124	Escasa
<i>Carphochaete grahamii</i> A. Gray	Arbu	×	30	Abundante

<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	Herb	-	4; PSS2408	Abundante
<i>Cosmos scabiosoides</i> Kunth	Herb	×	9ZSTM; MPC14; PSS2370	Muy abundante
<i>Cosmos schaffneri</i> Sherff	Herb	×	MGSO6	Escasa
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Arbu	-	ACD14	Abundante
<i>Dahlia neglecta</i> Saar	Arbu	×	PSS2349	Escasa
<i>Dahlia rudis</i> P.D.Sørensen	Herb	×	89	Escasa
<i>Erigeron delphinifolius</i> Willd. <sup>2</sup>	Herb	-	SZ4567	Escasa
<i>Heliopsis procumbens</i> Hemsl.	Herb	×	PSS2376b	Escasa
<i>Hieracium abscissum</i> Less.	Herb	-	33	Poco abundante
<i>Iostephane heterophylla</i> (Cav.) Benth.	Herb	×	MMM14; BMVS15	Escasa
<i>Laennecia confusa</i> (Cronquist) G.L.Nesom	Herb	-	PSS2391	Escasa
<i>Laennecia gnaphalioides</i> (Kunth) Cass. <sup>1,2</sup>	Herb	-	HBD4573	Escasa
<i>Lagascea helianthifolia</i> Kunth <sup>1,2</sup>	Herb	-	SZ7071	Escasa
<i>Lasianthaea aurea</i> (D. Don) K.M. Becker	Herb	×	ACD1	Escasa
<i>Montanoa tomentosa</i> Cerv. [LC]	Arbu	-	ZSTM25	Abundante
<i>Melampodium montanum</i> Benth.	Herb	-	AIRH4; GC10	Muy abundante
<i>Pinaropappus roseus</i> (Less.) Less.	Herb	-	45	Escasa
<i>Psacalium peltatum</i> (Kunth) Cass. var. <i>peltatum</i>	Herb	×	PSS2382	Abundante
<i>Psacalium sinuatum</i> (Cerv.) H. Rob. & Brettell <sup>1,2</sup>	Herb	×	SZ4566	Escasa
<i>Pseudognaphalium brachypterum</i> (DC.) Anderb.	Herb	-	6	Abundante
<i>Pseudognaphalium oxyphyllum</i> (DC.) Kirp.	Herb	-	PSS2382b	Muy escasa
<i>Pseudognaphalium roseum</i> (Kunth) Anderb.	Sarbu	-	PSS2413	Muy escasa
<i>Roldana michoacana</i> (B.L. Rob.) H. Rob. & Brettell <sup>1,2</sup>	Herb	×	SZ7079	Abundante
<i>Rumfordia floribunda</i> DC. [LC]	Herb	×	22	Abundante
<i>Sabazia multiradiata</i> (Seaton) Longpre	Herb	×	SGJ18	Escasa
<i>Senecio madagascariensis</i> Poir. *	Sarbu	-	PSS2375	Escasa
<i>Senecio stoechadiformis</i> DC.	Herb	×	20	Abundante
<i>Sonchus oleraceus</i> L.*	Herb	-	44	Abundante
<i>Stevia caracasana</i> DC.	Arbu	-	7	Muy abundante
<i>Stevia lucida</i> Lag.	Herb	-	20; PSS2357	Abundante
<i>Stevia micradenia</i> B.L. Rob.	Herb	×	MPC8	Abundante
<i>Stevia serrata</i> Cav. var. <i>serrata</i>	Herb	-	CNMC3; MSGN5	Abundante
<i>Tagetes lucida</i> Cav.	Herb	-	6; PSS2368	Poco abundante
<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	Herb	×	11; 15	Abundante
<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	Herb	-	PSS2400	Abundante
<i>Verbesina angustifolia</i> (Benth.) S.F.Blake	Arbu	×	128	Abundante
<i>Verbesina klattii</i> B.L. Rob. & Greenm. [LC]	Arbu	×	21	Abundante
<b>Begoniaceae</b>				
<i>Begonia gracilis</i> Kunth	Herb	-	85; PSS2353	Abundante
<b>Boraginaceae</b>				
<i>Lithospermum trinervium</i> (Lehm.) J.I. Cohen	Herb	×	PSS2387	Muy escasa
<b>Brassicaceae</b>				

<i>Eruca sativa</i> Mill. *	Herb	-	50	Poco abundante
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.*	Herb	-	PSS2397	Escasa
<b>Cactaceae</b>				
<i>Disocactus speciosus</i> (Cav.) Barthlott <sup>2</sup> [LC]	Herb	-	SZ3834	Abundante
<i>Mammillaria rhodantha</i> Link & Otto <sup>1</sup>	Herb	×	SZs/n	Escasa
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck [LC]	Arbu	×	66b	Abundante
<b>Campanulaceae</b>				
<i>Lobelia gruina</i> Cav. <sup>12</sup>	Herb	×	SZ4562	Escasa
<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	Herb	-	19	Poco abundante
<b>Caprifoliaceae</b>				
<i>Valeriana urticifolia</i> Kunth	Herb	-	LTM16; PSS2369	Poco abundante
<b>Caryophyllaceae</b>				
<i>Silene laciniata</i> Cav.	Herb	-	PSS2350	Abundante
<i>Silene gallica</i> L.*	Herb	-	9	Escasa
<b>Cistaceae</b>				
<i>Helianthemum glomeratum</i> (Lag.) Lag.	Herb	-	26	Escasa
<b>Clethraceae</b>				
<i>Clethra mexicana</i> DC. [LC]	Árb	-	31	Abundante
<b>Convolvulaceae</b>				
<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	Trep	-	MFM16; 103; 111	Escasa
<b>Crassulaceae</b>				
<i>Villadia acuta</i> Moran & C.H. Uhl	Herb	×	PSS2379b	Escasa
<b>Curcubitaceae</b>				
<i>Echinopepon racemosus</i> (Steud.) C. Jeffrey	Herb	-	15	Poco abundante
<b>Ericaceae</b>				
<i>Arbutus arizonica</i> (A. Gray) Sarg. <sup>12</sup> [LC]	Árb	-	SZ3830	Escasa
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth [LC]	Árb	-	16; 52	Abundante
<b>Euphorbiaceae</b>				
<i>Euphorbia furcillata</i> Kunth	Herb	-	113	Abundante
<b>Fabaceae</b>				
<i>Astragalus guatemalensis</i> var. <i>brevidentatus</i> (Hemsl.) Barneby	Herb	-	PSS2402	Escasa
<i>Astragalus lyonnetii</i> Barneby	Herb	×	MPC1	Abundante
<i>Calliandra grandiflora</i> (L'Hér.) Benth.	Arbu	-	MFM1; 75	Abundante
<i>Cologania biloba</i> (Lindl.) G. Nicholson	Herb	-	PSS2371	Muy escasa
<i>Cologania broussonetii</i> (Balb.) DC.	Herb	-	MCAS8; 96	Escasa
<i>Crotalaria rotundifolia</i> J.F. Gmel. [LC]	Herb	-	PSS2356	Muy escasa
<i>Crotalaria rzedowskii</i> J. Espinosa	Herb	×	87	Abundante
<i>Dalea lutea</i> (Cav.) Willd. var. <i>lutea</i> [LC]	Herb	-	24	Abundante
<i>Dalea polystachya</i> (Sessé & Moc.) Barneby <sup>12</sup>	Herb	×	SZ7070	Escasa
<i>Dalea thouinii</i> Schrank	Herb	×	PSS2407	Muy escasa
<i>Desmodium amplifolium</i> Hemsl. [LC]	Arbu	-	110	Escasa
<i>Desmodium densiflorum</i> Hemsl. [LC]	Arbu	×	MCAS13	Poco abundante
<i>Desmodium orbiculare</i> Schltldl. [LC]	Herb	-	88	Abundante

<i>Desmodium retinens</i> Schldtl.	Herb	-	EAH16	Escasa
<i>Desmodium molliculum</i> (Kunth) DC.	Herb	-	PSS2373	Escasa
<i>Desmodium uncinatum</i> (Jacq.) DC.	Herb	-	PSS2409	Abundante
<i>Lotus repens</i> (G. Don) Sessé & Moc. ex Standl. & Steyerl.	Herb	-	77; PSS2406	Escasa
<i>Lupinus elegans</i> Kunth [LC]	Herb	-	130	Abundante
<i>Phaseolus coccineus</i> L. [LC]	Trep	-	105b; PSS2411	Escasa
<i>Phaseolus tenellus</i> Piper [EN]	Trep	×	PSS2364	Muy escasa
<i>Trifolium amabile</i> var. <i>mexicanum</i> (Hemsl.) D. Heller [LC]	Herb	-	AIRH16	Escasa
<i>Trifolium rhombeum</i> S.Schauer	Herb	×	PSS2376	Escasa
<i>Vicia faba</i> L.*	Herb	-	PSS2412	Abundante
<b>Fagaceae</b>				
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl. [LC]	Árb	-	GC6; TJPS7; BMVS16; GC17; 39; 60; 129; 23b; PSS2403	Muy abundante
<i>Quercus crassipes</i> Bonpl. <sup>2</sup>	Árb	×	SZ4574a	Escasa
<i>Quercus</i> × <i>dysophylla</i> Benth.	Árb	×	PSS2388	Muy escasa
<i>Quercus glaucoides</i> M. Martens & Galeotti [LC]	Árb	-	DAM8; 62	Abundante
<i>Quercus laeta</i> Liebm. [LC]	Árb	×	93	Abundante
<i>Quercus laurina</i> Bonpl. [LC]	Árb	-	MSGN8; MSGN10; CNMC11; DAM18; 108	Abundante
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl. [LC]	Árb	×	MAMZ5; DAM6; 61; 108	Abundante
<b>Geraniaceae</b>				
<i>Geranium hernandesii</i> DC.	Herb	×	2; PSS2378	Abundante
<i>Geranium potentillifolium</i> DC.	Herb	×	LMAR3; 56; 81; PSS2386	Abundante
<b>Lamiaceae</b>				
<i>Clinopodium macrostemum</i> (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	Arbu	×	MFM11	Abundante
<i>Salvia iodantha</i> Fernald	Herb	×	MGSO2; MGSO4; 13; 46	Abundante
<i>Salvia helianthemifolia</i> Benth.	Herb	×	CNMC2; 13b	Abundante
<i>Salvia laevis</i> Benth.	Herb	×	LTM12; 76; PSS2343	Escasa
<i>Salvia mexicana</i> L.	Herb	×	ZSTM1; LTM4; GFC16; MFM17; PSS2377; PSS2399	Muy abundante
<i>Salvia patens</i> Cav.	Sarbu	×	1; MCAS1; BMVS5; 92; PSS2346	Abundante
<i>Salvia polystachia</i> Cav.	Herb	-	ZSTM21	Escasa
<i>Salvia purpurea</i> Cav.	Herb	-	MGSO1	Escasa
<i>Scutellaria dumetorum</i> Schldtl.	Herb	-	DAM2; BMZS4; 83; PSS2401	Abundante
<b>Lentibulariaceae</b>				
<i>Pinguicula moranensis</i> Kunth var. <i>neovolcanica</i> Zamudio	Herb	-	72	Escasa
<b>Loranthaceae</b>				
<i>Cladocolea microphylla</i> (Kunth) Kuijt	Arbu	×	PSS2340	Muy escasa

<b>Lythraceae</b>				
<i>Cuphea jorullensis</i> Kunth	Herb	×	SLSS5; TJPS10	Abundante
<b>Namaceae</b>				
<i>Nama organifolia</i> Kunth	Herb	×	18	Abundante
<b>Onagraceae</b>				
<i>Fuchsia thymifolia</i> Kunth	Arbu	-	PSS2359	Muy escasa
<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	Herb	-	27	Abundante
<b>Orobanchaceae</b>				
<i>Agalinis arvensis</i> L.*	Herb	-	35	Poco abundante
<i>Agalinis peduncularis</i> (Benth.) Pennell <sup>1,2</sup>	Herb	-	SZ4572	Escasa
<i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.	Herb	-	43	Escasa
<i>Conopholis alpina</i> Liebm.	Herb	-	PSS2366	Muy escasa
<b>Oxalidaceae</b>				
<i>Oxalis latifolia</i> subsp. <i>galeottii</i> (Turcz.) Lourteig	Herb	-	69; 55	Abundante
<b>Pentaphragmaceae</b>				
<i>Ternstroemia lineata</i> DC. [LC]	Árb	-	57	Muy abundante
<b>Phytolaccaceae</b>				
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Herb	-	105	Abundante
<b>Plantaginaceae</b>				
<i>Penstemon miniatus</i> subsp. <i>apateticus</i> (Straw) Straw	Herb	-	GC13; 102; PSS2393	Escasa
<i>Penstemon roseus</i> (Cerv. ex Sweet) G. Don	Sarbu	×	PSS2354	Muy escasa
<i>Plantago nivea</i> Kunth <sup>1,2</sup>	Herb	-	SZ4552	Escasa
<b>Polemoniaceae</b>				
<i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand	Herb	-	17	Abundante
<b>Polygalaceae</b>				
<i>Monnina ciliolata</i> Sessé & Moc. ex DC.	Arbu	×	23	Abundante
<b>Ranunculaceae</b>				
<i>Anemone mexicana</i> Kunth	Herb	-	8; 74	Poco abundante
<b>Rosaceae</b>				
<i>Alchemilla sibbaldiifolia</i> Kunth	Herb	-	PSS2389	Escasa
<i>Crataegus pubescens</i> (C. Presl) C. Presl	Árb	-	37	Abundante
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Árb	-	40	Abundante
<i>Pyrus communis</i> L.* [LC]	Árb	-	LMAR9; 63	Abundante
<b>Rubiaceae</b>				
<i>Crusea longiflora</i> (Roem. & Schult.) W.R. Anderson	Herb	-	PSS2338	Muy escasa
<i>Galium aschenbornii</i> S. Schauer	Herb	-	132; 107; PSS2367	Escasa
<b>Santalaceae</b>				
<i>Phoradendron galeottii</i> Trel.	Herb	×	PSS2341	Muy escasa
<b>Scrophulariaceae</b>				
<i>Buddleja cordata</i> Kunth [LC]	Arbu	-	104; PSS2404	Abundante
<b>Solanaceae</b>				
<i>Cestrum thyrsoides</i> Kunth	Arbu	-	127	Abundante
<i>Solanum pubigerum</i> Dunal [LC]	Arbu	-	PSS2405	Abundante

<b>Valerianaceae</b>				
<i>Valeriana tafiensis</i> Borsini* <sup>1,2</sup>	Herb	-	SZ4561	Escasa
<b>Verbenaceae</b>				
<i>Glandularia teucrifolia</i> (M.Martens & Galeotti) Umber	Herb	-	42	Escasa

## Apéndice 2. Listado de especies reportadas en el cerro La Cruz sin número de recolecta

Grupo taxonómico	Forma biológica	Abundancia	Observación iNaturalist
<b>POLYPODIOPSIDA</b>			
<b>Pteridaceae</b>			
<i>Anogramma leptophylla</i> (L.) Link	Herb	Muy escasa	<a href="#">Observación iNaturalist</a>
<i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham	Herb	Escasa	<a href="#">Observación iNaturalist</a>
<i>Myriopteris myriophylla</i> (Desv.) J. Sm.	Herb	Escasa	<a href="#">Observación iNaturalist</a>
<b>MONOCOTILEDÓNEAS</b>			
<b>Orchidaceae</b>			
<i>Bletia</i> sp.	Herb	Muy escasa	<a href="#">Observación iNaturalist</a>
<b>EUDICOTILEDÓNEAS</b>			
<b>Cactaceae</b>			
<i>Selenicereus</i> sp.	Herb	Escasa	<a href="#">Observación iNaturalist</a>
<b>Violaceae</b>			
<i>Viola</i> sp.	Herb	Abundante	<a href="#">Observación iNaturalist</a>



# Aptitud clínica en médicos familiares y residentes para el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención: un estudio transversal en una institución pública de Zacapu, Michoacán

Clinical aptitude of family physicians and residents for the management of preeclampsia-eclampsia at the primary care level: a cross-sectional study in a public institution in Zacapu, Michoacán

Angel Carlos Sánchez-Maldonado, Carlos Sánchez-Anguiano, Itza Luna-Armenta, Brenda Poullette Morales-Hernández ✉

Instituto Mexicano del Seguro Social, Hospital General de Zona con Medicina Familiar No.2, Zacapu, Michoacán, México

## Resumen

Las enfermedades hipertensivas del embarazo acaparan las principales causas de muerte en el mundo. El conocimiento en preeclampsia y eclampsia en el personal médico de primer nivel, ayuda a identificar áreas de oportunidad para establecer estrategias educativas adecuadas. En este trabajo se aplicó cuestionario sobre aptitud clínica en atención primaria para el manejo de preeclampsia y eclampsia, utilizando estadística descriptiva y  $\chi^2$  para asociación entre variables categóricas con p valor <0.05, y el programa SPSS v.23 para análisis. Se encontró un nivel de aptitud clínica para manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención de muy alto 8.3% (n=5), alto 48.3% (n=29), medio 11.7% (n=7), bajo 10.0% (n=6), muy bajo 16.7% (n=10) y al azar 5.0% (n=3). Se concluye que el nivel de aptitud clínica para el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención es alto. Sin embargo existen áreas de oportunidad que se pueden fortalecer estableciendo estrategias educativas.

**Palabras clave:** Aptitud clínica, eclampsia, preeclampsia, médicos familiares.

## Abstract

Hypertensive diseases of pregnancy are the leading causes of death worldwide. Knowledge about preeclampsia and eclampsia has among primary care medical personnel helps identify areas of opportunity to establish appropriate educational strategies. Here, we applied a questionnaire on clinical aptitude in primary care for the management of preeclampsia and eclampsia via descriptive statistics and association among categorical variables ( $\chi^2$ , p value <0.05) and SPSS v.23 program for analysis. The level of clinical aptitude for the management of preeclampsia-eclampsia at the primary care level was very high (8.3%; n = 5), high (48.3%; n = 29), medium (11.7%; n = 7), low (10.0%; n = 6), very low (16.7%; n = 10) and random (5.0%; n = 3). It is concluded that the level of clinical aptitude for the management of preeclampsia-eclampsia in primary care is high; however, there are areas of opportunity that can be strengthened by establishing educational strategies.

**Keywords:** Clinical aptitude, eclampsia, preeclampsia, family physicians.

## Introducción

Las Guías de Práctica Clínica (GPC) son un conjunto de recomendaciones sobre diversas patologías emitidas por la Secretaría de Salud en México con la finalidad de unificar criterios para el manejo terapéutico (Gumshaw *et al.*, 1993). A diferencia de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las GPC no son obligatorias para su revisión y apego a las mismas, más sin embargo, son de utilidad como apoyo a la toma de decisiones clínicas para el personal de salud (Grilli *et al.*, 2000).

Actualmente existe poco apego a las GPC por parte del personal médico, como se menciona en un estudio realizado en el año 2017, en donde el 45.0% respondió “no utilizarlas”, 17.0% las utiliza siempre y 38.0% las utiliza con frecuencia, ratificando que una de las razones

## Historial

Manuscrito recibido: 15 de diciembre de 2025

Manuscrito aceptado: 20 de febrero de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

## ✉ Autor para correspondencia

Brenda Poullette Morales Hernández

bpmh13@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-0632-2815

## Como citar

Sánchez-Maldonado AC, Sánchez-Anguiano C, Luna-Armenta I, Morales-Hernández BP (2026). Aptitud clínica en médicos familiares y residentes para el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención: un estudio transversal en una institución pública de Zacapu, Michoacán. *Ciencia Nicolaita* 96:59-65. DOI:10.35830/cn.vi96.879

por las que no las utilizan es por la falta de calidad (Poblano-Verástegui *et al.*, 2017). No obstante, las GPC han sido creadas basadas en la evidencia, por lo que resultan

fundamentales en la formación de un médico (Arévalo *et al.*, 2011; Morán-Barrios, 2016).

Los trastornos hipertensivos del embarazo afectan casi a un 10.0% de las gestantes, causando una importante morbimortalidad materna y neonatal, es por ello que, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es necesario mantener educado y actualizado al personal de salud (estudiantes y profesionales) sobre las innovaciones del conocimiento y las técnicas para proteger en todo momento la seguridad del paciente (Múnera-Echeverri *et al.*, 2022). Por lo antes descrito, una atención médica prenatal adecuada beneficiará en prevenir o atenuar las alteraciones hipertensivas en el embarazo, y así, disminuir la incidencia de enfermedades cardiovasculares y renales futuras (Luna *et al.*, 2023).

La American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG), define como hipertensión las cifras tensionales  $\geq 140$  mmHg (sistólica) y/o  $\geq 90$  mmHg (diastólica) (ACOG, 2020). Para realizar el diagnóstico de hipertensión en el embarazo se requiere una alteración de las cifras de presión arterial (PA) por arriba de estos rangos, en dos o más tomas separadas por al menos 6 horas (Luger *et al.*, 2022).

La preeclampsia-eclampsia se define como una hipertensión que aparece después de las 20 semanas de gestación y se acompaña de proteinuria (Salas *et al.*, 2020). Otras manifestaciones reportadas son la preeclampsia sobreañadida a hipertensión crónica, hipertensión gestacional y síndrome de HELLP (Hemólisis, Enzimas hepáticas elevadas y Plaquetas bajas), la cual es una presentación particular de la preeclampsia con datos de severidad (Flores *et al.*, 2017; Garovic *et al.*, 2022). Dentro de la sintomatología materna que se puede presentar se incluye cefalea, acúfenos, fosfenos, epigastralgia, dolor torácico, disnea, edema agudo pulmonar, entre otros (Khedagi *et al.*, 2021; Rolnik *et al.*, 2017).

Se logra predecir aproximadamente el 90% de las pacientes con preeclampsia temprana, el 75% de las pacientes con preeclampsia que van a tener un parto prematuro y el 47% de las pacientes con preeclampsia a término, tomando en cuenta los factores de riesgo maternos, realizando un doppler de arterias uterinas y registrando la presión arterial media y el factor de crecimiento placentario (Tutal *et al.*, 2019). Por ello y aunque existen pocos instrumentos validados sobre material educativo en los trastornos hipertensivos del embarazo, es importante determinar la aptitud clínica en médicos familiares y residentes para el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención, para el oportuno diagnóstico y tratamiento de dichas comorbilidades.

## Materiales y métodos

Se implementó un estudio de tipo observacional, transversal, descriptivo y analítico, de febrero a julio del 2024 a 60 trabajadores de la salud del área médica, adscritos al Hospital General de Zona con Medicina Familiar No. 2 (HGZ/MF No. 2), del Instituto Mexicano del Seguro Social en Zacapu, Michoacán. Este proyecto fue autorizado por los Comités de Ética en Investigación y de Investigación en Salud con el número de registro R-2024-1603-002.

El cálculo del tamaño de muestra se llevó a cabo aplicando la fórmula para población finita, utilizada cuando se conoce el total de unidades de observación que la integran, en estudios de tipo cualitativos (Aguilar-Barojas, 2005) tomando en consideración el total de médicos residentes y familiares adscritos a dicha unidad hospitalaria de 71 sujetos, con un intervalo de confianza del 95% y error máximo permitido de 5%, así como proporción esperada del 50%, obteniendo una población finita de 60 sujetos a encuestar.

Se incluyeron médicos residentes de la especialidad de medicina familiar del segundo y tercer año, así como médicos familiares de la consulta externa de medicina familiar y atención médica continua, hombres y mujeres, con contratación eventual o de base, con antigüedad laboral mayor a un año, que hubieran aceptado participar en el estudio y firmado el consentimiento informado. Se excluyeron aquellos participantes que se encontraran de licencia. Se eliminaron aquellos con cuestionarios incompletos o que no desearan continuar con el estudio.

A través de un interrogatorio directo por parte del encuestador, se recabaron variables sociodemográficas como edad y sexo, así como variables laborales como categoría, antigüedad laboral y tipo de contratación a cada participante, con los criterios de selección antes descritos.

Para conocer el nivel de aptitud clínica en manejo de preeclampsia-eclampsia, se aplicó el cuestionario por Gómez-López *et al.* (2008), el cual es un instrumento de evaluación sobre la aptitud clínica en atención primaria sobre preeclampsia y eclampsia con validación interna por una ronda de expertos con un alfa de Cronbach de 0.820, lo que significa una adecuada fiabilidad de los resultados. Dicho cuestionario está conformado por 109 ítems, que se responden en forma dicotómica como verdadero (V) o falso (F), de los cuales 54 correspondieron con respuesta correcta *verdadera* y 55 con respuesta correcta *falso*. La puntuación total fue calculada con base a la calificación total de aciertos obtenidos, teniendo una calificación mínima de 0 y una máxima de 109 aciertos, clasificando el nivel de aptitud clínica de la siguiente manera: muy alto: 93-109

aciertos, alto: 75-92 aciertos, medio: 57-74 aciertos, bajo: 39-56 aciertos, muy bajo: 21-38 aciertos y al azar: 0-20 aciertos.

**Análisis estadístico**

Se utilizó estadística descriptiva, las variables categóricas se presentaron en frecuencias con sus respectivos porcentajes (%). Se utilizó la prueba no paramétrica de Chi<sup>2</sup> (X<sup>2</sup>), para determinar la asociación entre las variables categóricas. Se estableció diferencia estadística significativa con valor de p < 0.05. Los datos se analizaron en el programa computacional o paquete estadístico SPSS versión 23.0 para Windows. Finalmente, todos los participantes aceptaron participar de manera voluntaria, previo conocimiento del objetivo e implicaciones de su participación en el estudio.

**Resultados**

Se encuestó un total de 60 participantes, con una media de edad de 38.15±13.0 años, IC95%: 30-54, hombres y mujeres, personal de salud, adscrito al Hospital General de Zona con Medicina Familiar No. 2 en Zacapu, Michoacán (HGZ/MF No. 2) (**Tabla 1**). Conformada la muestra por médicos familiares y residentes de la especialidad de medicina familiar, principalmente con antigüedad laboral menor a 5 años (**Tabla 2**).

El nivel de aptitud clínica en el manejo de preeclampsia-eclampsia se determinó con el cuestionario basado en el instrumento de evaluación sobre la aptitud clínica en atención primaria sobre preeclampsia y eclampsia, con una consistencia interna medida con alfa de Cronbach de 0.843, obteniendo con mayor frecuencia un nivel alto seguido del muy bajo y medio (**Figura 1**).

El nivel alto predominó en aquellos trabajadores de 31 a 40 años de edad, del sexo femenino, médicos familiares de atención médica continua, personal de base, con antigüedad laboral de 1 a 5 años, sin encontrar asociación entre estas con el nivel de aptitud clínica (**Tabla 3** y **Tabla 4**).

En la **Figura 2** se muestran los ítems con mayor índice de respuestas incorrectas del cuestionario de evaluación sobre la aptitud clínica en atención primaria sobre preeclampsia y eclampsia, en donde se observa que aquellos relacionados al diagnóstico y clasificación de los distintos tipos de enfermedad hipertensiva y al manejo fueron los de mayor prevalencia.

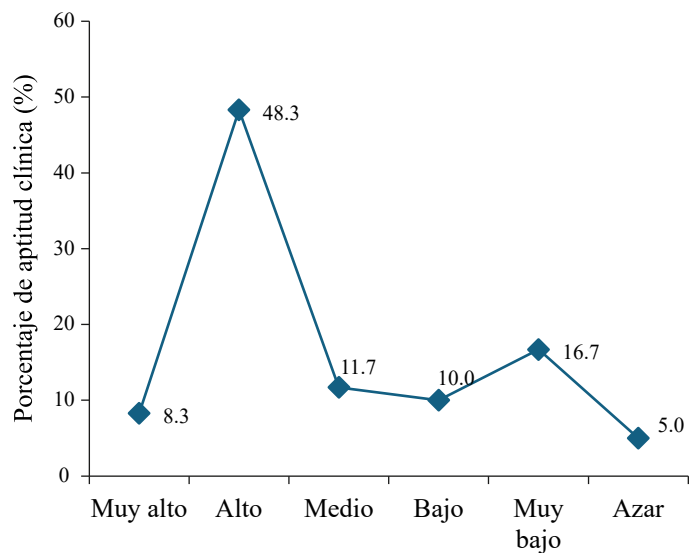
**Tabla 1.** Características sociodemográficas de los médicos familiares y residentes adscritos al HGZ/MF No. 2 en relación a edad y sexo (n=60).

Edad (años)	Frecuencia (F)	Porcentaje (%)
< 30	3	5.0
31 a 40	42	70.0
41 a 50	10	16.7
51 a 60	5	8.3
Sexo	Frecuencia (F)	Porcentaje (%)
Masculino	20	33.3
Femenino	40	66.7

**Tabla 2.** Categoría, antigüedad y tipo de contratación de los médicos familiares y residentes adscritos al HGZ/MF No. 2 (n=60).

	Frecuencia (F)	Porcentaje (%)
<b>Categoría</b>		
Médico familiar CE	15	(25.0)
Médico familiar AMC	23	(38.3)
Médicos residentes	22	(36.7)
<b>Antigüedad (años)</b>		
1 a 5	39	(65.0)
6 a 10	7	(11.7)
11 a 15	6	(10.0)
Más de 16	8	(13.3)
<b>Tipo de contratación</b>		
Base	37	(61.7)
Sustituto	2	(3.3)
Interino	1	(1.7)
Becario	20	(33.3)

CE = Consulta Externa; AMC = Atención Médica Continua.



**Figura 1.** Aptitud clínica de médicos familiares y residentes para el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención del HGZ/MF No. 2 (n=60).

**Tabla 3.** Aptitud clínica en el manejo de preeclampsia-eclampsia de los médicos familiares y residentes adscritos al HGZ/MF No. 2 con respecto a las características sociodemográficas (n=60).

	Muy alto F (%)	Alto F (%)	Medio F (%)	Bajo F (%)	Muy bajo F (%)	Azar F (%)	gl	p Valor
Edad (años)								
30 o menor	-	-	-	-	1 (1.7)	-	95	0.890
31 a 40	4 (6.7)	21 (35.0)	5 (8.2)	4 (6.7)	6 (10.0)	3 (5.0)		
41 a 50	1 (1.7)	3 (5.0)	2 (3.3)	1 (1.7)	3 (5.0)	-		
51 a 60	-	3 (5.0)	-	1 (1.7)	-	-		
Más de 61	-	2 (3.3)	-	-	-	-		
Sexo								
Masculino	1 (1.7)	10 (16.7)	2 (3.3)	3 (5.0)	3 (5.0)	1 (1.7)	5	0.936
Femenino	4 (6.7)	19 (31.6)	5 (8.3)	3 (5.0)	7 (11.7)	2 (3.3)		

Chi2; \*Cifra estadísticamente significativa (p<0.05); F = Frecuencia; (%) = (Porcentaje).

## Discusión

Las enfermedades hipertensivas del embarazo acaparan las principales causas de muerte en la mujer gestante a nivel mundial. En diferentes estudios se ha documentado un nivel medio de conocimiento en preeclampsia y eclampsia en personal médico de primer nivel, lo que ayuda a identificar áreas de oportunidad para establecer estrategias educativas adecuadas para prevenir y atender de una mejor manera la problemática existente en relación a este padecimiento.

En el presente estudio se logró identificar categoría, tipo de contratación y antigüedad laboral de médicos residentes y familiares adscritos al HGZ/MF No. 2 en base a la aptitud clínica en preeclampsia-eclampsia de muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo y al azar.

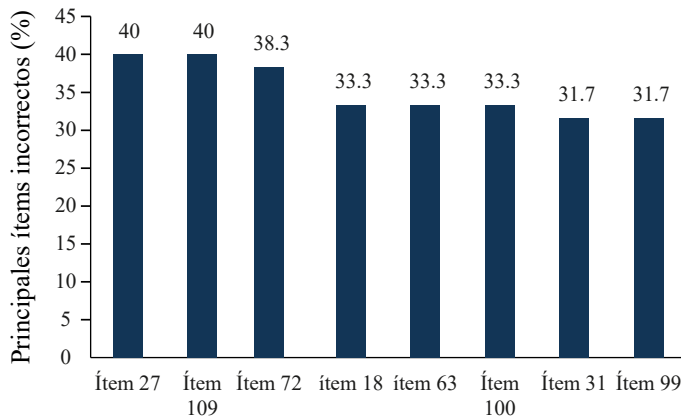
Se encuestó un total de 60 participantes, entre ellos médicos residentes y familiares de la consulta externa de medicina familiar y atención médica continua, de base y sustitutos, con una media de edad de 38.15±13.0 años, hombres y mujeres, adscritos al HGZ/MF No. 2 y con antigüedad promedio de 1 a 5 años. Se obtuvo una aptitud clínica para el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención de alto en 48.3%, seguido del nivel muy bajo 16.7%, medio 11.0%, bajo 10.0%, muy alto 8.3% y al azar 5.0%, prevaleciendo el nivel alto en aquellos de 31 a 40 años y sexo femenino, sin demostrar significancia con respecto a las características sociodemográficas y el resultado final obtenido.

Márquez-Olivas *et al.* (2023) en un estudio realizado en Sonora, México, a médicos familiares, encontró una aptitud clínica media en el 57.1%, seguida de la baja en el

**Tabla 4.** Aptitud clínica en el manejo de preeclampsia-eclampsia de los médicos familiares y residentes adscritos al HGZ/MF No. 2 con respecto a la categoría, antigüedad laboral y tipo de contratación (n=60).

	Muy alto F (%)	Alto F (%)	Medio F (%)	Bajo F (%)	Muy bajo F (%)	Azar F (%)	gl	p Valor
Categoría								
Médico familiar CE	1 (1.7)	9 (15.0)	3 (5.0)	2 (3.3)	-	-	10	0.000*
Médico familiar AMC	4 (6.7)	17 (28.2)	1 (1.7)	-	1 (1.7)	-		
Médicos residentes	-	3 (5.0)	3 (5.0)	4 (6.7)	9 (15.0)	3(5.0)		
Antigüedad laboral								
1 a 5 años	4 (6.7)	17 (28.0)	4 (6.7)	4 (6.7)	7 (11.7)	3(5.0)	15	0.714
6 a 10 años	-	5 (8.3)	1 (1.7)	-	1 (1.7)	-		
11 a 15 años	1 (1.7)	1 (1.7)	2 (3.3)	1 (1.7)	1 (1.7)	-		
Más de 16 años	-	6 (10.0)	-	1 (1.7)	1 (1.7)	-		
Tipo de contratación								
Base	5 (8.3)	25 (41.7)	3 (5.0)	2 (3.3)	2 (3.3)	-	15	0.003*
Sustituto	-	1 (1.7)	1 (1.7)	-	-	-		
Interino	-	1 (1.7)	-	-	-	-		
Becario	-	2 (3.3)	3 (5.0)	4 (6.7)	8 (13.3)	3 (5.0)		

Chi2; \*Cifra estadísticamente significativa (p<0.05); F = Frecuencia; (%) = (Porcentaje); CE = Consulta Externa; AMC = Atención Médica Continua.



**Figura 2.** Ítems con mayor índice de respuestas incorrectas del cuestionario que evalúa la aptitud clínica en preeclampsia y eclampsia de los médicos adscritos al HGZ/MF No. 2 (n=60).

42.9%, utilizando un instrumento de evaluación diferente al del presente estudio. En comparación, Villaseñor-Hidalgo *et al.* (2017) quien utilizó el mismo instrumento de estudio, determinó una aptitud de los médicos familiares en la categoría al azar de 9.0%, muy baja de 26.0% y baja 53.0%, mientras que para los médicos generales fue una aptitud al azar de 31.0%, muy baja 23.0% y baja 31.0%, siendo los médicos familiares quienes tuvieron un menor porcentaje en comparación con los generales. En este estudio no se estudiaron variables sociodemográficas.

Gómez-López *et al.* (2019) refiere que el 60.0% de la población presentó un nivel medio, con mejor resultado de la aptitud clínica en la diabetes mellitus y sus complicaciones, así como en la preeclampsia-eclampsia, sin encontrar diferencia significativa en base al sexo, resultados con mayor similitud a los encontrados en dicho trabajo pese a que utilizaron un instrumento diferente, probablemente debido a que fue realizado a médicos pasantes del servicio social, sin hacer mención en cuanto a su asociación con la edad.

La aptitud clínica en el manejo de preeclampsia-eclampsia de los médicos familiares y residentes adscritos al HGZ/MF No. 2 fue alta en los médicos del área de Atención Médica Continua, con 1 a 5 años de antigüedad laboral y de base, tal vez debido a que frecuentemente son médicos recién egresados de la residencia y considerados el primer contacto de atención médica en el área de urgencias en caso de crisis hipertensivas, junto con los médicos urgenciólogos. Así mismo, se determinó asociación entre la categoría con el tipo de contratación y como principales ítems con respuestas incorrectas, aquellos enfocados a integración diagnóstica y uso de recursos terapéuticos de las enfermedades hipertensivas del embarazo. Resultados contrarios a los de Gómez-

López *et al.* (2008), quienes observaron un nivel medio en la aptitud clínica para la atención de la preeclampsia-eclampsia en el 50.0% de la población estudiada, siendo el área referente a factores de riesgo e identificación de datos clínicos y paraclínicos, las de menor puntaje. Sin embargo, no realizaron análisis en base a la categoría, antigüedad y turno, resultados similares a los de Márquez-Olivas *et al.* (2023) quienes muestran de igual forma ser bajo el puntaje en el reconocimiento de datos clínicos y paraclínicos, seguido por identificación de factores de riesgo y el uso de recursos terapéuticos en su población de estudio, sin existir una diferencia significativa en el nivel de aptitud clínica de los médicos en cuanto al género, edad, turno, modalidad de la especialidad, ni la antigüedad laboral; sin embargo fue un estudio realizado únicamente a médicos familiares del primer nivel de atención.

Jiménez *et al.* (2017) refiere que en general su población de estudio presentó un nivel académico competente, siendo el nivel técnico el de mayor capacitación, enfermeras generales a diferencia de las intensivistas o jefes de piso, del servicio de atención médica en quirófano y de hospitalización de ginecología, del turno vespertino, encontrando asociación entre la edad, sexo, estado civil y nivel académico con la competencia global, a diferencia de González *et al.* (2008) quien de igual manera realizó un estudio a personal de enfermería encontrando un nivel suficiente únicamente en el 10.0% de su población, siendo proporcional con el nivel de categoría y antigüedad laboral.

Con base en lo anterior, se han planteado estrategias como Verano *et al.* (2021) con la finalidad de establecer un referente nacional para orientar la toma de decisiones clínicas basadas en recomendaciones sustentadas en la mejor evidencia disponible, esperando de esta forma, favorecer la mejora en la efectividad, seguridad y calidad de la atención médica contribuyendo, de esta manera, al bienestar de las personas y de las comunidades, el cual constituye el objetivo central y la razón de ser de los servicios de salud.

En México, la preeclampsia representa el 30.0% de los casos y es la principal causa de muerte, por lo que un pilar fundamental por parte de los directivos de cada unidad hospitalaria, es conocer la aptitud clínica de los médicos(a) de los diferentes niveles de atención que participan en la atención de este grupo de pacientes, para con ello poder establecer estrategias preventivas oportunas esperando así evitar una muerte materna (Ulloa *et al.*, 2023).

Los estudios aquí presentados, ayudan a identificar aquellas áreas de oportunidad en la base trabajadora, para de esta forma orientar de mejor manera las decisiones de capacitación en educación médica continua de acuerdo

a los resultados obtenidos en cada unidad hospitalaria, enfocándolas sobre todo a la capacitación de integración diagnóstica y uso de recursos terapéuticos, así como factores de riesgo e identificación de datos clínicos y paraclínicos. Entre las limitantes encontradas fue la falta de inclusión de más personal de la salud involucrado directamente con la atención de las mujeres gestantes y en el control prenatal como lo son el área de enfermería tanto de primer nivel de atención como del área de hospitalización. Otra limitación es la falta de clasificación de los resultados del cuestionario sobre la aptitud clínica en preeclampsia-eclampsia en indicadores como reconocimiento de factores de riesgo, reconocimiento de datos clínicos y paraclínicos, integración diagnóstica, uso de recursos para el diagnóstico, uso de recursos terapéuticos y medidas de seguimiento según Gómez-López *et al.* (2019), que tendrían que implementarse en futuras investigaciones para establecer estrategias educativas dirigidas al personal de salud.

## Conclusiones

El nivel de aptitud clínica sobre el manejo de preeclampsia-eclampsia en primer nivel de atención en el HGZ/MF No. 2 es alto en la mitad de la población encuestada, siendo más frecuente en los médicos adscritos de atención médica continúa seguido de la consulta externa. Los ítems con menor puntaje de calificación, fueron aquellos enfocados a integración diagnóstica y uso de recursos terapéuticos de las enfermedades hipertensivas del embarazo. Es importante la creación de estrategias educativas enfocadas en las áreas de oportunidad detectadas como diagnóstico y tratamiento de la preeclampsia y eclampsia para incrementar el nivel de aptitud clínica, considerando que hoy en día la adecuada atención médica en la salud materna es de vital importancia para disminuir los índices de morbimortalidad en el país.

## Referencias

Grimshaw JM, Russell IT (1993). Effect of clinical guidelines on medical practice: a systematic review of rigorous evaluations, *Lancet* 342(8883): 1317-22. DOI:10.1016/0140-6736(93)92244-n

Grilli R, Magrini N, Penna A, Mura G, Liberati A (2000). Practice guidelines developed by specialty societies: the need for a critical appraisal. *Lancet* 55(9198):103-6. DOI:10.1016/s0140-6736(99)02171-6

Poblano-Verástegui O, Vieyra-Romero WI, Galván-García ÁF, Fernández-Elorriaga M, Rodríguez-Martínez AI, Saturno-Hernández PJ (2017). Calidad y cumplimiento de guías de práctica clínica de

enfermedades crónicas no transmisibles en el primer nivel. *Salud Pública Mex* 59(1):165-175. DOI:10.21149/8285

Arévalo RA, Fonseca G, Ortuño G, Arévalo D (2011). Elaboración de Guías de Práctica Clínica, basado en las evidencias, parte I. *Rev Med La Paz* 17(2):63-69.

Morán-Barrios J (2016). La evaluación del desempeño o de las competencias en la práctica clínica. 1.a Parte: principios y métodos, ventajas y desventajas. *Educ médica* 17(4):130-9. DOI:10.1016/j.edumed.2016.07.001

Múnera-Echeverri AG, Muñoz-Ortiz E, Ibarra-Burgos JA (2022). Hipertensión arterial y embarazo. *Rev Colomb Cardiol* 28(1):1-8. DOI:10.24875/rccar.m21000002

Luna SD, Martinovic TC (2023). Hipertensión y embarazo: revisión de la literatura. *Rev médica Clín Las Condes* 34(1):33-43. DOI:10.1016/j.rmcl.2023.01.006

American College of Obstetricians and Gynecologists (2020). Gestational hypertension and preeclampsia: ACOG Practice Bulletin, number 222. *Obstet Gynecol* 135(6):e237-60. DOI:10.1097/aog.0000000000003891

Luger RK, Kight BP (2022). Hypertension In Pregnancy. [Updated 2022 Oct 3]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430839/>

Salas B, Montero F, Alfaro G (2020). Trastornos hipertensivos del embarazo: comparación entre la guía de la Caja Costarricense del Seguro Social del 2009 y las recomendaciones de la Asociación de Ginecología Obstetricia del 2019. *Revista Médica Sinergia* 5(7):e532.

Garovic VD, Dechend R, Easterling T, Karumanchi SA, McMurtry Baird S, Magee LA, et al (2022). Hypertension in pregnancy: Diagnosis, blood pressure goals, and pharmacotherapy: A scientific statement from the American heart association. *Hypertension* 79(2):e21-41. DOI:10.1161/HYP.0000000000000208

Flores L, Rojas L, Valencia C, Cruz V, Correa L (2017). PREECLAMPSIA Y SUS PRINCIPALES FACTORES DE RIESGO. *Rev Fac Med Hum* 17(2):90-99. DOI:10.25176/rfmh.v17.n2.839

Khedagi AM, Bello NA (2021). Hypertensive disorders of pregnancy. *Cardiol Clin* 39(1):77-90. DOI:10.1016/j.ccl.2020.09.005

Detección, Diagnóstico y Tratamiento de Enfermedades Hipertensivas del Embarazo (2017). Guía de Práctica Clínica. México. *IMSS* 12(2):6-57.

Abalos E, Duley L, Steyn DW, Gialdini C (2018). Antihypertensive drug therapy for mild to moderate hypertension during pregnancy. *Cochrane Libr* 10(1):CD002252. DOI:10.1002/14651858.cd002252.pub4

Rolnik DL, Wright D, Poon LC, O’Gorman N, Syngelaki A, de Paco Matallana C, et al (2017). Aspirin versus placebo in pregnancies at high risk for preterm preeclampsia. *N Engl J Med* 377(7):613-22. DOI:10.1056/nejmoa1704559

Tutal LM, Martínez JE, Ruiz LC, Erazo LD, Ponce R, Caicedo YK (2019). Manejo farmacológico de la hipertensión materna durante la lactancia: un reto terapéutico. *Rev peru ginecol obstet* 65(3):285-292. DOI:10.31403/rpgo.v66i2183

Gómez-López VM, Ramírez-Martínez J, García-Ruiz M, Lee-Santos I, Fong-Jaramillo G, Barrientos-Guerrero C (2008). Preeclampsia-eclampsia: aptitud clínica en atención primaria. *Reist de Investigación Clínica* 60(2):115-123.

Aguilar-Barojas S (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco* 11(1-2):333-338.

Márquez-Olivas K, Higuera-Cárdenas JF (2023). Aptitud clínica del médico familiar para la detección de preeclampsia-eclampsia en un grupo de médicos familiares de Ciudad Obregón, Sonora, México. *Arch Med Fam* 25(1):25-29.

Villaseñor-Hidalgo R, García-Rangel MJ, Ramírez-Zaragoza HF, León-Ángeles SA (2017). Aptitud clínica del médico familiar sobre preeclampsia-eclampsia in the Family Medicine Unit No. 94 of the IMSS, *AtenFam* 24(1):27-31. DOI:10.1016/j.af.2017.01.004

Gómez-López VM, Rosales S (2019). Evaluación de la aptitud clínica de los médicos pasantes en servicio social. *Inv Ed Med* 8(31):55-63. DOI:10.22201/facmed.20075057e.2019.31.18122

Jiménez W, Martínez MV, Romero G (2017). Competencias profesionales de enfermería en la atención de pacientes con pre-eclampsia en un Hospital de Segundo Nivel. *CONAMED* 22(2):70-75.

González NP, Ballardo MG, Domínguez IF, Magaña S, Molina OA, Uriarte S (2008). Conocimiento de la enfermera en la atención a usuario con preeclampsia y eclampsia. *Enferm Glob* 14(1):1-10.

Verano N, Castro S, Espinosa Pire LN (2021). Estudio diagnóstico sobre la necesidad de una guía de manejo para pacientes embarazadas que sufren hipertensión arterial que acuden al servicio de gineco-obstetricia del Hospital General Docente Ambato. *Dilemas contemp educ política valores* 60(1):1-16. DOI:10.46377/dilemas.v8i.2816

Ulloa IM, Arias EM (2023). Diseño y validación de material educativo dirigido a mejorar el conocimiento y autocuidado de la mujer gestante ante los trastornos hipertensivos en el embarazo. *Enfermería Global* 71(1):277-292



# *Azotobacter vinelandii* AEIV volatiles protect *Arabidopsis* seedlings from zinc damage of roots via an abscisic acid crosstalk

Paola Peralta López , Karina Alejandra Balderas Ruíz , Gipumi Torres Abe , Carla Sánchez Arana , Cinthia Nuñez , Ángel Arturo Guevara García  

Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 2001, Chamilpa, 62210. Cuernavaca, Morelos.

## Abstract

Heavy metal pollution (i.e., lead, arsenic, copper, zinc) causes stress in plants, affecting their growth and development. *Azotobacter vinelandii* strains have attracted considerable interest due to their ability to fix nitrogen, produce biodegradable biopolymers, and promote plant growth. In this study, the effect of high zinc (Zn) concentrations on *Arabidopsis thaliana* growth *in vitro*, alone and in interaction with *A. vinelandii* AEIV was evaluated. Notably, the communication mediated by bacterial-emitted volatiles exerted a protective effect against Zn-induced damage in internal root tissues and influenced the abscisic acid (ABA) response. These findings suggest that *A. vinelandii* AEIV helps the plant to cope with the damaging effects of heavy metals and influences ABA signaling pathways.

**Keywords:** *Arabidopsis thaliana*, *Azotobacter vinelandii* AEIV, plant-microbe interaction, heavy metals, abscisic acid.

## Introduction

Plants, as sessile organisms, are unable to escape unfavorable environmental conditions, therefore, they remain at the site of germination until life cycle completion under adverse conditions such as drought, pollution, or diseases caused by phytopathogens. To survive and adapt, plants have evolved complex tolerance mechanisms that are further supported by the interactions with microorganisms colonizing leaves, flowers, and especially roots, or inhabiting internal tissues as endophytes. Although some of these microorganisms may be pathogenic, most are beneficial, contributing to growth under limiting conditions and/or strengthening the immune system (Pantigoso *et al.*, 2022).

Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) act as probiotic microorganisms via multiple mechanisms, including enhanced nutrient uptake, atmospheric nitrogen (N) fixation, and the production of antimicrobial compounds (Hasan *et al.*, 2024). PGPB therefore represent a promising alternative for achieving sustainable agriculture under increasingly restrictive environmental conditions such as nutrient deficiency. Nitrogen (N) is a macronutrient required in large amounts by plants owing to its essential role as a constituent of amino acids, nucleic acids and a wide range of metabolites. However, its availability in soils is often limited, leading to the widespread use of fertilizers to sustain agricultural productivity (Barney, 2024).

N-fixing bacteria such as *Azotobacter vinelandii* may contribute to the nutritional requirements of crops

### Dates

Received: February 10, 2026

Accepted: March 28, 2026

Available online: April 2026

### Corresponding author

Ángel Arturo Guevara García

email: [arturo.guevara@ibt.unam.mx](mailto:arturo.guevara@ibt.unam.mx)

ORCID: 0000-0002-5910-0255

### Cite this article

Peralta-López P, Balderas-Ruiz KA, Torres-Abe G, Sánchez-Arana C, Nuñez C, Guevara-García AA (2026). *Azotobacter vinelandii* AEIV volatiles protect *Arabidopsis* seedlings from zinc damage of roots via an abscisic acid crosstalk. *Ciencia Nicolaita* 96:66-75. DOI:10.35830/cn.vi96.907

(Yoshida *et al.*, 2022). In addition, this bacterium produces plant growth-regulating compounds (phytohormones), including auxins, gibberellins, and cytokinins (Aasfar *et al.*, 2021), and mitigates damage caused by heavy-metal toxicity and high soil salinity (Das, 2019; Sahoo *et al.*, 2021).

Plant responses to biotic and abiotic stressors are complex and multifactorial. In this context, *Arabidopsis thaliana* has been helpful towards elucidating diverse biological processes and generating knowledge that can be extrapolated to crop species. This species, which is closely related to mustard and cauliflower, has several advantageous characteristics, including a small size, a short life cycle, and high seed production. In addition, *A. thaliana* possesses a small, fully annotated genome, which

facilitates genetic analyses (<https://abrc.osu.edu/>) (Ferjani *et al.*, 2023). Among the available genetic resources, reporter lines are particularly valuable for studying genes, proteins, and regulatory processes involved in stress responses (Miki y McHugh, 2004).

Heavy metals may be present naturally in most ecosystems; however, their accumulation as a result of anthropogenic activities presents serious environmental and health risks because they are neither chemically nor biologically degradable and tend to move through trophic chains (Shaffique *et al.*, 2023). Metals such as arsenic (As), lead (Pb), and mercury (Hg) have no known biological function and are toxic even at low concentrations. In contrast, others, such as copper (Cu) and zinc (Zn), are essential micronutrients at nanomolar or micromolar concentrations but become toxic to plants when present in excess (Nakayama *et al.*, 2020). Optimal Zn concentrations in plant tissues typically range from 15 to 50 mg/kg dry weight, however, mining and metallurgical activities can increase Zn levels to more than 400 mg/kg dry weight in contaminated soils (Bazihizina *et al.*, 2014). Such elevated concentrations inhibit plant growth, induce leaf chlorosis, and promote oxidative damage (Stuiver *et al.*, 2014; Gong *et al.*, 2020).

Proper plant development and adaptation to stress depend on the coordinated balance among multiple phytohormones and signaling pathways. Auxins, cytokinins, and gibberellins orchestrate growth and development, whereas jasmonic acid and salicylic acid mediate responses to biotic stress. In contrast, abscisic acid (ABA) is primarily associated with tolerance to abiotic stress. ABA is synthesized in chloroplasts, where photosynthesis occurs, and this process is directly affected by heavy-metal stress. This relationship suggests that reduced photosynthetic activity may trigger stress-responsive gene expression (Ng *et al.*, 2014; Felemban *et al.*, 2019; Lim *et al.*, 2022). Based on this framework, we hypothesized that *A. vinelandii* AEIV is a PGPB capable of enhancing plant tolerance to high Zn levels. To test this hypothesis, our objectives were: (1) to establish a reliable plant–bacterium–heavy metal interaction system and (2) to explore the role of phytohormones in the response to Zn-induced abiotic stress.

## Materials and methods

### Biological material and chemical reagents

Wild-type *A. thaliana* seeds from Columbia (Col-0) and Wassilewskija (Ws) ecotypes were used, together with the ABA-insensitive mutant line *abi5*, which lacks expression of the ABI5 transcription factor (Finkelstein *et al.*, 2000),

as well as the ABA reporter lines *pABI5::GUS* (López-Molina *et al.*, 2001) and the cellular damage reporter line *pERF115::GUS::GFP* (Heyman *et al.*, 2016). The bacterial strain used in this study was *A. vinelandii* AEIV (Larsen y Haugh 1971; Nuñez *et al.*, 2013), which is deposited in a microbial collection (Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares, CINVESTAV) with the code CDBB-B-1529.

Chemical reagents included ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (Química Meyer); yeast extract, peptone, and bactoagar (BD Bacto); sucrose, glucose, HCl, and ethanol (JT Baker); 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide (X-Gluc) and phytoagar (Phytotechnology); and ABA, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, EDTA, Triton™ X-100, K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, KOH, and NaOH (Sigma-Aldrich).

### Seed sowing and growth conditions

Seeds were disinfected with 96% (v/v) ethanol and 10% (v/v) sodium hypochlorite (commercial bleach) for 4 minutes each, with agitation at 25 °C. To remove residual chlorine, four consecutive washes with sterile deionized water were performed. To synchronize germination, seeds were stratified at 4 °C for 48 h in darkness. Seeds were sown on plates containing MS 0.2x medium solidified with phytoagar 1% (w/v), adjusted to pH 7.0 and supplemented with 0.6% (w/v) sucrose. For germination (3 days) and seedling growth (4 days), plates were sealed with *Parafilm* and incubated vertically in a growth chamber (Percival CU41L4) under conditions of 22 °C and a 16/8 h light/dark photoperiod.

The *A. vinelandii* AEIV strain was preserved at –80 °C in liquid PY medium (0.3% yeast extract, 0.5% peptone, and 2% sucrose (w/v)) supplemented with 25% (v/v) glycerol. For activation, the strain was inoculated into 3 mL of PY medium and incubated at 30 °C and 250 rpm for 24 h. Then, 100 μL of this culture were spread on a plate with PY medium solidified with bactoagar 1% (w/v) to isolate a single colony, which was used to prepare a liquid culture until the desired concentration was reached. Initially, bacterial inoculum concentrations of 1 × 10<sup>5</sup> to 1 × 10<sup>9</sup> cells/mL were tested, but since an inoculum of 1 × 10<sup>5</sup> showed limited growth, while all other concentrations (1 × 10<sup>6</sup>, 1 × 10<sup>7</sup>, 1 × 10<sup>8</sup> and 1 × 10<sup>9</sup>) showed similar growth in the three plant–bacteria interaction systems, all reported experiments were performed with an inoculum of 1 × 10<sup>8</sup> cells/mL.

### *A. thaliana* – *A. vinelandii* AEIV interaction systems

Three plant–bacterium interaction systems were implemented using Petri plates: (1) Direct Contact (DC), (2) Diffusible plus Volatile Compounds (DiVo), and (3) Vola-

tile Compounds (CoVo). Briefly, Petri dishes were divided into three (DC) or two sections (DiVo) with a previously disinfected 2 cm wide glass plate, whereas factory-divided Petri dishes were used for CoVo. In all cases, the bacterium was grown on solid PY medium, while seedlings were grown on solid MS 0.2x medium. In all systems, the bacterial inoculum consisted of 10  $\mu$ L of a culture containing  $1 \times 10^8$  cells/mL of *A. vinelandii* AEIV (treatment) or 10  $\mu$ L of liquid PY medium (control). Inoculated plates were incubated for 48 h at 30 °C to promote bacterial growth, after which 4-day-old *A. thaliana* seedlings were transferred to the interaction systems. Finally, plates were sealed with *Parafilm* and maintained vertically in a plant growth chamber (22 °C, 16 h light/8 h darkness photoperiod) for 6 additional days.

### Zn and ABA assays

For Zn experiments, a 100 mM ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O stock solution was used to prepare 0.2x MS medium supplemented with 100, 200, and 300  $\mu$ M of the heavy metal. For control treatments, the media were prepared with the corresponding microliters of the solvent solution equivalent to the highest Zn concentration. At the time of seedling transfer, the position of each root tip was marked, and the plates were incubated under the described growth conditions for 6 days, after which phenotypic parameters were measured. For the ABA experiment, 1 mL of a 100 mM stock solution was prepared using the same solvent employed for zinc sulfate, from which dilutions were made to obtain a final concentration of 15  $\mu$ M.

### Evaluation of phenotypic parameters

Nine phenotypic parameters were evaluated using 18 individuals at 10 days after germination (4 days at the time of transfer + 6 days of exposure to Zn with or without bacterial interaction), as follows: primary root growth (cm) and rosette diameter (cm) were measured using a ruler. The number of lateral roots and leaves was counted under a stereomicroscope (Olympus SZ40), and the length of the longest lateral root was measured. Biomass (fresh weight) was quantified using an analytical balance (Ohaus PX124), six seedlings per plate/treatment were used to record total biomass; roots were excised to obtain shoot biomass, and root biomass as total biomass – shoot biomass difference.

### $\beta$ -glucuronidase (GUS) histochemical activity

Seedlings were incubated overnight at 37 °C in reaction buffer [1 mg/mL X-Gluc; 50 mM NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 50 mM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 10 mM EDTA; 0.1% (v/v) Triton™ X-100; 2 mM K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>; 2 mM K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>], with the pH adjusted to 7. To assess enzymatic activity, seedlings were transferred

to 1 mL of acidic solution (0.2 M HCl; 20% (v/v) CH<sub>3</sub>OH) and incubated for 50 minutes at 62 °C. The solution was replaced with 1 mL of basic solution (7% (w/v) NaOH; 60% (v/v) CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH), where seedlings were kept for 20 minutes at room temperature. Subsequently, seedlings were subjected to successive washes with 40, 20, and 10% (v/v) ethanol solutions for 20 minutes each. As a final step, the 10% ethanol solution was replaced with 50% (v/v) glycerol for seedling preservation. Seedlings were mounted in manually designed chambers (glass slides, coverslips, *Parafilm*, and clear nail polish) and observed under a bright-field microscope (AmScope T490B) equipped with a camera to obtain digital images.

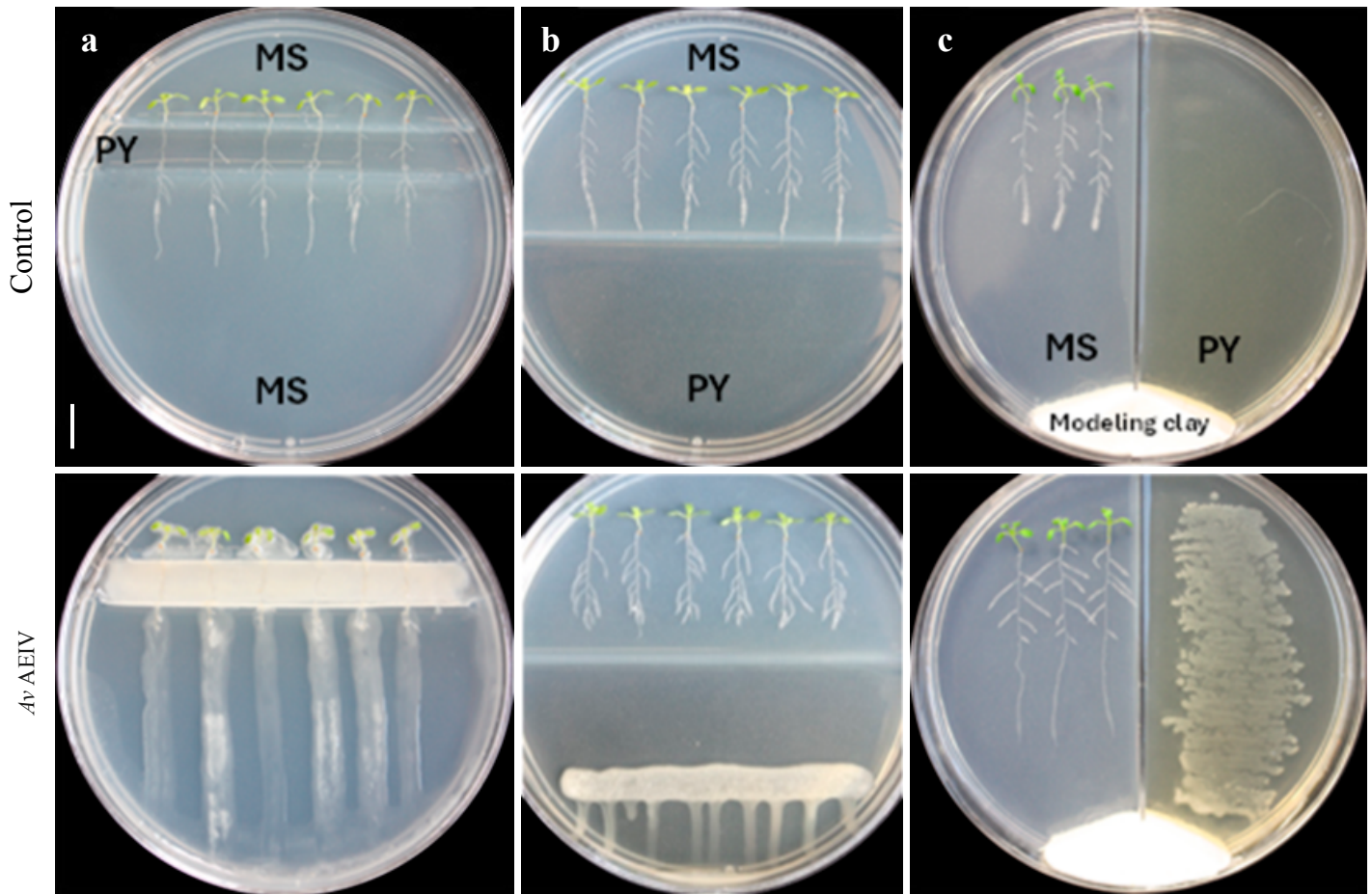
## Results

### *In vitro* plant-bacteria interaction systems

The effects of plant growth-promoting bacteria are highly dependent on the inoculation system. The interaction of *Arabidopsis* with *A. vinelandii* has not previously been analyzed; therefore, a combined culture medium suitable for both bacterial growth (PY) and plant growth (MS) was designed to evaluate bacterial and plant growth using three different interaction systems: Direct Contact (DC), Diffusible plus Volatile Compounds (DiVo), and Volatile Compounds (CoVo).

In the three interaction systems, the effects of the bacterium were evaluated on root biomass, shoot biomass, total biomass, leaf number, shoot diameter, primary root growth, number of lateral roots, and the length of the longest lateral root. In the DC system (**Figure 1a**), the bacterium did not exert a plant growth-promoting effect; instead, key growth parameters such as total biomass and primary root growth were significantly reduced in the presence of the bacterium (data not shown). This unexpected growth inhibition was most likely associated with excessive bacterial proliferation even overgrowing the root system (inoculated at  $1 \times 10^8$  CFU/mL). Similarly, in the DiVo system (**Figure 1b**), *A. vinelandii* AEIV also failed to show a clear plant growth-promoting effect, as bacterial effects were negative for nearly all evaluated parameters, except for the number of lateral roots, which was the only parameter showing a statistically significant increase (data not shown).

In both the DiVo and CoVo systems, the unexpected inhibition (DiVo) and non-promotion (CoVo) of plant growth could be associated with the production of diffusible bacterial compounds that negatively affect root growth. The identification of the chemical compounds remains pending.



**Figure 1.** *In vitro* interaction systems between *A. thaliana* and *A. vinelandii* AEIV. (a) Direct Contact (DC), (b) Diffusible plus Volatile compounds (DiVo), and (c) Volatile Compounds (CoVo). Upper panels: control conditions; lower panels: interaction with *A. vinelandii* AEIV. MS: medium for *A. thaliana*; PY: medium for *A. vinelandii* AEIV. N = 18. Scale bar = 1 cm.

### *A. vinelandii* AEIV produces VOCs that promote plant growth

In contrast, when bacterial growth on the plant medium was prevented, in the CoVo interaction system, the effects of *A. vinelandii* AEIV were neutral for some growth parameters, such as leaf number and shoot diameter, and even negative for others, such as the number of lateral roots (data not shown); however, some important parameters, including primary root growth and total biomass were positively and significantly affected (**Figure 2**).

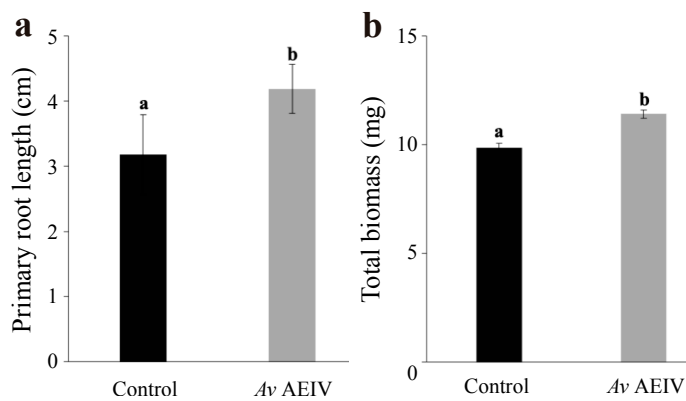
These results suggest that interaction mediated by volatile compounds promoted plant growth, as the physical separation between both organisms allowed adequate bacterial growth in an optimal culture medium, while simultaneously preventing diffusion of growth-inhibitory compounds into the plant medium and eventual root colonization. Nevertheless, the differential effects observed among the interaction systems, together with the variable impact on individual growth parameters, highlight the complexity of plant–microorganism interactions, which are still far from being fully understood.

### Effects of zinc on plant development

Evaluation of *A. thaliana* seedlings grown for 6 days on media supplemented with Zn confirmed that this heavy metal exerts a dose-dependent negative effect on biomass production and primary root growth (**Figure 3**), with statistically significant differences observed at ZnSO<sub>4</sub> concentrations between 100 and 300 μM. In addition, other growth parameters, including shoot diameter and the number of lateral roots, among others, were negatively affected (data not shown).

### *A. vinelandii* AEIV produces volatiles that mitigate the cellular damage caused by Zn

To further explore the potential applications of *A. vinelandii* AEIV in promoting plant growth under adverse conditions, we investigated whether the volatile compounds produced by this strain influence the growth of *A. thaliana* under Zn stress. Seedling growth was evaluated in the CoVo interaction system under control conditions (without Zn and without bacteria) and under Zn exposure (ZnSO<sub>4</sub> 0 to 300 μM) in the presence of



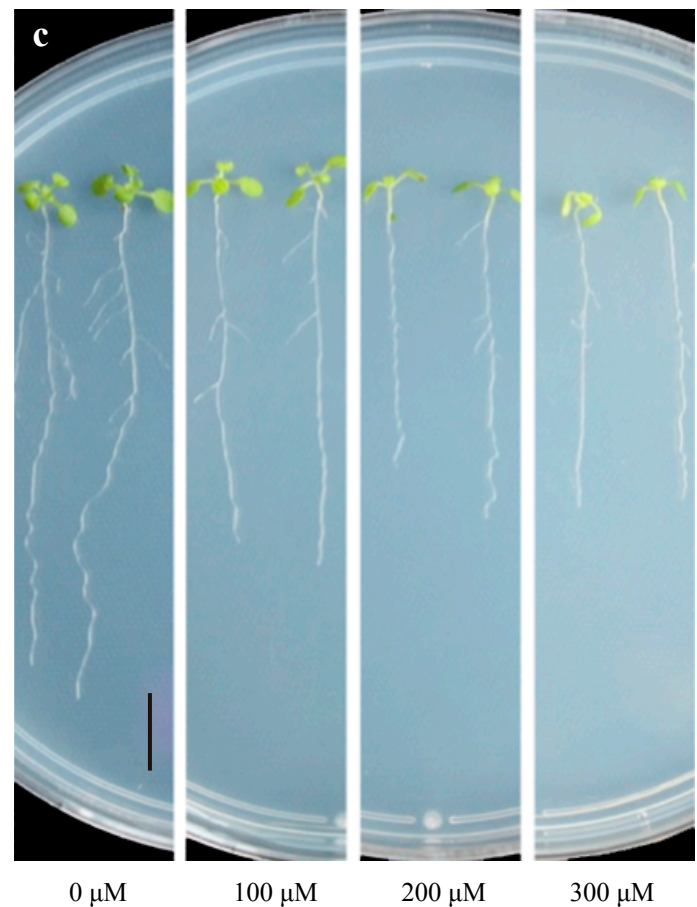
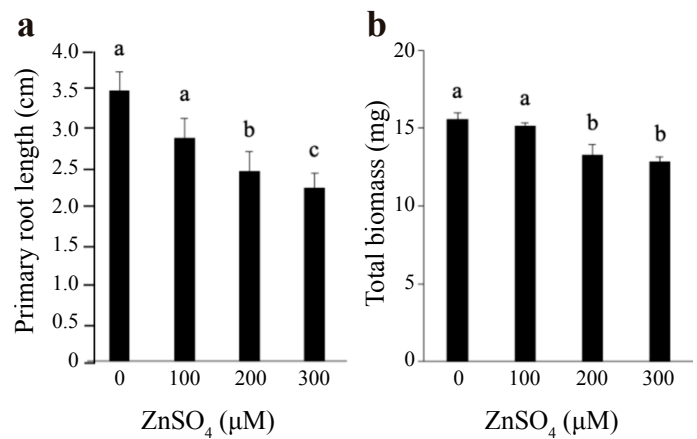
**Figure 2.** Effects of *A. vinelandii* AEIV volatiles on *A. thaliana* growth in the CoVo interaction system. (a) Primary root length (cm). (b) Total biomass (mg). Seedlings were grown under conditions in which bacterial growth on the plant medium was prevented. Data represent mean  $\pm$  SE (N = 18). Different letters indicate statistically significant differences between treatments (Student's *t* test;  $p \leq 0.05$ ).

the bacterium. Under these conditions, bacterial volatile compounds did not significantly modify the effects of Zn on total biomass or primary root growth of *A. thaliana* (Figure 4a, b). However, using a cellular damage reporter line (*pERF115::GUS:GFP*), we found that exposure to 300  $\mu\text{M}$  ZnSO<sub>4</sub> caused cellular damage in the primary root of *A. thaliana*. Notably, volatile compounds produced by *A. vinelandii* AEIV mitigated the cellular damage induced by exposure to this heavy metal (Figure 4c).

### ABA is a phytohormone involved in plant responses to Zn

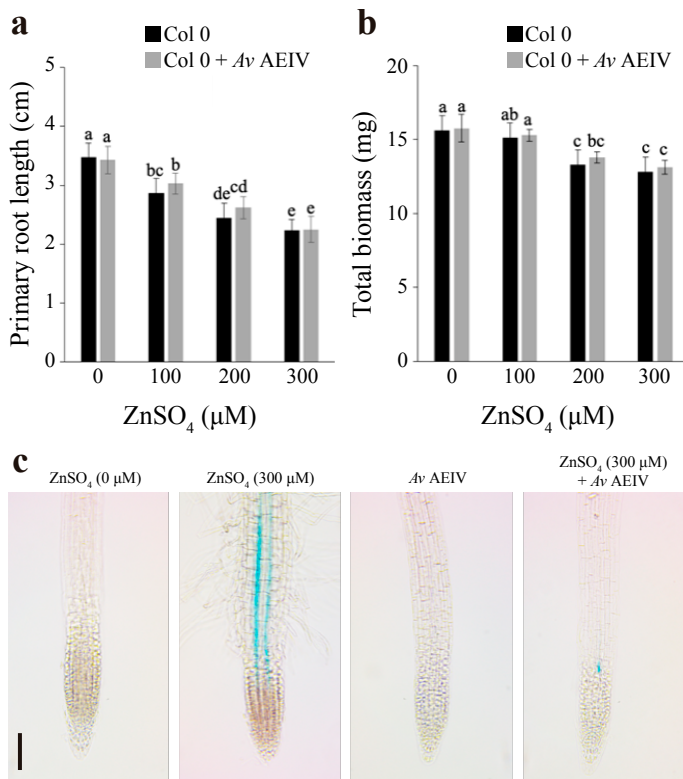
*Arabidopsis* reporter lines for different plant growth regulators were used to identify signaling pathways involved in *A. thaliana* responses to Zn exposure. Among the lines tested, *pABI5::GUS* showed clear changes in expression pattern and intensity in response to Zn (Figure 5a), indicating the involvement of ABA signaling in the response to this heavy metal. This result was not entirely unexpected, since ABA is a key phytohormone involved in plant responses to abiotic stress, such as heavy metal exposure (Hu *et al.*, 2022). Specifically, the reporter line revealed strong activation of the *ABI5* gene promoter in the roots of Zn-exposed seedlings. *ABI5* encodes a transcription factor regulating ABA-responsive genes involved in seed germination and abiotic stress responses (Skubacz *et al.*, 2016). Notably, promoter activity at 300  $\mu\text{M}$  ZnSO<sub>4</sub> reached levels comparable to those induced by 15  $\mu\text{M}$  ABA (Figure 5a).

Based on the results obtained with the *pABI5::GUS* reporter line, we next evaluated the direct involvement of *ABI5* in response to Zn using the ABA-insensitive mutant *abi5*, which displays a longer primary root than



**Figure 3.** Effects of ZnSO<sub>4</sub> on *A. thaliana* growth. (a) Primary root length (cm). (b) Total biomass (mg). (c) Representative images of seedlings grown under increasing ZnSO<sub>4</sub> concentrations (0–300  $\mu\text{M}$ ) for 6 days post-transfer (6 DPT). Data represent mean  $\pm$  SE (N = 18). Different letters indicate statistically significant differences among treatments (one-way ANOVA followed by Tukey's test;  $p \leq 0.05$ ). Scale bar = 1 cm.

its wild-type counterpart (Wassilewskija/Ws) (Figure 5b). Interestingly, the growth of this mutant, evaluated by the percentage of total biomass accumulation (Figure 5c), was less sensitive to Zn exposure, further supporting



**Figure 4. Effects of *A. vinelandii* AEIV volatiles on *A. thaliana* growth and cellular damage under Zn stress.** (a) Primary root length (cm). (b) Total biomass (mg) in seedlings grown under increasing ZnSO<sub>4</sub> concentrations (0–300 μM) in the presence or absence of *A. vinelandii* AEIV volatiles (CoVo system). Data represent mean ± SE (N = 18). Different letters indicate statistically significant differences among treatments (one-way ANOVA followed by Tukey’s test; p ≤ 0.05). (c) Histochemical detection of cellular damage using the *pERF115::GUS::GFP* reporter line in response to 300 μM ZnSO<sub>4</sub> in the presence or absence of bacterial volatiles. Images were acquired at 20× magnification (scale bar = 100 μm). N = 12.

the involvement of the ABA signaling pathway, and specifically ABI5, in plant responses to this heavy metal.

### Volatiles produced by *A. vinelandii* AEIV affect the ABA signaling pathway

We next used the *pABI5::GUS* reporter line to assess the effects of ZnSO<sub>4</sub> in the CoVo interaction system, in which the volatile compounds produced by *A. vinelandii* AEIV may influence ABA signaling. The results shown in **Figure 6** reveal that under Zn treatment, bacterial volatile compounds promoted *ABI5* gene expression along the root tip. This result provides evidence that the effects of *A. vinelandii* AEIV volatiles on plant responses to Zn involve the ABA signaling pathway, in which ABI5 plays a central role.

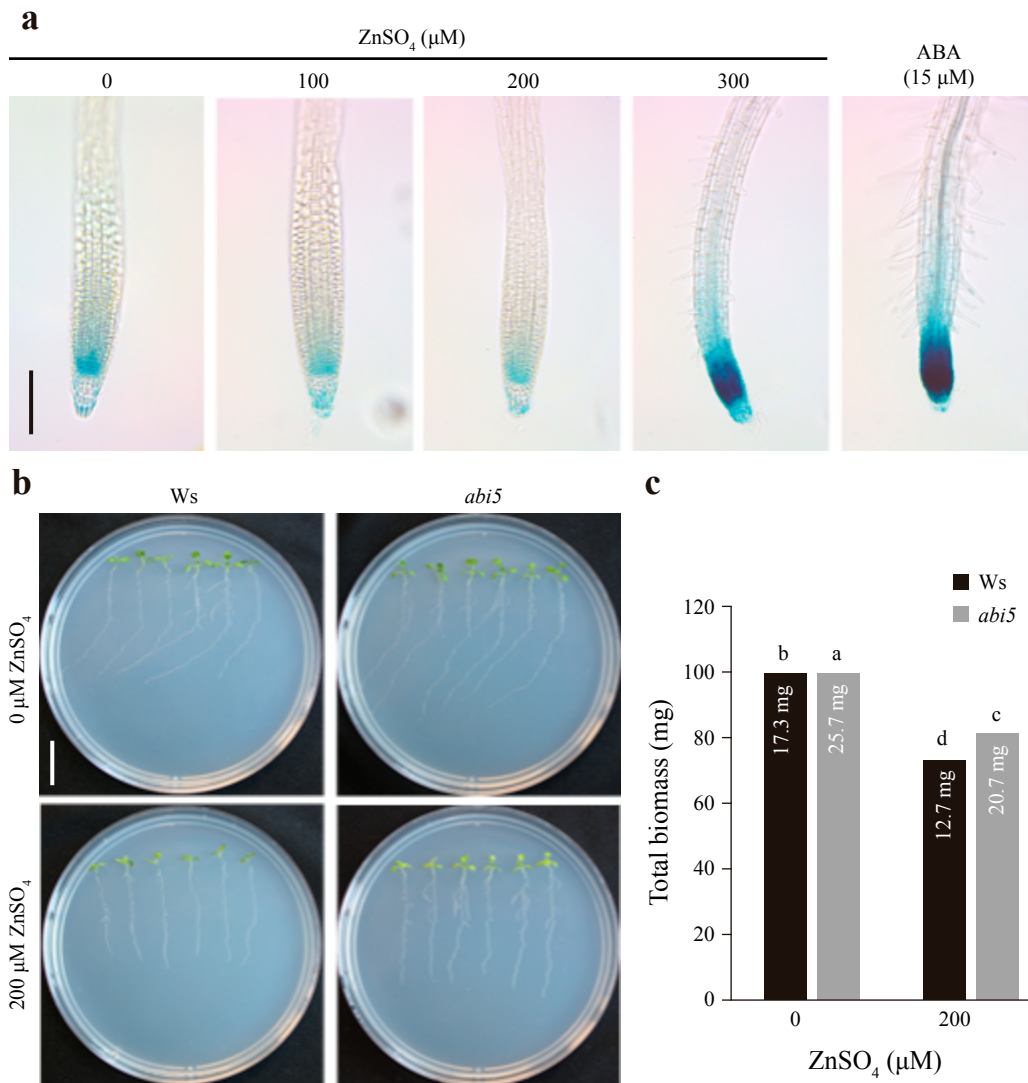
## Discussion

Plant growth-promoting bacteria (PGPB) influence plant development through multiple mechanisms, both directly and indirectly, including enhanced nutrient availability, phytohormone production, synthesis of antimicrobial compounds and emission of inorganic/organic volatile compounds that reinforce plant immune responses (Mondal *et al.*, 2025; Srikamwang *et al.*, 2023). Another key aspect of PGPB is the modulation of root architecture, such as increasing root biomass through the formation of lateral roots and/or root hairs, thereby improving soil exploration and water and nutrient acquisition. Additionally, PGPB can promote shoot development (i.e., more and larger leaves), allowing increased photosynthetic area (Mantuan *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2023).

*Azotobacter* is a genus of free-living Gram-negative bacteria that has long been used as a biofertilizer due to its nitrogen fixation capacity, converting atmospheric N gas into ammonia (NH<sub>3</sub>) available for plant uptake (Sumbul *et al.*, 2020; Barney, 2024). Species such as *A. vinelandii* also produce phytohormones (auxins, gibberellins, cytokinins) and biopolymers such as alginate (extracellular) and poly-β-hydroxybutyrate (PHB; intracellular), which contribute to plant growth promotion. Notably, alginates contain negatively charged functional groups capable of adsorbing positively charged metal ions, including Zn and other heavy metals, thereby reducing their bioavailability and toxicity under adverse conditions (Burciaga-Montemayor *et al.*, 2020).

Zinc is an essential micronutrient for plants, acting as a cofactor for various enzymes involved in key metabolic processes such as photosynthesis, plant hormone regulation, nucleic acid synthesis, and fruit/seed production/maturation. Indeed, a computational analysis in *A. thaliana* identified over 1,000 proteins that bind, transport, or require Zn. However, as is the case with all heavy metals, excess Zn becomes toxic and negatively affects plant growth. In fact, Zn concentrations of 300 μM in the culture medium repress *A. thaliana* seed germination, induce leaf chlorosis, restrict root growth, and promote abnormal root hair formation (Fukao *et al.*, 2011; Assunção, 2022). In addition, excessive Zn in soils can disrupt the uptake of other essential nutrients, such as phosphorus, magnesium, and manganese, due to competitive interactions at the root level (Amezcuca y Lara, 2017; Kaur y Garg, 2021).

Under heavy metal stress, plants activate multiple adaptive responses including, (1) enhancement of antioxidant system, (2) accumulation of osmoregulatory compounds, (3) modulation of photochemical systems, (4)



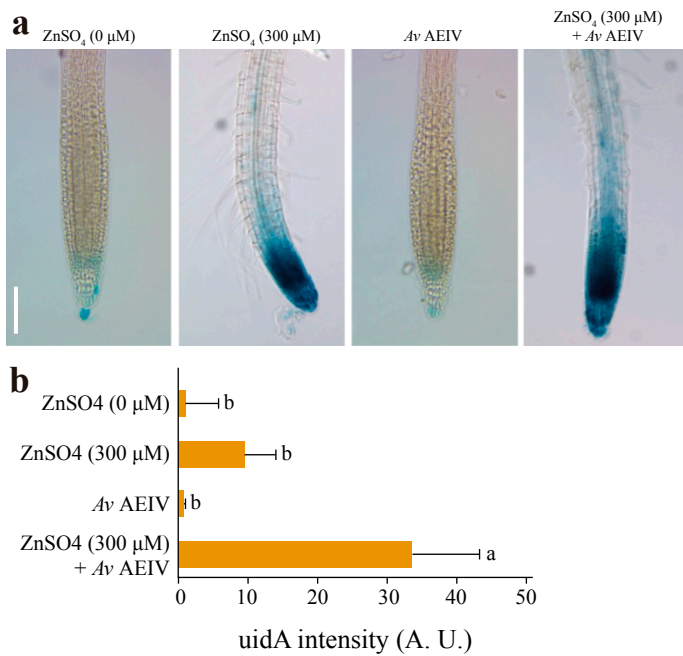
**Figure 5. Involvement of ABA signaling in *A. thaliana* responses to Zn stress.** (a) Expression of the *pABI5::GUS* reporter in root tips of *A. thaliana* seedlings exposed to ZnSO<sub>4</sub>. Images were acquired at 20× magnification (scale bar = 100 μm). N = 12. (b) Representative phenotype of wild-type (Ws) and *abi5* mutant seedlings grown under control conditions and in the presence of 200 μM ZnSO<sub>4</sub>. Scale bar = 1 cm. (c) Total biomass (% of control) of wild-type (Ws) and *abi5* mutant seedlings under control conditions and Zn treatment (200 μM). Data represent mean ± SE (N = 18). Average values for each treatment are shown within the bars, and the letters above the bars indicate statistically significant differences between them (one-way ANOVA followed by Tukey’s test; p ≤ 0.05).

restriction of metal uptake and translocation, (5) regulation of endogenous hormone levels, (6) reprogramming of gene expression, and (7) adjustment of plant-microorganism interactions (Feng *et al.*, 2023). Therefore, understanding how plants respond to high Zn concentrations at different stages of plant development is essential for implementing strategies to mitigate its harmful effects.

In this study, we established a plant-bacteria-heavy metal interaction system (*A. thaliana*-*A. vinelandii*-Zn) to evaluate the potential contribution of a free-living nitrogen-fixing PGPB in enhancing plant tolerance to Zn stress. The results showed that in two of the three interaction systems implemented (direct contact and diffusible plus volatile

compounds), between *A. thaliana*-*A. vinelandii* has a negative effect on plant growth. This unexpected outcome is likely associated with the high bacterial inoculum, which may have led to strong competition for nutrients in the rhizosphere and/or exacerbated stress-related signaling due to the combined presence of bacteria and Zn. It is also important to note that since the Zn concentrations used in this study negatively affected the growth of both *A. thaliana* and *A. vinelandii*, the contribution of diffusible compounds produced by the bacteria in response to Zn stress that affect plant growth cannot be excluded.

In contrast, when only volatile-mediated interaction was allowed, *A. vinelandii* AEIV exerted a positive ef-



**Figure 6.** Effects of *A. vinelandii* AEIV volatiles on ABA signaling in *A. thaliana* under Zn stress. (a) Expression of the *pABI5::GUS* reporter in root tips of *A. thaliana* seedlings exposed to ZnSO<sub>4</sub> (0 or 300 μM) in the presence or absence of *A. vinelandii* AEIV volatiles (CoVo system). Images were acquired at 20× magnification (scale bar = 100 μm). N = 12. (b) Quantification of reporter activity (arbitrary units, A.U.) based on the images shown in (a). Data represent mean ± SE (N = 3 for controls and N = 6 for treatments). Different letters indicate statistically significant differences among treatments (one-way ANOVA followed by Tukey's test;  $p \leq 0.05$ ).

fect on certain plant growth parameters. This observation led us to focus on this system to further investigate plant responses to Zn in the presence and absence of bacterial volatiles. Microorganisms are known to produce volatile compounds as products of their primary and secondary metabolism, and these compounds can stimulate plant growth, induce systemic resistance, or inhibit microbial competitors (Chandrasekaran *et al.*, 2022). In terms of plant health, volatiles produced by PGPB participate in plant-microorganism communication, modulating metabolic pathways and regulating the plant's defense responses (Rani *et al.*, 2023).

Although *A. vinelandii* AEIV volatiles did not significantly alleviate the negative effects of Zn on overall *A. thaliana* growth, they did mitigate Zn-induced cellular damage in root tissues. This suggests that their primary role may not be direct growth promotion under stress, but rather modulation of stress responses. The cellular damage most frequently associated with heavy metal stress includes excessive ROS accumulation, lipid peroxidation of membranes, loss of membrane integrity, and alterations of the photosynthetic apparatus. Several mechanisms, in-

cluding preservation of membrane integrity, maintenance of photosynthetic activity, and modification of ROS availability/accumulation through increased expression/activity of antioxidant enzymes (SOD, APX, CAT), have been proposed regarding the potential contribution of PGPB to mitigating these effects (Ajmal *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022). The mechanism by which *A. vinelandii* AEIV helps plants to mitigate zinc-induced cellular damage remains to be demonstrated.

In this context, our results indicate that Zn exposure activates an ABA-mediated signaling pathway, which is further influenced by bacterial volatiles. Specifically, the induction of *ABI5* gene expression, which encodes a transcription factor involved in ABA signaling, was observed under Zn stress. Since *ABI5* is known to regulate the expression of genes associated with senescence (*SGR1*, *NYC1*) and energy storage (i.e., *DGAT1*), its overexpression could be related to growth limitation in response to Zn exposure (Hu *et al.*, 2022; Skubacz *et al.*, 2016).

To further support this proposal, the *abi5* mutant was included in the analysis of the Zn response. The reduced sensitivity of the *abi5* mutant to Zn further supports the central role of this transcription factor in mediating plant responses to heavy metal stress. Moreover, the enhanced expression of *ABI5* in the presence of *A. vinelandii* AEIV volatiles suggests that the bacterium modulates the *A. thaliana* ABA signaling pathway to cope with Zn exposure. These findings indicate that bacterial volatiles may function primarily as regulators of plant stress signaling rather than as direct protective agents against Zn toxicity.

Collectively, our results reveal the complexity of plant-microorganism-metal interactions and suggest that *A. vinelandii* AEIV contributes to plant adaptation to Zn stress through modulation of hormonal signaling pathways. In this context, *ABI5* emerges as a key negative regulator of growth under Zn stress, and its manipulation could represent a potential biotechnological strategy to improve plant tolerance to heavy metals.

## Conclusion

The results of this research provide evidence that plant tolerance to heavy metals such as Zn is a complex trait that depends on the nature of plant-microorganism interaction, as well as on hormonal signaling and associated changes in gene expression. In this scenario, modulation of genes such as *ABI5*, together with the use of volatile-producing PGPBs represent a promising strategy for developing crops with improved tolerance to polluted environments.

## Acknowledgements

This work was supported by grants from the Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-PAPIIT, Project: IN-203226), and the Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI Project: CF-2023-I-1605). PPL received an undergraduate scholarship from DGAPA-PAPIIT: IN 213723-095024 and KABR received a postdoctoral fellowship from SECIHTI: EPM I12090/311/2023.

## References

- Aasfar A, Bargaz A, Yaakoubi K, Hilali A, Bennis I, Zeroual Y, Meftah Kadmiri I (2021). Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability (2021). *Front Microbiol* 12:628379. doi:10.3389/fmicb.2021.628379
- Ajmal AW, Yasmin H, Hassan MN, Khan N, Jan BL, Mumtaz S (2022). Heavy metal-resistant plant growth-promoting *Citrobacter werkmanii* strain WWN1 and *Enterobacter cloacae* strain JWM6 enhance wheat (*Triticum aestivum* L.) growth by modulating physiological attributes and some key antioxidants under multi-metal stress. *Front Microbiol*, 13:815704. doi:10.3389/fmicb.2022.815704
- Amezcuca J, Lara M (2017). El Zn en las plantas. *Ciencia* 68(3):28-35.
- Assunção AGL (2022). The F-bZIP-regulated Zn deficiency response in land plants. *Planta* 256(6):108. doi:10.1007/s00425-022-04019-6
- Barney BM. (2024). *Azotobacter vinelandii*. *Trends Microbiol* 32(10):1034-1035. doi:10.1016/j.tim.2024.07.006
- Bazihizina N, Taiti C, Marti L, Rodrigo-Moreno A, Spinelli F, Giordano C, Caparrotta S, Gori M, Azzarello E, Mancuso S (2014). Zn<sup>2+</sup>-induced changes at the root level account for the increased tolerance of acclimated tobacco plants. *J Exp Bot* 65:4931-4942. doi:10.1093/jxb/eru251
- Burciaga-Montemayor NG, Claudio-Rizo JA, Cano-Salazar LF, Martínez-Luévanos A, Vega-Sánchez P (2020). Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 23. doi:10.22201/fesz.23958723e.2020.0.211
- Chandrasekaran M, Paramasivan M, Sahayarayan JJ (2022). Microbial volatile organic compounds: an alternative for chemical fertilizers in sustainable agriculture development. *Microorganisms* 11(1):42. doi:10.3390/microorganisms11010042
- Das HK (2019). *Azotobacter* as biofertilizer. *Adv Appl Microbiol*, 108:1-43. doi:10.1016/bs.aambs.2019.07.001
- Felemban A, Braguy J, Zurbriggen MD, Al-Babili S (2019). Apocarotenoids involved in plant development and stress response. *Front Plant Sci* 10:1168. doi:10.3389/fpls.2019.01168
- Feng D, Wang R, Sun X, Liu L, Liu P, Tang J, Zhang C, Liu H (2023). Heavy metal stress in plants: Ways to alleviate with exogenous substances. *Sci Tot Environ* 897:165397. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.165397
- Ferjani A, Tsukagoshi H, Vassileva V (2023). Editorial: Model organisms in plant science: *Arabidopsis thaliana*. *Front Plant Sci* 14:1279230. doi:10.3389/fpls.2023.1279230
- Finkelstein R (2013). Abscisic acid synthesis and response. *The Arabidopsis Book* 11:e0166. doi:10.1199/tab.0166
- Fukao Y, Ferjani A, Tomioka R, Nagasaki N, Kurata R, Nishimori Y, Fujiwara M, Maeshima M (2011). iTRAQ Analysis reveals mechanisms of growth defects due to excess zinc in *Arabidopsis*. *Plant Physiol* 155(4):1893-1907. doi:10.1104/pp.110.169730
- Gong Z, Xiong L, Shi H, Yang S, Herrera-Estrella LR, Xu G, Chao DY, Li J, Wang PY, Qin F, Li J, Ding Y, Shi Y, Wang Y, Yang Y, Guo Y, Zhu JK (2020). Plant abiotic stress response and nutrient use efficiency. *Sci China Life Sci* 63:635-674. doi:10.1007/s11427-020-1683-x
- Hasan A, Tabassum B, Hashim M, Khan N (2024). Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: A Review. *Bacteria* 3(2):59-75. doi:10.3390/bacteria3020005
- Heyman J, Cools T, Canher B, Shavialenka S, Traas J, Vercauteren I, Van den Daele H, Persiau G, De Jaeger G, Sugimoto K, De Veylder L (2014). The heterodimeric transcription factor complex ERF115-PAT1 grants regeneration competence. *Nat Plants* 2(11):16165. doi:10.1038/nplants.2016.165
- Hu W, Zhang J, Wu Z, Loka DA, Zhao W, Chen B, Wang Y, Meng Y, Zhou, Z, Gao L (2022). Effects of single and combined exogenous application of abscisic acid and melatonin on cotton carbohydrate metabolism and yield under drought stress. *Ind Crops Prod* 176:114302. doi:10.1016/j.indcrop.2021.114302
- Kaur H, Garg N (2021). Zinc toxicity in plants: a review. *Planta* 253(6):129. doi:10.1007/s00425-021-03642-z
- Larsen B, Haug A (1971). Biosynthesis of alginate. 1. Composition and structure of alginate produced by *Azotobacter vinelandii* (Lipman). *Carbohydr Res* 17(2):287-296. doi:10.1016/s0008-6215(00)82536-7
- Lim J, Lim CW, Lee SC (2022). Core components of abscisic acid signaling and their post-translational modification. *Front Plant Sci* 13:895698. doi:10.3389/fpls.2022.895698
- Liu D, Mou S, Zou Y, Yang B, Ding R, Nie J, Zhang X, Jia Z, Han Q (2023). Exploring the relationship between deep roots and shoot growth of wheat under different soil moisture: A large soil column experiment 1. *Rhizosphere* 25:100675. doi:10.1016/j.rhisph.2023.100675
- López-Molina L, Mongrand S, Chua NH (2001). A post-germination developmental arrest checkpoint is mediated by abscisic acid and requires the ABI5 transcription factor in *Arabidopsis*. *PNAS USA* 98:4782-4787. doi:10.1073/pnas.081594298
- Mantuano D, Ornellas T, Aidar MPM, Mantovani A (2021). Photosynthetic activity increases with leaf size and intercellular spaces in an al-

- lomorphie lianescent aroid *Rhodospatha oblongata*. *Funct Plant Biol* 48:557-566. doi:10.1071/FP20215
- Miki B, McHugh S (2004). Selectable marker genes in transgenic plants: applications, alternatives and biosafety. *J Biotechnol* 107(3):193-232. doi:10.1016/j.jbiotec.2003.10.011
- Mondal S, Sarkar O, Mandal SM, Chattopadhyay A, Sahoo P (2025). Monitoring CO as a plant signaling molecule under heavy metal stress using carbon nanodots. *Dalton Trans* 54(20):8214-8223. doi:10.1039/d4dt03101f
- Nakayama S, Sugano SS, Hirokawa H, Mori IC, Daimon H, Kimura S, Fukao Y (2020). Manganese treatment alleviates Zn deficiency symptoms in *Arabidopsis* seedlings. *Plant, Cell Physiol* 61:1711-1723. doi:10.1093/pcp/pcaa094
- Ng LM, Melcher K, Teh BT, Xu HE (2014). Abscisic acid perception and signaling: structural mechanisms and applications. *Acta Pharmacol Sin* 35:567-584. doi:10.1038/aps.2014.5
- Núñez C, Peña C, Kloeckner W, Hernández-Eligio A, Bogachev AV, Moreno S, Guzmán J, Büchs J, Espín G (2013). Alginate synthesis in *Azotobacter vinelandii* is increased by reducing the intracellular production of ubiquinone. *Appl Microbiol Biotechnol* 97(6):2503-2512. doi:10.1007/s00253-012-4329-0
- Pantigoso HA, Newberger D, Vivanco JM (2022). The rhizosphere microbiome: Plant-microbial interactions for resource acquisition. *J Appl Microbiol* 133:2864-2876. doi:10.1111/jam.15686
- Rani A, Rana A, Dhaka RK, Singh AP, Chahar M, Singh S, Nain L, Singh KP, Minz D (2023). Bacterial volatile organic compounds as biopesticides, growth promoters and plant-defense elicitors: current understanding and future scope. *Biotech Adv* 63:108078. doi:10.1016/j.biotechadv.2022.108078
- Sahoo RK, Rani V, Tuteja N (2021). *Azotobacter vinelandii* helps to combat chromium stress in rice by maintaining antioxidant machinery. *Biotech* 11(6):275. doi:10.1007/s13205-021-02835-3
- Shaffique S, Hussain S, Kang SM, Imran M, Kwon EH, Khan MA, Khan MA, Lee IJ (2023). Recent progress on the microbial mitigation of heavy metal stress in soybean: overview and implications. *Front Plant Sci* 14:1188856. doi:10.3389/fpls.2023.1188856
- Skubacz A, Daszkowska-Golec A, Szarejko I (2016). The role and regulation of ABI5 (ABA-Insensitive 5) in plant development, abiotic stress responses and phytohormone crosstalk. *Front Plant Sci* 7:1884. doi:10.3389/fpls.2016.01884
- Srikamwang C, Onsa NE, Sunanta P, Sangta J, Chanway CP, Thanakasaranee S, Sommano SR (2023). Role of microbial volatile organic compounds in promoting plant growth and disease resistance in horticultural production. *Plant Signal Behav* 18(1):2227440. doi:10.1080/15592324.2023.2227440
- Stuiver CEE, Posthumus FS, Parmar S, Shahbaz M, Hawkesford MJ, De Kok LJ (2014). Zn exposure has differential effects on uptake and metabolism of sulfur and nitrogen in Chinese cabbage. *J Plant Nut Soil Sci* 177:748-757. doi:10.1002/jpln.201300369
- Sumbul A, Ansari RA, Rizvi R, Mahmood I (2020). *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi J Biol Sci* 27(12):3634-3640. doi:10.1016/j.sjbs.2020.08.004
- Wang Y, Narayanan M, Shi X, Chen X, Li Z, Natarajan D, Ma Y (2022). Plant growth-promoting bacteria in metal-contaminated soil: current perspectives on remediation mechanisms. *Front Microbiol* 13:966226. doi:10.3389/fmicb.2022.966226
- Yoshida N, Takase R, Sugahara Y, Nambu Y, Hashimoto W (2022). Direct production of polyhydroxybutyrate and alginate from crude glycerol by *Azotobacter vinelandii* using atmospheric nitrogen. *Sci Rep* 12(1):8032. doi:10.1038/s41598-022-11728-1



# Carotenoides de origen microbiano y el impacto en nuevas tendencias de la industria alimentaria con enfoque en México

Carotenoids of microbial origin and their impact on new trends in the food industry, with a focus on Mexico

Rafael Madrigal Chávez, Juan Carlos González Hernández ✉ 

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia, Avenida Tecnológico 1500, Morelia, Mich., 58120, México.

## Resumen

Los carotenoides de origen microbiano son importantes en la industria alimentaria global como colorantes naturales y compuestos bioactivos. Este artículo revisa su diversidad, sus propiedades fisicoquímicas y bioactivas, los microorganismos que los producen, los métodos de producción, la optimización de procesos, las aplicaciones industriales, las tendencias regulatorias y el panorama comercial, con énfasis en el contexto biotecnológico y regulatorio de México. Además, se destacan investigaciones recientes sobre la obtención de carotenoides a partir de levaduras no convencionales, específicamente de *Rhodotorula* sp., su aplicación en bioprocesos industriales y la perspectiva futura del mercado en México, con base en el análisis de estudios científicos recientes (2020–2025). El impacto de este artículo es significativo, ya que se espera que el mercado de carotenoides crezca considerablemente en los próximos años, impulsado por la demanda de productos naturales.

**Palabras clave:** antioxidantes, *Rhodotorula*, carotenoides, pigmentos.

## Abstract

Carotenoids of microbial-origin are important in the global food industry as natural colorants and bioactive compounds. This article reviews their diversity, physicochemical and bioactive properties, the microorganisms that produce them, production methods, process optimization, industrial applications, regulatory trends, and the commercial outlook, with emphasis on the biotechnological and regulatory context of Mexico. Additionally, it highlights recent research (2020–2025) on obtaining carotenoids from the non-conventional yeast *Rhodotorula* sp., its application in industrial bioprocesses, and a forward-looking perspective on the carotenoid market in Mexico. The impact of this research is significant, as the carotenoid market is expected to grow considerably in the coming years, driven by the demand for natural products.

**Keywords:** antioxidants, *Rhodotorula*, carotenoids, pigments.

## Introducción

Los carotenoides son metabolitos secundarios que pertenecen al grupo de los terpenoides; estos se caracterizan por su sistema conjugado de dobles enlaces que les otorga su capacidad antioxidante. Se utilizan como colorantes naturales que van desde el amarillo hasta un rojo intenso. Son reconocidos por sus propiedades organolépticas y, más recientemente, por sus propiedades funcionales, como su capacidad antioxidante, por lo que cada día los encontramos en más alimentos (Kulczyk-Małysa y Bogusławska-Wąs, 2025).

Estudios de percepción del consumidor indican que la demanda de ingredientes naturales ha crecido significativamente en la última década, impulsada por una mayor conciencia sobre los efectos adversos asociados al consumo prolongado de colorantes sintéticos —como la

## Historial

Manuscrito recibido: 15 de noviembre de 2025

Manuscrito aceptado: 12 de marzo de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

## ✉ Autor para correspondencia

Juan Carlos González-Hernández

juan.gh@morelia.tecnm.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2558-5108>

## Como citar:

Madrigal-Chávez R, González-Hernández JC (2026). Carotenoides de origen microbiano y el impacto en nuevas tendencias de la industria alimentaria con enfoque en México (2024-2025). *Ciencia Nicolaita* 96:76-82. DOI:10.35830/cn.vi96.892

tartrazina y el rojo allura AC— vinculados a reacciones de hipersensibilidad, alteraciones conductuales en niños y potencial genotoxicidad en estudios experimentales (EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources Added to

Food, 2009; Kobylewski y Jacobson, 2012; McCann *et al.*, 2007). Por lo tanto, los consumidores están en busca de alimentos que, además de ser categorizados como «orgánicos», es decir, producidos sin pesticidas sintéticos, fertilizantes químicos ni organismos genéticamente modificados, tengan un beneficio adicional para la salud: alimentos funcionales con propiedades nutraceuticas, económicos y bajo las regulaciones de la autoridad alimentaria (Vysoka *et al.*, 2023).

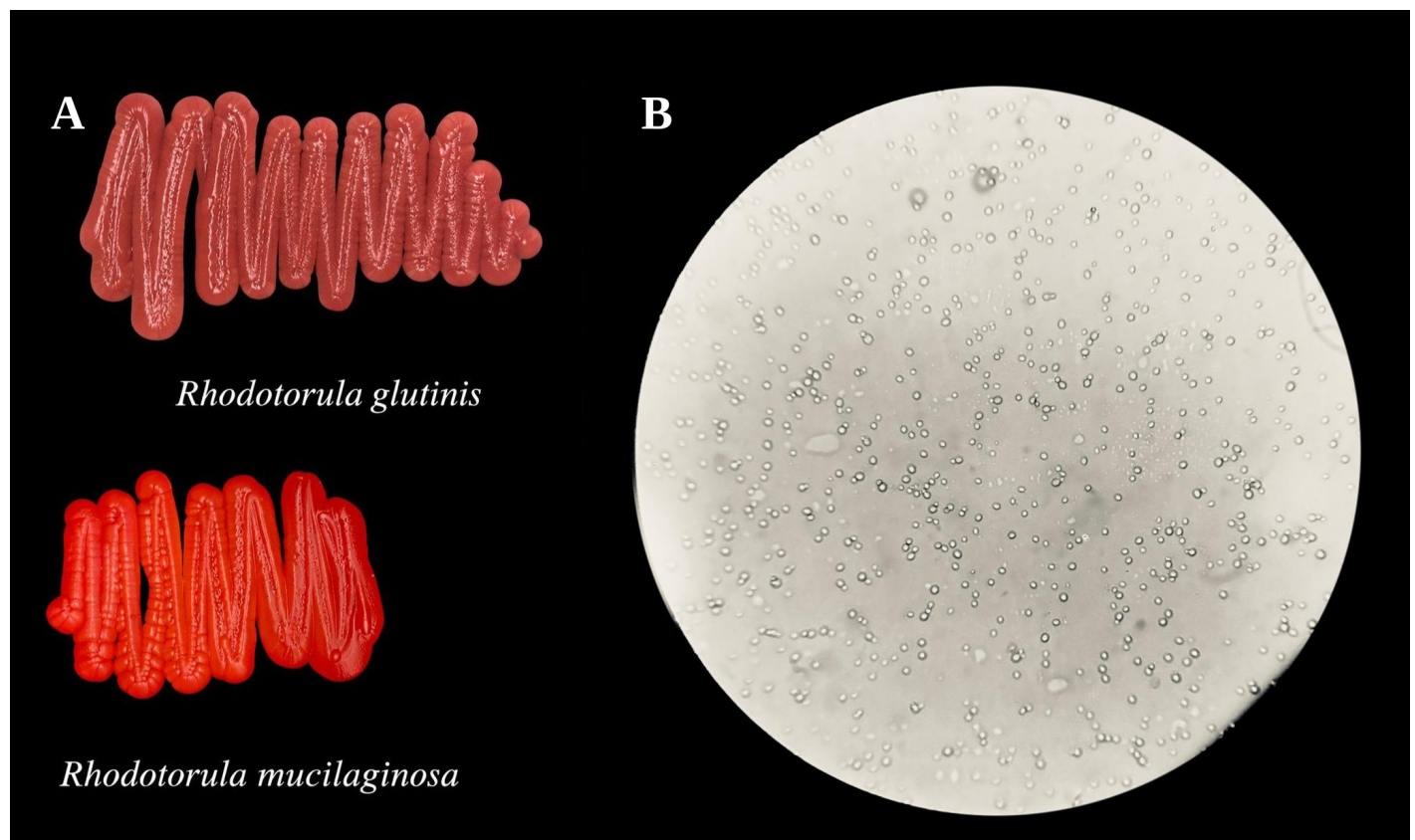
Los alimentos funcionales se definen como aquellos que, más allá de su valor nutritivo básico, contienen componentes bioactivos que contribuyen a la prevención de enfermedades o a la optimización de funciones fisiológicas (Nascimento y Barros, 2025). Los nutraceuticos, por su parte, son compuestos bioactivos, como los carotenoides, que en presentaciones concentradas ejercen efectos terapéuticos o preventivos documentados clínica o experimentalmente (Maaz *et al.*, 2024). Esto ha fomentado la búsqueda de procesos innovadores basados en fuentes naturales y sostenibles para sustituir la síntesis química (Sun *et al.*, 2025).

Los microorganismos, en particular levaduras no convencionales de los géneros *Rhodotorula* y *Phaffia*

*rhodozyma*, son productoras de carotenoides (Tong *et al.*, 2025). Estas levaduras tienen la ventaja de poder utilizar residuos agroindustriales como sustrato, para promover la economía circular, facilitar la obtención de materia prima para su producción y obtener una gran variedad de metabolitos (Priyadarshini y Kataria, 2025). En México, la demanda de colorantes de origen natural ha mostrado un crecimiento sostenido, impulsada por modificaciones regulatorias en el etiquetado frontal de alimentos (NOM-051-SCFI/SSA1-2010, modificación 2020) que incrementaron la conciencia del consumidor sobre la composición de los productos alimentarios (Alam *et al.*, 2025; Vargas-Meza *et al.*, 2019). Se recalca la oportunidad que tiene México para posicionarse como líder en la industrialización de carotenoides de origen microbiano (Sun *et al.*, 2025; Tong *et al.*, 2025).

## Carotenoides microbianos

Existe una gran variedad de carotenoides microbianos que pueden obtenerse de diversas fuentes; una de ellas es la levadura del género *Rhodotorula*, que deriva del latín y



**Figura 1.** Colonias de *Rhodotorula* sp. en placa de agar. **a).** *R. glutinis* ITMLB22; abajo: *R. mucilaginosa* ITMLB17), mostrando la coloración naranja-rosada característica debida a la acumulación intracelular de carotenoides. **b).** Microfotografía de células al microscopio óptico con el objetivo de 40X, donde se aprecian las células ovoides típicas del género.

significa “protuberancia roja”, aludiendo a la característica de la levadura de adquirir distintas tonalidades de este color (Tong *et al.*, 2025). En la **Figura 1** podemos observar su morfología en placa y en microscopio.

Estos se clasifican en la literatura por diversos autores: los carotenos, que son hidrocarburos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno, como el β-caroteno, el α-caroteno y el licopeno; y, por otro lado, las xantófilas, que son derivados oxigenados, como la luteína, la zeaxantina, la astaxantina y la cantaxantina (Kulczyk-Małysa y Bogusławska-Wąs, 2025). La estructura común de los carotenoides es un esqueleto tetraterpenoide C<sub>40</sub>, altamente conjugado, lo que determina sus propiedades colorantes y bioactivas (Sharma y Ghoshal, 2020). En la **Tabla 1** se describen algunos carotenoides de interés biotecnológico y sus propiedades bioactivas.

El β-caroteno, es un carotenoide liposoluble, se caracteriza por sus propiedades antioxidantes y su capacidad para actuar como suplemento alimenticio. Además de ser un colorante natural, el β-caroteno puede ayudar a proteger las células del daño oxidativo; se ha aplicado ampliamente en múltiples industrias, incluyendo la medicina, la nutrición, los aditivos alimentarios, la cosmética y los aditivos para piensos. Además, se ha empleado en propuestas médicas y de salud para prevenir el cáncer y otros tumores (Li *et al.*, 2022; Priyadarshini y Kataria, 2025).

El toruleno, comúnmente presente en levaduras rojas del género *Rhodotorula*, posee propiedades antioxidantes superiores a las del β-caroteno. Su producción a gran escala requiere procesos optimizados y una cuidadosa selección de cepas. Los compuestos ricos en antioxidantes, como el toruleno, tienen un gran potencial como aditivos seguros en suplementos dietéticos, cosméticos y farmacéuticos (Priyadarshini y Kataria, 2025).

La torularodina es similar al toruleno; presenta

un grupo funcional adicional con un átomo de oxígeno. Comparte algunas propiedades antioxidantes con otros carotenoides y presenta efectos protectores frente al daño causado por especies reactivas de oxígeno, así como contribuye a la estabilización de la membrana en condiciones de estrés (Vysoka *et al.*, 2023). Debido a sus propiedades antioxidantes y potenciales bioactivas, la torularodina está siendo explorada para su uso en formulaciones cosméticas y suplementos dietéticos y posiblemente en aplicaciones farmacéuticas (Priyadarshini y Kataria, 2025).

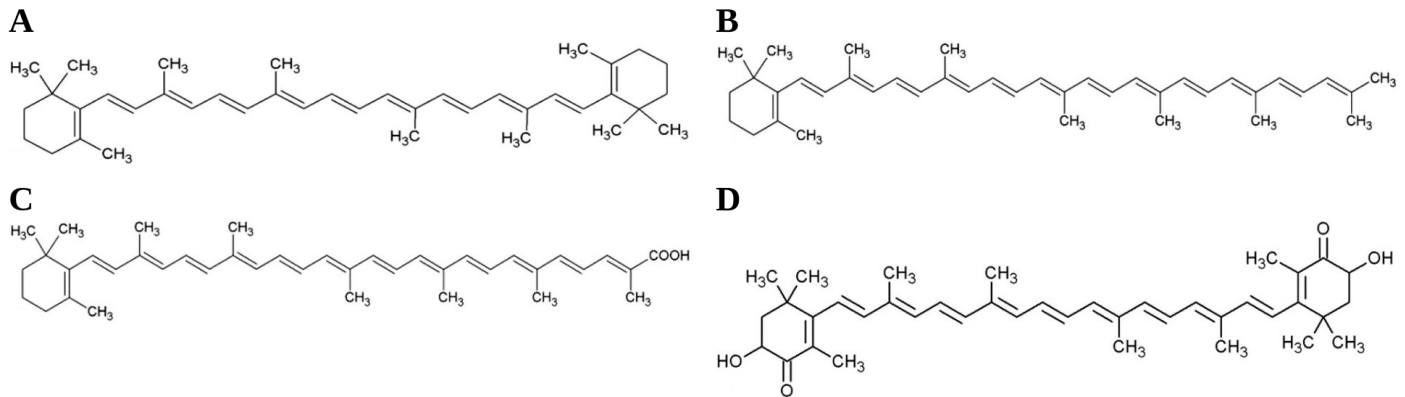
La astaxantina es un carotenoide que se utiliza en alimentos para animales y en cosméticos. Debido a sus elevadas propiedades antioxidantes, se emplea en formulaciones antienvjecimiento y, gracias a su intenso color rojo, en alimentos para animales. Es un carotenoide secundario con una fuerte capacidad antioxidante es más potente que la coenzima Q10 o la vitamina E, siendo 65 veces más activa que la vitamina C. Aunque aproximadamente el 95% de la astaxantina comercial se sintetiza químicamente a partir de fuentes fósiles, el interés por la astaxantina natural y sostenible está creciendo (Meyer *et al.*, 2025; Sun *et al.*, 2025). Podemos apreciar las estructuras de estos carotenoides en la **Figura 2a-d**.

### Propiedades fisicoquímicas y bioactivas

Los carotenoides poseen características que son de interés para la formulación de alimentos funcionales, algunas de ellas son: Solubilidad, ya que son compuestos lipofílicos, lo que determina su integración en matrices grasas y membranas celulares; estabilidad: propensos a la degradación por exposición a la luz, calor, oxígeno y acidez, aunque algunos, como la astaxantina microbiana, muestran mayor estabilidad térmica y lumínica comparados

**Tabla 1.** Carotenoides de interés biotecnológico

Carotenoide	Estructura	Grupo	Propiedades Bioactivas	Fuente
Astaxantina	C <sub>40</sub> con O	Xantofila	Antioxidante, antiinflamatoria, antitumoral, inmunomoduladora, neuroprotectora	(Xie <i>et al.</i> , 2025)
β-caroteno	C <sub>40</sub> sin O	Caroteno	Precursor de vitamina A, antioxidante, inmunoestimulante	(Kulczyk-Małysa y Bogusławska-Wąs, 2025)
Cantaxantina	C <sub>40</sub> con O	Xantofila	Antioxidante, fotoprotector, anticancerígeno	(Gaur y Bera, 2023)
Luteína	C <sub>40</sub> con O	Xantofila	Antioxidante, previene oncogénesis, neuroprotector	(Jayakanthan <i>et al.</i> , 2024)
Zeaxantina	C <sub>40</sub> con O	Xantofila	Antioxidante, salud ocular, antidiabético	(Sanlier <i>et al.</i> , 2024)
Toruleno	C <sub>40</sub> sin O	Caroteno	Antioxidante, inmunomodulador	(Vysoka <i>et al.</i> , 2023)
Torularodina	C <sub>40</sub> con O	Xantofila	Antioxidante, antibacteriano, protección celular	(De Lima <i>et al.</i> , 2025)
Licopeno	C <sub>40</sub> sin O	Caroteno	Antioxidante, prevención de cáncer	(Maaz <i>et al.</i> , 2025)



**Figura 2.** a)  $\beta$ -Caroteno ( $C_{40}H_{56}$ ), precursor de vitamina A. b) Toruleno ( $C_{40}H_{54}$ ), extremo  $\psi$  asimétrico de cadena abierta. c) Torularodina ( $C_{40}H_{52}O_2$ ), con grupo  $-COOH$  terminal. d) Astaxantina ( $C_{40}H_{52}O_4$ ), con grupos 3-hidroxi y 4-oxo en cada anillo terminal (Tomado y modificado de Rapoport *et al.*, 2021).

con equivalentes vegetales; bioactividad: Exhiben actividades antioxidantes superiores a los tocoferoles y ácido ascórbico, además de efectos antiinflamatorios, anticancerígenos, inmunomoduladores, cardioprotectores y neuro protectores. Adicionalmente, algunos carotenos, como el  $\beta$ -caroteno y el  $\gamma$ -caroteno, pueden convertirse en vitamina A, esencial para la función visual y la inmunidad (Banerjee *et al.*, 2024).

Además, propiedades específicas de la astaxantina microbiana, detalladas en varios estudios recientes, la ubican como un antioxidante efectivo para neutralizar radicales libres y proteger de los daños oxidativos celulares, así como para regular la expresión génica relacionada con el envejecimiento y las patologías crónicas (Pružinská *et al.*, 2024).

## Producción de carotenoides

La optimización de la fermentación es crucial para mejorar la eficiencia y la eficacia de los procesos de obtención de estos compuestos. Los factores clave incluyen la relación carbono-nitrógeno (C/N), la relación carbono-fósforo (C/P), la relación carbono-sulfato (C/S), la concentración de sales, los iones de metales pesados, los niveles de oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y la exposición a la luz (Gedela *et al.*, 2024; Kulczyk-Małysa y Bogusławska-Wąs, 2025; Ochoa-Viñals *et al.*, 2024; Priyadarshini y Kataria, 2025; Sun *et al.*, 2025; Tran *et al.*, 2020). Este proceso de optimización no solo resulta en operaciones más eficientes y una mayor producción, sino que también garantiza una calidad de producto consistente y confiable en la producción industrial (Kulczyk-Małysa y Bogusławska-Wąs, 2025).

Las relaciones C/N más altas también mejoran la

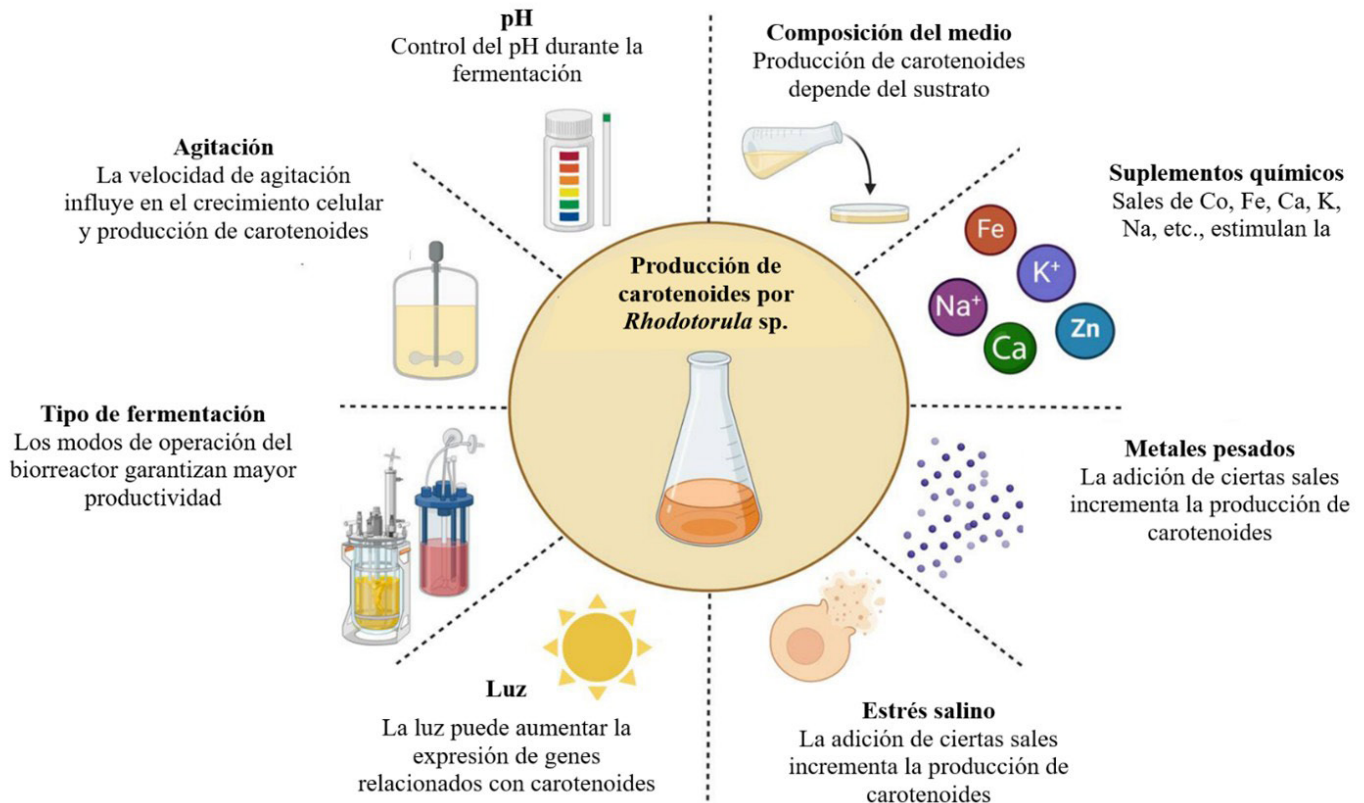
acumulación de carotenoides, cuya producción requiere un entorno con una relación C/P o C/S más baja. Las sales, en particular las que contienen iones  $Na^+$  y  $K^+$ , influyen en la producción de lípidos y carotenoides en especies de *Rhodotorula*. A menudo generan estrés osmótico por concentraciones elevadas, lo que puede inducir especies reactivas de oxígeno (ROS) y promover que la cepa produzca más lípidos y  $\beta$ -caroteno, lo que mejora su adaptabilidad (Gedela *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2025).

Al establecer la composición del medio de cultivo evaluando cuidadosamente las concentraciones de los nutrientes, las sales y los iones de metales pesados involucrados en las rutas metabólicas, los niveles de oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y la exposición a la luz, se pueden lograr condiciones de fermentación óptimas que maximicen el crecimiento celular, la producción de compuestos específicos y la productividad general (Tong *et al.*, 2025).

## Influencia de la selección de factores en la síntesis de carotenoides

La exposición a la luz disminuye la coloración de las colonias de *Rhodotorula sp.*, lo que reduce la producción de carotenoides en un 70 %, especialmente con la luz azul. Adicionalmente, una temperatura entre 10 y 25 °C, una concentración de 1.0 M de sodio y 0.1 M de potasio, y un pH de 5 pueden incrementar en un 60 % la producción de carotenoides (Priyadarshini y Kataria, 2025).

*Rhodotorula sp.* es una levadura prometedora en biotecnología por su versatilidad, resiliencia y capacidad para producir compuestos de interés industrial. En la **Figura 3**, se muestran los factores que influyen en la producción de estos carotenoides.



**Figura 3.** Factores que influyen en la producción de carotenoides en *Rhodotorula* sp (Tomado y modificado de Ochoa-Viñals et al., 2024).

Estas características posicionan a *Rhodotorula* sp. como un organismo clave para el desarrollo de procesos biotecnológicos sostenibles y eficientes, con aplicaciones directas en la industria de alimentos funcionales y nutraceuticos, como se describieron en la sección de Propiedades Fisicoquímicas.

### Perspectivas y desafíos a futuro

La U.S. Food and Drug Administration (FDA) anunció que eliminaría de su lista de aditivos aprobados a los colorantes sintéticos, incluyendo el Rojo 3, Rojo 40, Amarillo 5, Amarillo 6, Azul 1, Azul 2 y Verde 3 de su lista de aditivos alimentarios permitidos. Esto afectaría en gran medida a la industria de los alimentos, especialmente en la fabricación de dulces, cereales, bebidas y snacks, y por lo tanto es importante buscar nuevas soluciones naturales y económicas (Food and Drug Administration, 2025). Como alternativa se tienen los carotenoides, que además de ser utilizados como colorantes, tienen capacidad antioxidante que disminuyen el estrés oxidativo de las células. Este estrés oxidativo causado por especies reactivas de oxígeno (ROS) se relaciona con la mayoría de las enfermedades no transmisibles, según la Organización Mundial de la Salud (OMS),

responsables de más del 74% de las muertes anuales a nivel mundial (o casi 41 millones de muertes) (Parveen et al., 2025). Se proyecta que el crecimiento del mercado de carotenoides pase de 1.57 mil millones en 2022 a 2.09 mil millones en 2027, con un crecimiento anual compuesto del 4.5%. La estabilidad, seguridad y coloración rojo claro de la astaxantina la han convertido en una fuente adecuada de pigmentos en las empresas de procesamiento de alimentos en general. El tamaño del mercado anual global de astaxantina crecerá de aproximadamente 1.37 mil millones de dólares en 2020 a 3.5 mil millones para 2026, creciendo a una tasa anual compuesta del 16.8% (Priyadarshini y Kataria, 2025; Sun et al., 2025).

El mercado de carotenoides crece rápido y es dinámico en México (tasa de rotación anual predictiva del 7.4% de 2024 a 2034), y con estimación comercial de alrededor de 42.7 millones de dólares en 2024. Algunas empresas como Piveg, Inc. que están involucradas en el mercado de carotenoides microbianos y luteína, algunas otras como IOSA Industrial Orgánica, Kemin Industries, BASF SE y DSM-Firmenich AG ya están en México, y se están abriendo camino en este mercado en desarrollo.

La demanda de suplementos dietéticos químicamente no contaminados, productos cosméticos naturales, alimentos funcionales y cultivos derivados de la acuicul-

tura está aumentando (David, 2024). Estas empresas están enfocadas en el mercado basado en alimentos y bebidas, y en las categorías especialmente de rápida expansión que involucran nutraceuticos lucrativos; cosméticos en las estrategias de expansión de mercado más recientes. Los carotenoides naturales (a través de fuentes microbianas) tienen un mayor costo de producción en comparación con los procesos que utilizan cualquiera sintético, pero el creciente número de consumidores que valoran algunos componentes químicos, y/o aquellos con un proceso verde en la obtención de su producto, han aumentado su nivel de aceptación del uso de alternativas naturales (o más a menudo, orgánicas) (Alam *et al.*, 2025). Los avances en la biotecnología aplicados a los procesos de fermentación, selección de sustratos, condiciones de crecimiento, técnicas de biología molecular como la mutagénesis inducida; la microencapsulación de sales o metales pesados y escalamiento industrial, también han resultado en reducción de los costos y funcionalidad mejorada de dichos compuestos (Nascimento y Barros, 2025).

Finalmente, la ubicación geoestratégica de México, junto con sus acuerdos comerciales y su capacidad productiva, lo posiciona como un centro de exportación clave hacia América del Norte y América Latina. Desde la perspectiva regulatoria, el marco legal mexicano, que incluye las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables a aditivos alimentarios y la Ley General de Salud, promueve la seguridad en todos los niveles de la cadena productiva; sin embargo, se requiere una mayor articulación entre la industria, la academia y los organismos reguladores para agilizar la adopción de innovaciones biotecnológicas en el mercado nacional (Nascimento y Barros, 2025). Asimismo, la implementación de estrategias de economía circular, la valorización de residuos agroindustriales y la adopción de tecnologías limpias en los procesos de fermentación deberán ser prioritarias para maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales del sector de carotenoides en México y América Latina.

## Conclusiones

Los carotenoides de origen microbiano, particularmente los producidos por levaduras del género *Rhodotorula* sp., representan una alternativa viable y sostenible a los colorantes y compuestos bioactivos de síntesis química, con probadas propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas. El análisis de la literatura reciente (2020–2025) confirma que las especies *R. mucilaginosa* y *R. glutinis* presentan el mayor potencial de escalamiento industrial en México, gracias a su capacidad para utilizar

residuos agroindustriales como sustrato, su adaptabilidad a condiciones de fermentación optimizadas y la consistencia de su perfil carotenogénico.

La optimización conjunta de los factores de fermentación, relación C/N, pH, temperatura, intensidad lumínica y concentración de sales, es determinante para maximizar el rendimiento de carotenoides. Los estudios revisados demuestran que el control integrado de estas variables puede incrementar la producción hasta en un 60%, validando la viabilidad técnica de escalar estos procesos a nivel industrial.

El mercado mexicano de carotenoides, con una tasa de crecimiento anual estimada del 7.4 % (2024–2034), ofrece una ventana de oportunidad concreta para la industria nacional. La convergencia entre la regulación internacional que restringe colorantes sintéticos, como la reciente acción de la FDA en 2025, la demanda creciente de ingredientes funcionales naturales y la capacidad científica instalada en México, posiciona al país para desarrollar una industria carotenogénica basada en levaduras no convencionales que sea competitiva a nivel global.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) la beca de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería (R.M.C., número de beca 68c0e99831625053151bdd9d). Al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia, por la donación parciales al proyecto.

## Referencias

- Alam MW, Kumar JV, Awad M, Saravanan P, Al-Sowayan NS, Rosaiah P, Nivetha MS (2025). Emerging trends in Food Process Engineering: Integrating sensing technologies for health, sustainability and consumer preferences. *Journal of Food Process Engineering* 48(1):e70035. doi:10.1111/jfpe.70035
- Banerjee S, Sarkar A, Rao KVB (2024). Extraction and characterization of carotenoid pigments with antioxidant and antibacterial potential from marine yeast *Rhodotorula* sp. KSB1. *International Microbiology* 28(1):137-156. doi:10.1007/s10123-024-00529-3
- David NG, Siddharth. (2024). *Mercado de Carotenoides en México Tamaño, Informe | 2034*. Claight Corporation (Expert Market Research). <https://www.expertmarketresearch.com/es/reports/mexico-carotenoids-market>
- De Lima JGO, Veríssimo NVP, De Azevedo Lima C, Picheli FP, De Paula AV, Santos-Ebinuma VDC (2025). Improvement of torularhodin production by *Rhodotorula glutinis* through the stimulation of

physicochemical stress and application of the bioproduct as an additive in the food industry. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 48(4):543-563. doi:10.1007/s00449-024-03126-w

EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources Added to Food (2009). Scientific Opinion on the re-evaluation of Quinoline Yellow (E 104) as a food additive. *EFSA Journal* 7(11):1329. doi:10.2903/j.efsa.2009.1329

Food and Drug Administration (2025). *Regulatory status of color additives*. U.S. Food y Drugs Administration. <https://www.hfpappexternal.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?set=ColorAdditives>

Gaur V, Bera S (2023). Microbial canthaxanthin: An orange-red keto carotenoid with potential pharmaceutical applications. *BioTechnologia* 104(3):315–328. doi:10.5114/bta.2023.130733

Gedela R, Venkata Dasu V, Pakshirajan K (2024). Maximizing yield of lipids, carotenoids, and  $\beta$ -carotene in *Rhodotorula mucilaginosa* via optimized fermentation strategies. doi:10.2139/ssrn.4920118

Jayakanthan M, Manochkumar J, Efferth T, Ramamoorthy S (2024). Lutein, a versatile carotenoid: Insight on neuroprotective potential and recent advances. *Phytomedicine* 135:156185. doi:10.1016/j.phymed.2024.156185

Kobylewski S, Jacobson MF (2012). Toxicology of food dyes. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 18(3):220–246. doi:10.1179/1077352512Z.00000000034

Kulczyk-Matysa E, Bogusławska-Wąs E (2025). Carotenoid yeasts and their application potential. *Foods* 14(11):1866. doi:10.3390/foods14111866

Li Z, Li C, Cheng P, Yu G (2022). *Rhodotorula mucilaginosa*—Alternative sources of natural carotenoids, lipids, and enzymes for industrial use. *Heliyon* 8(11). doi:10.1016/j.heliyon.2022.e11505

Maaz M, Sultan MT, Khalid MU, Raza H, Imran M, Hussain M, Al Abdulmonem W, Alsagaby SA, Abdelgawad MA, Ghoneim MM, Khan MA, Yehuala TF, Selim S, Mostafa EM (2025). A comprehensive review on the molecular mechanism of lycopene in cancer therapy. *Food Science y Nutrition* 13(7):e70608. doi:10.1002/fsn3.70608

McCann D, Barrett A, Cooper A, Crumpler D, Dalen L, Grimshaw K, Kitchin E, Lok K, Porteous L, Prince E, Sonuga-Barke E, Warner JO, Stevenson J (2007). Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: A randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. *Lancet* 370(9598):1560–1567. doi:10.1016/S0140-6736(07)61306-3

Meyer F, Schmitt I, Wendisch VF, Henke NA (2025). Response surface-based media optimization for astaxanthin production in *Corynebacterium glutamicum*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 13:1516522. doi:10.3389/fbioe.2025.1516522

Nascimento APS, Barros AN (2025). Sustainable innovations in food microbiology: Fermentation, biocontrol, and functional foods. *Foods* 14(13):2320. doi:10.3390/foods14132320

Ochoa-Viñals N, Alonso-Estrada D, Pacios-Michelena S, García-

Cruz A, Ramos-González R, Faife-Pérez E, Michelena-Álvarez LG, Martínez-Hernández JL, Iliná A (2024). Current advances in carotenoid production by *Rhodotorula* sp. *Fermentation* 10(4):190. doi:10.3390/fermentation10040190

Parveen B, Rajinikanth V, Narayanan M (2025). Natural plant antioxidants for food preservation and emerging trends in nutraceutical applications. *Discover Applied Sciences* 7(8):845. doi:10.1007/s42452-025-07464-6

Priyadarshini LAS, Kataria R (2025). Microbial synthesis and extraction of value-added metabolites by *Rhodotorula toruloides* from waste stream: A sustainable approach. *Microbial Cell Factories* 24(1):134. doi:10.1186/s12934-025-02752-7

Pružinská K, Chrastina M, Khademnematollahi S, Vyletelová V, Gajdošová L, Pastvová L, Dráfi F, Poništ S, Pašková L, Kucharská J, Sumbalová Z, Muchová J, Martiniaková S, Bauerová K (2024). Astaxanthin, compared to other carotenoids, increases the efficacy of methotrexate in rat adjuvant arthritis. *International Journal of Molecular Sciences* 25(16):8710. doi:10.3390/ijms25168710

Rapoport A, Guzhova I, Bernetti L, Buzzini P, Kieliszek M, Kot AM (2021). Carotenoids and some other pigments from fungi and yeasts. *Metabolites* 11(2):92. doi:10.3390/metabo11020092

Sanlier N, Yildiz E, Ozler E (2024). An overview on the effects of some carotenoids on health: Lutein and zeaxanthin. *Current Nutrition Reports* 13(4):828–844. doi:10.1007/s13668-024-00579-z

Sharma R, Ghoshal G (2020). Optimization of carotenoids production by *Rhodotorula mucilaginosa* (MTCC-1403) using agro-industrial waste in bioreactor: A statistical approach. *Biotechnology Reports* 25:e00407. doi:10.1016/j.btre.2019.e00407

Sun J, Zhang Z, Gao L, Yang F (2025). Advances and trends for astaxanthin synthesis in *Phaffia rhodozyma*. *Microbial Cell Factories* 24(1):100. doi:10.1186/s12934-025-02704-1

Tong B, Yu Y, Shi S (2025). *Rhodotorula* sp. As a promising host for microbial cell factories. *Metabolic Engineering* 90:178–196. doi:10.1016/j.mben.2025.03.015

Tran TN, Ngo D-H, Tran QT, Nguyen HC, Su, C-H, Ngo, D-N (2020). Enhancing astaxanthin biosynthesis by *Rhodospiridium toruloides* mutants and optimization of medium compositions using response surface methodology. *Processes* 8(4):497. doi:10.3390/pr8040497

Vargas-Meza J, Jáuregui A, Pacheco-Miranda S, Contreras-Manzano A, Barquera S (2019). Front-of-pack nutritional labels: Understanding by low- and middle-income Mexican consumers. *PLOS ONE* 14(11):e0225268. doi:10.1371/journal.pone.0225268

Výsoka M, Sztokowski M, Slaninova E, Dzuricka L, Strecanska P, Blazkova J, Marova I (2023). Oleaginous yeast extracts and their possible effects on human health. *Microorganisms* 11(2):492. doi:10.3390/microorganisms11020492

Xie X, Zhong M, Huang X, Yuan X, Mahna N, Mussagy CU, Ren M (2025). Astaxanthin biosynthesis for functional food development and space missions. *Critical Reviews in Biotechnology* 45(4):923–937. doi:10.1080/07388551.2024.2410364



# Caracterización dinámica de tableros a base de madera mediante ondas de esfuerzo y comparación con madera sólida de *Pinus pseudostrabus*

Dynamic characterization of wood-based panels using stress waves and comparison with solid *Pinus pseudostrabus* wood

Javier Ramón Sotomayor Castellanos  

Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## Resumen

Los tableros a base de madera son materiales lignocelulósicos ampliamente utilizados en aplicaciones estructurales, cuyas propiedades mecánicas dependen de su arquitectura interna y de los procesos de fabricación. El objetivo de este estudio fue determinar y comparar la densidad aparente y el módulo dinámico de madera sólida de *Pinus pseudostrabus* y de cuatro tipos de tableros: enlistonados, contrachapados, de densidad media y de astillas orientadas. Se realizaron ensayos dinámicos mediante propagación de ondas de esfuerzo en probetas acondicionadas. Los resultados demuestran diferencias significativas entre materiales. Los tableros presentaron módulos dinámicos menores que la madera sólida y diferentes niveles de anisotropía, asociados a su estructura interna y procesos de fabricación.

**Palabras clave:** Ondas de esfuerzo, evaluación no destructiva, módulo dinámico, tableros de madera, anisotropía.

## Abstract

Wood-based panels are lignocellulosic materials widely used in structural applications, whose mechanical properties depend on their internal structure and manufacturing processes. The objective of this study was to determine and compare the bulk density and dynamic modulus of elasticity of solid *Pinus pseudostrabus* wood and four types of industrial panels: blockboard, plywood, medium-density fiberboard, and oriented strand board. Dynamic tests were conducted using stress wave propagation on conditioned specimens. The results show significant differences between materials. The panels exhibited lower dynamic moduli than solid wood and different levels of anisotropy, associated with their internal structure and manufacturing processes.

**Keywords:** Stress waves, non-destructive evaluation, dynamic modulus of elasticity, wood panels, anisotropy.

## Introducción

Los tableros a base de madera constituyen una familia de materiales lignocelulósicos industrializados ampliamente utilizados en la construcción, la manufactura de mobiliario y diversas aplicaciones estructurales y no estructurales. Los principios tecnológicos que rigen su fabricación, así como sus propiedades físicas y mecánicas relevantes para aplicaciones de ingeniería, han sido documentados extensamente en la literatura científica reciente (Antov *et al.*, 2020; Ramesh *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2024). En términos generales, estos materiales están formados por elementos de madera —chapas, listones, partículas, fibras o astillas— que se ensamblan mediante adhesivos sintéticos o naturales y posteriormente se consolidan bajo condiciones controladas de presión y temperatura, generando tableros estructuralmente estables (Zhang, 2023).

### Historial

Manuscrito recibido: 23 de junio de 2025  
Manuscrito aceptado: 14 de marzo de 2026  
Manuscrito publicado: abril 2026

### Autor para correspondencia

Javier Ramón Sotomayor Castellanos  
javier.sotomayor@umich.mx  
ORCID: 0000-0002-1527-8801

### Como citar

Sotomayor Castellanos JR (2026). Caracterización dinámica de tableros a base de madera mediante ondas de esfuerzo y comparación con madera sólida de *Pinus pseudostrabus*. *Ciencia Nicolaita* 96:83-91. DOI:10.35830/cn.vi96.871

La producción de materiales de madera reconstituida representa una estrategia tecnológica clave en la ingeniería moderna de materiales lignocelulósicos. Este enfoque industrial busca reducir la elevada variabilidad inherente a la madera sólida —derivada de su origen biológico

y de su compleja estructura anatómica— mediante la transformación de la materia prima en elementos estructurales de menor escala. Posteriormente, estos elementos se reconstituyen mediante adhesivos y procesos de prensado en caliente bajo condiciones controladas de presión y temperatura, lo que permite obtener materiales con propiedades físicas y mecánicas más homogéneas y predecibles. En consecuencia, los productos derivados de madera reconstituida presentan características tecnológicas favorables para aplicaciones industriales y estructurales (Pizzi, 2016; Ferdosian *et al.*, 2017; Solt *et al.*, 2019).

El comportamiento físico-mecánico de los tableros a base de madera depende de múltiples factores, entre los que destacan el contenido de humedad, la dirección de medición respecto a la estructura interna del material y el tipo de producto. Estas variables influyen directamente en la propagación de ondas mecánicas y, por consiguiente, en la rigidez aparente del material (Han *et al.*, 2006). Asimismo, la especie de madera empleada, la configuración geométrica de los elementos constitutivos, el tipo de adhesivo y las condiciones del proceso de fabricación determinan la densidad, la estructura interna y, en consecuencia, las propiedades mecánicas del tablero (Aguilera y Davim, 2014). Debido a esta diversidad tecnológica, los productos disponibles en el mercado presentan una amplia variabilidad en sus propiedades físicas y mecánicas. En este contexto, la determinación del módulo dinámico constituye un parámetro fundamental para la caracterización mecánica y el análisis estructural de materiales lignocelulósicos utilizados en aplicaciones de ingeniería.

Las técnicas basadas en propagación de ondas mecánicas constituyen métodos no destructivos ampliamente utilizados para la caracterización de materiales derivados de madera. En particular, las ondas de esfuerzo permiten estimar propiedades dinámicas asociadas a la rigidez del material, mientras que técnicas relacionadas, como la emisión acústica, se emplean en el diagnóstico estructural y en el mantenimiento preventivo de estructuras de madera (Nasir *et al.*, 2022; Solt *et al.*, 2024).

Diversos estudios han reportado resultados sobre el módulo dinámico tanto en madera sólida (Mvolo *et al.*, 2022) como en tableros derivados de madera (Bucur, 2023). Asimismo, las técnicas de evaluación no destructiva basadas en propagación de ondas han sido ampliamente documentadas como herramientas confiables para la estimación de propiedades mecánicas en materiales lignocelulósicos y para su clasificación tecnológica en aplicaciones estructurales (Ross, 2015). Sin embargo, la literatura científica muestra aún una disponibilidad

limitada de estudios experimentales comparativos que analicen simultáneamente distintos tipos de tableros comerciales y su relación con la madera sólida utilizada como material de referencia (Wang *et al.*, 2023).

Los productos derivados de madera reconstituida se comercializan generalmente en dimensiones estandarizadas y en diferentes calidades industriales, siendo utilizados ampliamente en la construcción y en la industria del mobiliario. Los principios tecnológicos de producción y las aplicaciones estructurales de estos materiales se describen en documentos técnicos de referencia, como el Engineered Wood Construction Guide (Engineered Wood Association, 2019) y el Wood Handbook: Wood as an Engineering Material (Forest Products Laboratory, 2021). No obstante, a pesar de su amplia disponibilidad comercial, la información experimental publicada sobre sus propiedades dinámicas determinadas mediante técnicas no destructivas —especialmente aquellas basadas en la propagación de ondas de esfuerzo— sigue siendo limitada. En particular, la cuantificación del módulo dinámico mediante métodos no destructivos resulta de interés para el desarrollo de criterios de clasificación estructural y evaluación tecnológica de materiales derivados de madera, ya que permite estimar propiedades mecánicas de forma rápida, reproducible y sin dañar los elementos evaluados.

Por otra parte, la madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl. es una de las especies de coníferas ampliamente utilizadas en México en aplicaciones estructurales y en la manufactura de productos derivados de madera. Sus características anatómicas, propiedades físicas y usos tecnológicos han sido documentados en estudios sobre maderas mexicanas (Rendón *et al.*, 2021). Asimismo, las propiedades físicas y mecánicas de esta especie constituyen una referencia en investigaciones relacionadas con la variabilidad de la densidad, la velocidad de propagación de ondas acústicas y los módulos dinámicos en maderas (Sotomayor *et al.*, 2020). Debido a su disponibilidad regional y a la información existente sobre sus propiedades mecánicas, esta especie constituye un material de referencia apropiado para estudios comparativos con productos derivados de madera reconstituida.

En este contexto, surge la interrogante de si la arquitectura interna de los tableros a base de madera —definida por la disposición y orientación de sus elementos constitutivos, tales como partículas, chapas, fibras o listones— influye en la magnitud del módulo dinámico determinado mediante técnicas no destructivas basadas en la propagación de ondas de esfuerzo. La hipótesis de investigación plantea que, a pesar de las discontinuidades estructurales inherentes a los materiales lignocelulósicos reconstituidos, los módulos dinámicos de los tableros

se sitúan dentro del mismo orden de magnitud que los correspondientes a la madera sólida de *P. pseudostrobus*, utilizada en este estudio como material de referencia.

Con el propósito de contrastar la hipótesis planteada, el objetivo de esta investigación fue determinar y comparar la densidad aparente y el módulo dinámico de la madera sólida de *P. pseudostrobus*, utilizada como material de referencia, y de cuatro tipos de tableros a base de madera: tableros enlistonados, tableros contrachapados, tableros de densidad media y tableros de astillas orientadas. Las propiedades dinámicas se determinaron mediante ensayos no destructivos basados en la propagación de ondas longitudinales de esfuerzo en probetas representativas de cada material. El estudio corresponde a un análisis experimental comparativo realizado sobre muestras comerciales de los materiales evaluados, con el fin de analizar la influencia de la arquitectura interna del material en el módulo dinámico determinado mediante técnicas dinámicas.

## Materiales y métodos

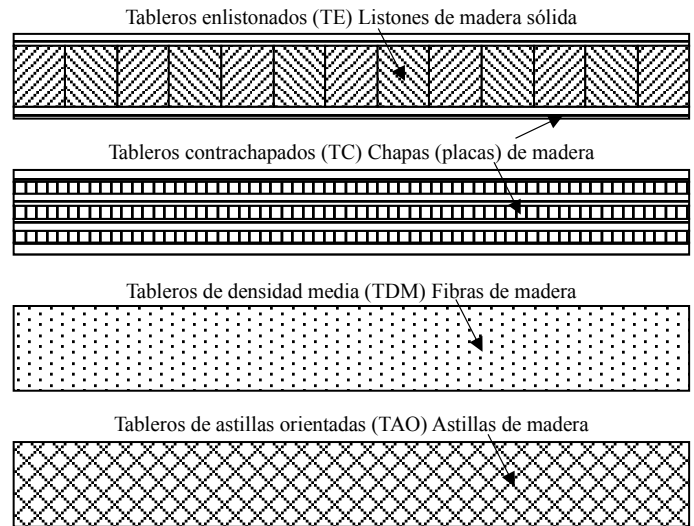
### Materiales

Se utilizaron muestras de madera sólida de *P. pseudostrobus* y cuatro tipos de tableros comerciales a base de madera. Diez piezas de madera aserrada de *P. pseudostrobus* fueron adquiridas en aserraderos localizados en el estado de Michoacán, México. Los tableros evaluados se obtuvieron en establecimientos comerciales de la ciudad de Morelia, Michoacán, y corresponden a productos industriales disponibles en el mercado con dimensiones comerciales estándar de 1.22 m × 2.44 m.

La identificación del fabricante no se consideró un factor experimental, ya que el objetivo del estudio fue analizar el efecto de la arquitectura interna del material—definida por la disposición de chapas, listones, fibras o partículas—sobre el módulo dinámico. En consecuencia, se utilizaron materiales representativos de productos comerciales comúnmente empleados en aplicaciones de ingeniería de la madera.

Los espesores nominales de los materiales evaluados fueron los siguientes: madera sólida de *P. pseudostrobus*, 20 mm; tableros enlistonados, 17.5 mm; tableros contrachapados, 18 mm; tableros de densidad media, 18 mm; y tableros de astillas orientadas, 16 mm (**Figura 1**).

A partir de estos materiales se elaboraron probetas experimentales para los ensayos dinámicos. En el caso de la madera sólida se prepararon 32 probetas orientadas en la dirección longitudinal de la fibra. Las probetas se obtuvieron a partir de las diez piezas de madera aserrada



**Figura 1.** Esquemas de la estructura de los tableros.

disponibles, distribuyendo las muestras de manera homogénea y aleatoria entre las piezas originales. Este procedimiento permitió reducir los efectos asociados a la variabilidad intra-pieza y asegurar que el conjunto de mediciones represente la variabilidad natural del material.

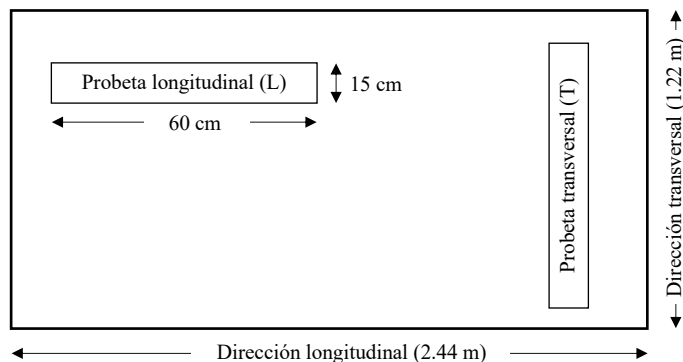
Para cada tipo de tablero se prepararon 32 probetas en dirección longitudinal (L), paralela al eje mayor del tablero, y 32 probetas en dirección transversal (T), perpendicular a dicha dirección (**Figura 2**). Las dimensiones finales de las probetas fueron 15 cm de ancho × 60 cm de largo × espesor correspondiente al material.

Antes de los ensayos, el material experimental fue acondicionado en una cámara climática a 20 °C de temperatura y 65% de humedad relativa hasta alcanzar masa constante, con el fin de estabilizar el contenido de humedad de las probetas y garantizar condiciones comparables entre los materiales evaluados.

### Métodos

El contenido de humedad de las probetas se determinó mediante la relación entre la masa en el momento del ensayo y la masa en condición anhidra, de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ISO 13061-1:2014. La densidad aparente se calculó como la relación entre la masa y el volumen de cada probeta conforme a la norma ISO 13061-2:2014.

Las mediciones dinámicas se realizaron mediante el método de propagación de ondas longitudinales de esfuerzo, siguiendo el protocolo experimental descrito por Sotomayor y Adachi (2023). La onda de esfuerzo se generó mediante el impacto de una esfera de acero acoplada a un péndulo instrumental, produciendo una onda longitudinal transitoria que se propagó a lo largo



**Figura 2.** Diagrama de selección de probetas en los tableros.

de la probeta. La emisión y recepción de la señal fueron registradas mediante acelerómetros instalados en los apoyos de la probeta, ubicados a 5 cm de cada extremo, con una distancia efectiva de medición de 50 cm (**Figura 3**). El tiempo de tránsito de la onda entre los sensores permitió calcular la velocidad de onda longitudinal en cada muestra. Cada probeta fue ensayada tres veces, y el valor utilizado en el análisis correspondió al promedio de las mediciones obtenidas.

El módulo dinámico se estimó a partir de la relación entre la densidad aparente del material y la velocidad de onda longitudinal, de acuerdo con el modelo teórico de propagación de ondas elásticas en sólidos (Ecuación 1). Esta relación es ampliamente utilizada en técnicas de evaluación no destructiva para estimar la rigidez dinámica de materiales lignocelulósicos mediante mediciones acústicas o de ondas de esfuerzo (Bucur, 2006; Ross, 2015).

$$E_{oe} = \rho_{CH} v_{oe}^2 \quad (1)$$

donde:

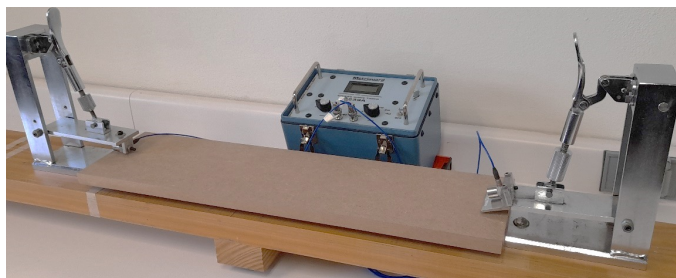
$E_{oe}$  = Módulo dinámico (MPa)

$\rho_{CH}$  = Densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>)

$v_{oe}$  = Velocidad de onda (m/s)

### Diseño experimental

Las variables de respuesta del estudio fueron la densidad aparente y el módulo dinámico determinados mediante ensayos de propagación de ondas de esfuerzo. En los tableros, el módulo dinámico se evaluó en dos direcciones principales: longitudinal (L), paralela al eje mayor del tablero, y transversal (T), perpendicular a dicha dirección.



**Figura 3.** Pruebas de ondas de esfuerzo en tableros de densidad media.

La madera sólida de *P. pseudostrobus* (Madera de pino, MP) se utilizó como material de referencia, realizándose las mediciones únicamente en dirección longitudinal, correspondiente a la dirección de la fibra. El contenido de humedad (CH) se consideró una variable de control experimental. El diseño estadístico correspondió a un ANOVA de un factor (tipo de material) bajo un diseño completamente aleatorizado con cinco grupos experimentales y 32 observaciones por grupo (n = 32).

Los resultados se organizaron según el tipo de material evaluado: madera sólida de *P. pseudostrobus* (MP), tableros enlistonados (TE), tableros contrachapados (TC), tableros de densidad media (TDM) y tableros de astillas orientadas (TAO). Para cada grupo se calcularon estadísticos descriptivos: media aritmética ( $\mu$ ), desviación estándar ( $\sigma$ ) y coeficiente de variación ( $CV = \sigma/\mu$ ), con el fin de caracterizar la tendencia central y la dispersión de las propiedades físicas y mecánicas. En los tableros, las mediciones en direcciones longitudinal (L) y transversal (T) se analizaron por separado para preservar la información de anisotropía. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics Centurion 19.

La normalidad de la distribución de los datos se evaluó mediante los coeficientes de sesgo estandarizado (S) y apuntamiento estandarizado (A), considerando valores entre -2 y +2 como compatibles con una distribución normal. Posteriormente se aplicó un ANOVA de un factor para comparar las medias entre materiales, con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , rechazando la hipótesis nula  $H_0: \mu_{MP} = \mu_{TE} = \mu_{TC} = \mu_{TDM} = \mu_{TAO}$  cuando  $p < 0.05$ . Adicionalmente, se compararon los coeficientes de variación (CV) para evaluar la homogeneidad de los materiales y se calcularon las relaciones de anisotropía de los tableros, definidas como  $A = E_{oe L} / E_{oe T}$ , donde  $E_{oe L}$  y  $E_{oe T}$  corresponden a los módulos dinámicos longitudinal y transversal.

### Resultados y discusión

El contenido de humedad de la madera sólida de *P. pseudostrobus*, utilizada como material de referencia, se

encuentra dentro del intervalo registrado para los tableros evaluados, con valores comprendidos entre 10% y 12% y coeficientes de variación entre 4% y 7% (Tabla 1). Estos resultados indican que, después del acondicionamiento en cámara climática a 20 °C y 65% de humedad relativa, las probetas alcanzaron un estado higroscópico estable y comparable entre los distintos materiales analizados. La similitud en el contenido de humedad entre los materiales permite asumir que las diferencias observadas posteriormente en la densidad aparente y en el módulo dinámico no se deben a variaciones higroscópicas, sino principalmente a las características estructurales de los materiales y a los procesos de fabricación involucrados en la producción de los tableros.

Las pruebas de verificación de normalidad aplicadas a los valores de densidad aparente y módulo dinámico indicaron que los datos presentan una distribución compatible con la normalidad, ya que los coeficientes de sesgo y apuntamiento estandarizados se encuentran dentro del interva-

lo de aceptación  $-2 \leq S, A \leq 2$  (Tabla 2). Esta condición permitió aplicar procedimientos estadísticos paramétricos para la comparación entre grupos experimentales.

A partir de los datos estadísticos descriptivos expuestos en la Tabla 1 y teniendo en cuenta un tamaño de muestra de  $n = 32$  observaciones por grupo, el análisis de varianza de un factor para evaluar el impacto del tipo de material en la densidad aparente y el módulo dinámico longitudinal señala diferencias significativas entre los materiales evaluados ( $p < 0.001$ ).

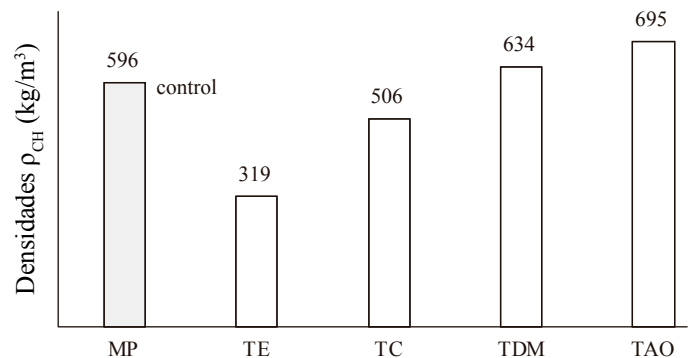
Los resultados del análisis de varianza indican que el tipo de material ejerce una influencia estadísticamente significativa sobre la densidad aparente y el módulo dinámico. Los valores elevados del estadístico F muestran que la variabilidad entre los grupos experimentales es considerablemente mayor que la variabilidad observada dentro de cada grupo, lo que evidencia diferencias sistemáticas entre los materiales evaluados. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y se confirma que las propiedades físicas y mecánicas de los tableros derivados de madera difieren significativamente de las de la madera sólida utilizada como material de referencia. Estas diferencias son consistentes con los valores medios y la dispersión de los datos presentados en la Tabla 1 y en las Figuras 4, 5 y 6.

El análisis comparativo de las densidades promedio muestra diferencias claras entre la madera sólida de *P. pseudostrobus* y los distintos tipos de tableros evaluados (Tabla 1, Figura 4). La madera sólida presenta valores característicos asociados a su estructura anatómica natural, mientras que los tableros enlistonados exhiben densidades considerablemente menores debido a su configuración estructural basada en listones ensamblados y recubiertos por chapas superficiales, lo que genera una estructura relativamente menos compacta con posibles espacios intersticiales.

**Tabla 1.** Contenido de humedad, densidad aparente y módulos dinámicos.

	CH (%)	$\rho_{CH}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E_{oc}$ T (MPa)	$E_{oc}$ L (MPa)
<i>Pinus pseudostrobus</i> (MP)				
$\mu$	11	596	-	10630
$\sigma$	0.6	46	-	2478
CV	(6)	(8)	-	(23)
Tableros enlistonados (TE)				
$\mu$	12	319	1161	3085
$\sigma$	0,5	39	190	565
CV	(4)	(12)	(16)	(18)
Tableros contrachapados (TC)				
$\mu$	11	506	2637	4717
$\sigma$	0.6	15	376	870
CV	(5)	(3)	(14)	(18)
Tableros de densidad media (TDM)				
$\mu$	10	634	2260	2323
$\sigma$	0.4	6	108	82
CV	(4)	(1)	(5)	(4)
Tableros de astillas orientadas (TAO)				
$\mu$	10	695	2349	3368
$\sigma$	0.7	39	282	544
CV	(7)	(6)	(12)	(16)

CH = Contenido de humedad;  $\rho_{CH}$  = Densidad aparente;  $E_{oc}$  = Módulo dinámico; T = Dirección transversal; L = Dirección longitudinal;  $\mu$  = Media;  $\sigma$  = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación en por ciento y entre paréntesis.



**Figura 4.** Comparativo de las densidades. MP = Madera de pino; TE = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TDM = Tableros de densidad media; TAO = Tableros de astillas orientadas

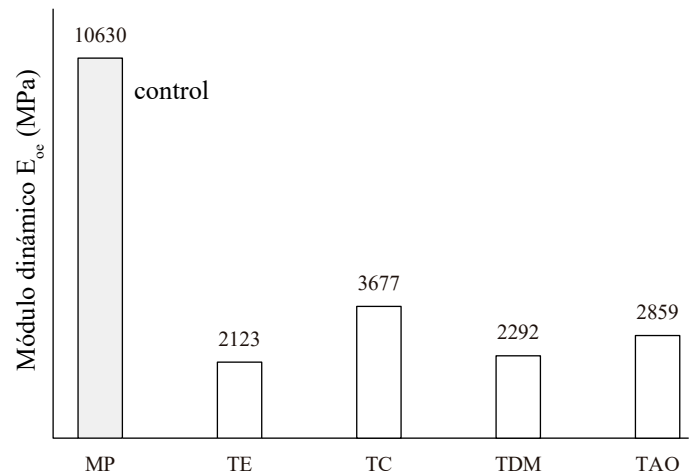
**Tabla 2.** Verificación de normalidad mediante sesgo estandarizado y curtosis estandarizada y resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la densidad y el módulo dinámico de los materiales evaluados.

Material	S	A	F	P
<b>Densidad (<math>\rho_{CH}</math>)</b>				
<i>Pinus pseudostrabus</i> (MP)	-0.033	-1.074	631.07	< 0.001
Tableros enlistonados (TE)	0.901	-0.561		
Tableros contrachapados (TC)	0.072	-0.728		
Tableros de densidad media (TDM)	-0.543	-0.520		
Tableros de astillas orientadas (TAO)	-0.535	-0.681		
<b>Módulo dinámico (<math>E_{oe}</math>)</b>				
<i>Pinus pseudostrabus</i> (MP)	0.057	-0.282	240.02	< 0.001
Tableros enlistonados (TE)	0.804	0.609		
Tableros contrachapados (TC)	-1.358	-0.834		
Tableros de densidad media (TDM)	-0.350	-1.221		
Tableros de astillas orientadas (TAO)	-0.962	0.800		

S = Sesgo estandarizado; A = Apuntamiento; Los datos se consideran compatibles con una distribución normal cuando  $-2 \leq S, A \leq 2$ ; F = estadístico de Fisher del análisis de varianza (ANOVA), definido como la razón entre la varianza media entre grupos y la varianza media dentro de los grupos; El criterio de decisión se estableció para  $\alpha = 0.05$ ; se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias cuando  $P < 0.05$ ; En este estudio  $P < 0.001$  indica diferencias significativas entre los materiales evaluados.

En contraste, los tableros contrachapados presentan densidades más cercanas a las de la madera sólida. Este comportamiento se explica por la superposición de chapas prensadas en direcciones alternadas, lo cual favorece una mayor continuidad material y una distribución relativamente uniforme de la masa en el volumen del tablero. Por su parte, los tableros de densidad media y los tableros de astillas orientadas presentan densidades superiores al material de referencia. Este incremento se relaciona con la fragmentación previa de la madera en fibras o partículas y su posterior consolidación mediante presión, temperatura y adhesivos, procesos que incrementan el grado de compactación del material.

Las diferencias observadas evidencian que la densidad final de los productos derivados de madera de-



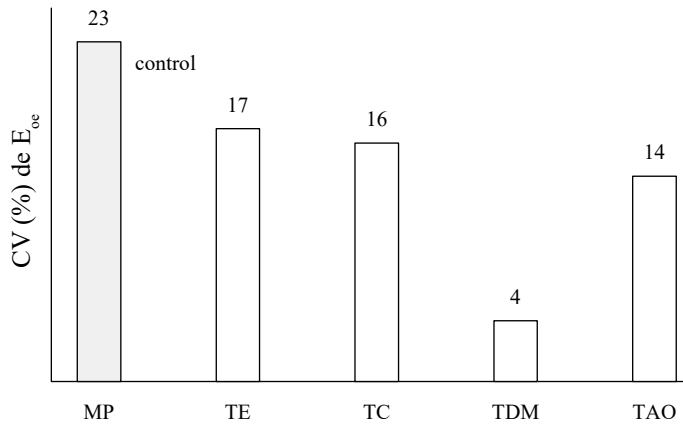
**Figura 5.** Comparativo de los módulos dinámicos promedio. MP = Madera de pino; TE = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TDM = Tableros de densidad media; TAO = Tableros de astillas orientadas.

pende en gran medida del proceso de fabricación y de la organización interna de sus componentes. La proporción relativa entre madera y adhesivo, así como el grado de compactación alcanzado durante el prensado industrial, influyen directamente en la estructura interna del material y, en consecuencia, en sus propiedades físicas.

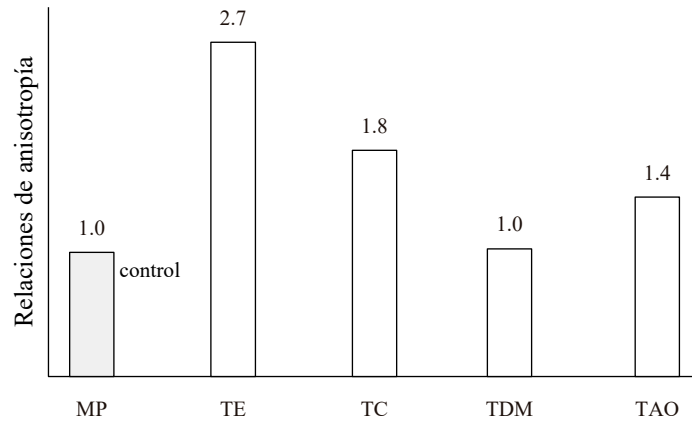
En términos de dispersión estadística, los coeficientes de variación indican que la madera sólida presenta una variabilidad moderada ( $CV = 8\%$ , **Tabla 1**), asociada principalmente a la heterogeneidad anatómica natural y a las condiciones de crecimiento del árbol. Los tableros enlistonados muestran una variabilidad ligeramente mayor ( $CV = 12\%$ ), atribuible a la diversidad estructural de los listones utilizados en su fabricación. En contraste, los tableros contrachapados, de densidad media y de astillas orientadas presentan coeficientes de variación considerablemente menores (3%, 1% y 6%, respectivamente), lo que refleja una mayor uniformidad en sus propiedades físicas. Esta homogeneidad es consecuencia de los procesos industriales de producción, en los cuales la madera se fragmenta, clasifica y redistribuye antes del prensado final, mientras que la incorporación de adhesivos contribuye a estabilizar la estructura interna del material y reducir la dispersión de sus propiedades (Pizzi, 2016; Ferdosian *et al.*, 2017).

### Módulos dinámicos

Las pruebas de verificación de normalidad aplicadas a los valores del módulo dinámico indicaron que los datos presentan una distribución compatible con la normalidad. Asimismo, las medias correspondientes a los cinco grupos experimentales muestran diferencias



**Figura 6.** Comparativo de los coeficientes de variación de los módulos dinámicos promedio. MP = Madera de pino; TE = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TDM = Tableros de densidad media; TAO = Tableros de astillas orientadas.



**Figura 7.** Comparativo de las relaciones de anisotropía de los módulos dinámicos. MP = Madera de pino; TE = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TDM = Tableros de densidad media; TAO = Tableros de astillas orientadas.

estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0,001$ ) según el análisis de varianza (Tabla 2). Este resultado confirma que el tipo de material influye significativamente en la magnitud del módulo dinámico determinado mediante ondas de esfuerzo.

Las técnicas basadas en ondas mecánicas se utilizan ampliamente en la evaluación no destructiva de materiales lignocelulósicos, ya que la velocidad de onda está directamente relacionada con la rigidez del material y con su densidad (Han *et al.*, 2006; Morales *et al.*, 2013). En consecuencia, las diferencias observadas en los valores de  $E_{oe}$  reflejan la influencia de la estructura interna del material y de los procesos de fabricación sobre la transmisión de ondas mecánicas (Tabla 1, Figura 5).

El módulo dinámico promedio de los cuatro tipos de tableros evaluados es aproximadamente 74% menor que el correspondiente a la madera sólida de *P. pseudostrubus* (Tabla 1). Esta diferencia puede explicarse por la naturaleza estructural de los materiales reconstituidos, los cuales están formados por elementos discretos —listones, chapas, fibras o astillas— unidos mediante adhesivos. A diferencia de la madera sólida, que presenta continuidad estructural a lo largo de las fibras, los tableros contienen múltiples interfaces entre componentes que introducen discontinuidades internas. Estas interfaces reducen la eficiencia en la transmisión de las ondas de esfuerzo, disminuyendo la velocidad de onda y, en consecuencia, el módulo dinámico resultante (Han *et al.*, 2006; Morales *et al.*, 2013).

A pesar de presentar valores absolutos menores de módulo dinámico, los tableros muestran una menor dispersión estadística en comparación con la madera sólida. Los coeficientes de variación disminuyen aproximadamente 26% en los tableros enlistonados, 30% en los con-

trachapados, 83% en los tableros de densidad media y 39% en los tableros de astillas orientadas, en comparación con el material de referencia (Figura 6). Esta reducción en la variabilidad refleja la mayor homogeneidad estructural obtenida mediante los procesos industriales de fabricación, en los cuales la madera se fragmenta, se clasifica y se redistribuye antes del prensado final. Como resultado, las irregularidades anatómicas presentes en la madera natural se atenúan, produciendo materiales con propiedades mecánicas más uniformes, fenómeno reportado previamente en materiales compuestos derivados de madera (Han *et al.*, 2006; Hillig *et al.*, 2024).

### Anisotropía del módulo dinámico

En relación con las direcciones principales de los tableros en sus dimensiones comerciales (Figura 2), los tableros enlistonados, contrachapados y de astillas orientadas presentan una relación de anisotropía cercana a 2:1 entre los módulos dinámicos determinados en las direcciones longitudinal (L) y transversal (T) (Figura 7). Este comportamiento refleja la orientación preferencial de los elementos estructurales que constituyen estos materiales.

En los tableros enlistonados, los listones de madera sólida se disponen principalmente en dirección longitudinal, lo que favorece una mayor rigidez y una transmisión más eficiente de las ondas de esfuerzo en esa dirección. En los tableros contrachapados, aunque las chapas se disponen en direcciones alternadas, las capas externas mantienen una orientación predominante que influye en la rigidez global del tablero. De manera similar, en los tableros de astillas orientadas las partículas de las capas superficiales se alinean preferentemente en la dirección longitudinal durante el proceso de fabricación. Esta orientación estructural favorece la propagación de ondas de esfuerzo

en dicha dirección (Faktorová *et al.*, 2024; Sotomayor y Adachi, 2023).

En contraste, los tableros de densidad media presentan un comportamiento prácticamente isotrópico, debido a la distribución relativamente aleatoria de las fibras que componen el material. Esta configuración microestructural genera propiedades mecánicas similares en diferentes direcciones del plano del tablero, reduciendo significativamente la anisotropía observada en comparación con otros productos derivados de madera (Kotlínová *et al.*, 2010).

## Conclusiones

Los resultados experimentales obtenidos mediante ensayos dinámicos basados en propagación de ondas de esfuerzo demuestran que la arquitectura interna de los tableros a base de madera influye significativamente en la magnitud del módulo dinámico. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre los materiales evaluados, lo que confirma que la disposición estructural de los elementos constitutivos, listones, chapas, fibras o astillas, condiciona el comportamiento dinámico de estos productos lignocelulósicos.

Los módulos dinámicos de los tableros evaluados resultaron significativamente inferiores a los de la madera sólida de *P. pseudostrobus* utilizada como material de referencia. En promedio, los valores del módulo dinámico de los tableros enlistonados, contrachapados, de densidad media y de astillas orientadas fueron aproximadamente 74% menores que los correspondientes a la madera sólida. Esta diferencia se atribuye a la naturaleza compuesta de los tableros, caracterizada por la presencia de interfaces entre los elementos estructurales y por la incorporación de adhesivos durante el proceso de fabricación, lo que introduce discontinuidades internas que reducen la eficiencia en la transmisión de las ondas de esfuerzo.

Se observaron además diferencias sistemáticas en la densidad aparente de los materiales analizados. Los tableros enlistonados presentaron densidades inferiores a las de la madera sólida, los tableros contrachapados mostraron valores intermedios cercanos al material de referencia, mientras que los tableros de densidad media y los tableros de astillas orientadas presentaron densidades superiores. Estas diferencias reflejan el efecto de los procesos industriales de fabricación, particularmente el grado de fragmentación de la materia prima lignocelulósica y el nivel de compactación alcanzado durante el prensado.

Los resultados también indican que los tableros presentan una menor variabilidad en sus propiedades físico-mecánicas en comparación con la madera

sólida, lo que evidencia el efecto de homogenización estructural producido por los procesos de fabricación. Esta característica puede representar una ventaja tecnológica para aplicaciones en ingeniería de la madera donde se requiere mayor uniformidad en el comportamiento mecánico de los materiales.

Finalmente, el estudio confirma la utilidad de las técnicas no destructivas basadas en propagación de ondas de esfuerzo para la caracterización mecánica de productos derivados de madera. Futuras investigaciones podrían ampliar el alcance experimental incorporando otras especies forestales, diferentes configuraciones de tableros y técnicas complementarias de evaluación no destructiva, con el fin de establecer relaciones más robustas entre propiedades dinámicas y propiedades mecánicas utilizadas en el diseño estructural de materiales lignocelulósicos.

## Agradecimientos

La presente investigación fue financiada por la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), México. El autor agradece a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de esta institución por su colaboración en las actividades experimentales y los trabajos de laboratorio.

## Referencias

- Aguilera A, Davim JP (2014) Research Developments in Wood Engineering and Technology. IGI Global Scientific Publishing, Hershey, PA, USA, p 356. doi:10.4018/978-1-4666-4554-7
- Antov P, Savov V, Neykov N (2020). Sustainable bio-based adhesives for eco-friendly wood composites: A review. *Wood Research* 65(1):51-62. doi:10.37763/wr.1336-4561/65.1.051062
- Bucur V (2006). Acoustics of wood. *Springer*, p. 393. doi:10.1007/3-540-30594-7
- Bucur V (2023). A review on acoustics of wood as a tool for quality assessment. *Forests* 14:1545. doi:10.3390/f14081545
- Costa D, Serra J, Quinteiro P, Dias AC (2024). Life cycle assessment of wood-based panels: A review. *Journal of Cleaner Production* 444:140955. doi:10.1016/j.jclepro.2024.140955
- Faktorová D, Gaff M, Gašparík M, Kaplan L (2024). Influence of structure and orientation on dynamic mechanical properties of wood-based panels. *Wood Research* 69(2):243-256. doi:10.37763/wr.1336-4561/69.2.243256
- Ferdosian F, Pan Z, Gao G, Zhao B (2017). Bio-based adhesives

- and evaluation for wood composites application. *Polymers* 9(2):70. doi:10.3390/polym9020070
- Forest Products Laboratory (2021). Wood handbook: Wood as an engineering material. *U.S. Department of Agriculture Forest Service*, p. 508.
- Han G, Wu Q, Wang X (2006). Stress-wave velocity of wood-based panels: Effect of moisture, product type, and material direction. *Forest Products Journal* 56(1):28-33.
- Hillig É, Bobadilla I, Arriaga F, Íñiguez-González G (2024). Using acoustic testing to estimate strength and stiffness of wood-polymer composites. *Maderas Ciencia y Tecnología* 26:1-16. doi:10.22320/s0718221x/2024.04
- International Organization for Standardization (2014a). ISO 13061-1: Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 1: Determination of moisture content. *International Organization for Standardization*.
- International Organization for Standardization (2014b). ISO 13061-2: Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. *International Organization for Standardization*.
- Kotlínová M, Gaff M, Gašparík M (2010). Mechanical properties and anisotropy of medium-density fiberboard. *Drvna Industrija* 61(4):253-259.
- Morales E, Cown D, McLean J (2013). Relationship between stress wave velocity and stiffness in wood-based composites. *Forest Products Journal* 63(5-6):195-203. doi:10.13073/FPJ-D-12-00091
- Mvolo CS, Stewart JD, Koubaa A (2022). Comparison between static modulus of elasticity, non-destructive testing moduli of elasticity and stress-wave speed in white spruce and lodgepole pine wood. *Wood Material Science and Engineering* 17(5):345-355. doi:10.1080/17480272.2021.1871949
- Nasir V, Ayanleye S, Kazemirad S, Sassani F, Adamopoulos S (2022). Acoustic emission monitoring of wood materials and timber structures: A critical review. *Construction and Building Materials* 350:128877. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.128877
- Pizzi A (2016). Wood products and green chemistry. *Annals of Forest Science* 73:185-203. doi:10.1007/s13595-014-0448-3
- Ramesh M, Rajeshkumar L, Sasikala G, Balaji D, Saravanakumar A, Bhuvaneshwari V, Bhoopathi RA (2022). Critical review on wood-based polymer composites: Processing, properties, and prospects. *Polymers* 14:589. doi:10.3390/polym14030589
- Rendón A, Dorantes F, Mejía S, Alamilla L (2021). Características macroscópicas, propiedades y usos de la madera de especies nativas y exóticas en México. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*.
- Ross RJ (2015). Nondestructive evaluation of wood. *U.S. Department of Agriculture Forest Service*, p. 169.
- Solt P, Konnerth J, Gindl-Altmutter W, Kantner W, Moser J, Mitter R, van Herwijnen HWG (2019). Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 94:99-131. doi:10.1016/j.ijadhadh.2019.04.007
- Sotomayor Castellanos JR, Adachi K (2023). Anisotropía en velocidades de onda y módulos dinámicos determinados con ondas de esfuerzo en maderas mexicanas y japonesas. *Ciencia e Investigación Forestal* 29(3):45-60. doi:10.52904/0718-4646.2023.595
- Sotomayor Castellanos JR, Macedo Alquicira I, Chávez García HL (2020). Variabilidad en las densidades, las velocidades del ultrasonido y los módulos dinámicos en tres maderas mexicanas y tres maderas japonesas. *Ingeniería y Desarrollo* 38(2):282-299. doi:10.14482/inde.38.2.624.15
- The Engineered Wood Association (2019). Engineered wood construction guide. *APA – The Engineered Wood Association*.
- Wang Z, Zhang D, Wang Z, Liang X, Yang X, Wang J (2023). Research progress on dynamic testing methods of wood shear modulus: A review. *BioResources* 18(1):2262-2270. doi:10.15376/biores.18.1.Wang
- Zhang J (2023). Current applications of engineered wood. *IntechOpen*.



# Comparación de extractos orgánicos del sargazo como inhibidores de corrosión de un acero API 5L X52 obtenidos con diferentes disolventes

Comparison of organic extracts from sargassum as corrosion inhibitors of API 5L X52 steel obtained with different solvents

Ruth López Alcántara<sup>1</sup>, Tania Yaquelin Puc Sarmiento<sup>1,2</sup>, Teresita del Niño Jesús Maldonado Montiel<sup>1</sup>, Tezozomoc Pérez López<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Biomédicas, Universidad Autónoma de Campeche

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche

<sup>3</sup> Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche.

## Resumen

En este trabajo se presentan resultados comparativos de la evaluación de extractos orgánicos de sargazo, como inhibidores de corrosión de un acero API 5L X52, provenientes de 2 sitios diferentes de la Península de Yucatán. La extracción se llevó a cabo en un medio inorgánico polar (agua), uno orgánico polar (metanol) y uno orgánico de polaridad intermedia (acetona), cuyos productos fueron adicionados a 10, 25 y 50 ppm en una disolución de ácido sulfúrico 0.5 M como electrolito. Los ensayos electroquímicos de resistencia de polarización, extrapolación de Tafel y espectroscopía de impedancia electroquímica muestran que en algunos casos, los extractos incrementan la resistencia de transferencia de carga del acero, con lo cual se reduce la velocidad de corrosión y por tanto se manifiesta un efecto inhibitor. Con los extractos de acetona como disolvente, se redujeron las velocidades desde 0.00193 a 0.000058 (A/cm<sup>2</sup>), obteniendo una eficiencia de inhibición superior a 90%, lo que indica que los extractos en este medio se adsorben con mayor energía a la superficie metálica. No se observó una relación directa del sitio de muestra de sargazo, ni del medio de extracción, en la contribución a la inhibición de la corrosión.

**Palabras clave:** Sargazo, inhibidor de corrosión, Acero API 5L X52, medio ácido.

## Abstract

In this work, comparative results are presented of the evaluation of organic seaweed extracts as corrosion inhibitors of API 5L X52 steel, coming from 2 different sites on the Yucatán Peninsula. The extraction was carried out in a polar inorganic medium (water), a polar organic medium (methanol), and an intermediate polarity organic medium (acetone), whose products were added at 10, 25, and 50 ppm in a 0.5 M sulfuric acid solution as electrolyte. Electrochemical tests of polarization resistance, Tafel extrapolation, and electrochemical impedance spectroscopy show that in some cases, the extracts increase the steel's charge transfer resistance, thereby reducing the corrosion rate and thus exhibiting an inhibitory effect. With acetone extracts as a solvent, the rates were reduced from 0.00193 to 0.000058 (A/cm<sup>2</sup>), achieving an inhibition efficiency of over 90%, which indicates that the extracts in this medium adsorb with greater energy to the metal surface. No direct relationship was observed between the sargassum sample site, nor the extraction medium, in the contribution to corrosion inhibition.

**Keywords:** Sargassum, corrosion inhibitor, API 5L X52 steel, acidic medium.

## Introducción

A través del tiempo, los grupos humanos se han adaptado al entorno con el objetivo de lograr mejores condiciones de vida, y para ello han elaborado diversos materiales, entre ellos los metales, que son básicos para fabricar objetos tales como tuberías, monedas, llaves, utensilios de cocina, electrodomésticos, aviones, trenes, barcos, automóviles, autobuses, etc. Sin embargo, en los metales tiene lugar un proceso denominado corrosión, que es la causa general de la alteración y destrucción de la mayor

### Historial

Manuscrito recibido: 3 de noviembre de 2025

Manuscrito aceptado: 20 de marzo de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

### ✉ Autor para correspondencia

Tezozomoc Pérez López  
tezperez@uacam.mx

### Como citar

López Alcántara R, Puc Sarmiento TY, Maldonado Montiel TDNJ, Pérez López T (2026). Comparación de extractos orgánicos del sargazo como inhibidores de corrosión de un acero API 5L X52 obtenidos con diferentes disolventes. *Ciencia Nicolaita* 96:92-99. DOI:10.35830/cn.vi96.889

parte de los materiales naturales o fabricados por el hombre (Ávila y Genescá, 1987). Aunque no es un tema nuevo, es conveniente dedicarle mayor atención, ya que no es un fenómeno que pueda ser eliminado, pero sí puede minimizarse la velocidad del proceso.

En México, se cuenta con 68 mil 843.15 kilómetros de ductos (Cartocrítica, 2017) que requieren mantenimiento permanente a fin de evitar percances que lleguen a ser de impacto en la infraestructura, medio ambiente, economía y seguridad humana. De ahí la importancia de preservar los ductos en buenas condiciones de operación y seguridad. Convencionalmente, la parte externa de los ductos enterrados se protegen mediante protección catódica, los que están expuesta a la intemperie se protegen con sistemas de recubrimientos, mientras que para la parte interna se utilizan inhibidores (Godínez *et al.*, 2003; Kadhim *et al.*, 2021; Tamalmani y Hazlina, 2020)

La primera etapa del proceso de inhibición de la corrosión comienza con la adsorción superficial del inhibidor sobre la superficie metálica, creando interacciones de tipo electrostático que pueden ser fuerzas de van der Waals o de mayor energía para formar quimisorción con los sitios de reacción anódica y/o catódica, reduciendo así las reacciones de oxidación-reducción (González-Rodríguez, 2006; Zakeri *et al.*, 2022). Los inhibidores inorgánicos, como arseniatos, fosfatos, cromatos y dicromatos, pueden funcionar de manera excelente, aún a altas temperaturas durante períodos prolongados. En este tipo de inhibidores, son los aniones los responsables de reducir la velocidad de corrosión. Sin embargo, son altamente peligrosos y tóxicos; no se descomponen ni pierden su potencia al desecharse, lo que representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Esta falta de degradación puede ocasionar la acumulación de sustancias nocivas y aumentar el riesgo de problemas a largo plazo, como el cáncer (Zakeri *et al.*, 2022).

Es cada vez más común utilizar inhibidores provenientes de sustancias de origen natural, que además de mostrar potenciales beneficios, son mucho más amigables con el medio ambiente. Actualmente, debido a la problemática ambiental que causan los inhibidores químicos, se ha formulado la creación de inhibidores “verdes” entre las que se encuentra extractos de plantas (Wei, *et al.*, 2020; Tejeda *et al.*, 2014; Gómez, 2022; Chung *et al.*, 2020). Maldonado y col. (2022), ensayaron con acero al carbono en medio ácido, un extracto en medio etanólico de una semilla de una especie muy común de la Península de Yucatán, México, con resultados favorables en la disminución de la velocidad de corrosión. Torres *et al.* (2023), realizaron pruebas con acero SAE 1010, en ácido clorhídrico 1M, utilizando *Tradescantia spathacea*; repor-

tan eficiencias superiores al 90% y determinaron que actúa de acuerdo a un mecanismo mixto, con adsorción superficial en monocapa, tipo Langmuir.

El sargazo es una especie invasiva que afecta los ambientes en los que prolifera (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2021), sobre todo en zonas turísticas de las costas de México (Aguirre, 2021). Diversas investigaciones han utilizado algún tipo de sargazo, probando disolventes de diferente polaridad con la intención de probar si los extractos tienen propiedades inhibitorias. Nadi *et al.* (2019), aplicaron sobre acero al carbono, un extracto obtenido de *Sargassum muticum*, colectado en la costa Atlántica de Marruecos, a base de biopolímero de alginato en HCl 1M y ambiente de decapado. Alcanzaron hasta 97% de eficiencia de inhibición y determinaron un mecanismo de cobertura superficial de monocapa, tipo Langmuir. Malyon *et al.* (2024), caracterizaron extractos de *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* recolectadas en 3 sitios de la Isla Guadalupe, en HCl 1M sobre muestras de acero. Los autores reportaron diferentes eficiencias de inhibición, que son asociadas al tipo de medio de extracción. Nikitasari *et al.* (2021), investigaron extractos de sargazo en Indonesia, obteniendo eficiencias mayores del 90% en un acero API 5L X52 en HCl 0.1M. Lambert *et al.* (2023) reportaron con un extracto de sargazo de 2 partes de la costa de la Isla Martinica con acero C38 en medio HCl 1M, eficiencias desde 74 a 83%, determinando un mecanismo de cobertura tipo Langmuir.

En este trabajo se obtuvieron extractos de sargazo, recolectados en Campeche, Golfo de México (*Sargassum fluitans*) y Tulum, en el Caribe de México (*Sargassum natans*), como propuesta de inhibidores de corrosión para ensayar un acero API 5L X52 en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1M. La eficiencia mayor a 90%, es prometedora para proceso de obtención y utilización de los extractos de sargazo, lo que implicaría un beneficio doble, al ocupar un producto que afecta el ambiente y usarlo como inhibidor de corrosión para limpieza y decapado de aceros de tubería de la industria petrolera.

## Materiales y métodos

### Colecta de sargazo, zonas de muestreo

Muestra A. (*Sargassum fluitans*). Littler y Littler (2000). Campeche Playa Bonita, Lerma (Golfo de México). Playa Bonita, ubicada en la localidad de Lerma, Campeche, se encuentra aproximadamente en las coordenadas 19°47'35" N (latitud norte) y 90°33'35" O (longitud oeste), sobre la costa del Golfo de México, al sur de la Ciudad de San Francisco de Campeche.

Muestra B. (*Sargassum natans*). Littler y Littler (2000). Tulum, bahía QROO (Caribe mexicano). Las coordenadas geográficas aproximadas de Tulum, Quintana Roo, en el Caribe mexicano, son **20°12'39" N 87°27'48" O**. Estas coordenadas sitúan al pueblo y la zona arqueológica en la costa este de la Península de Yucatán.

**Preparación de muestras**

Las muestras de sargazo recolectadas se colocaron en bolsas limpias, para proseguir con su lavado con el objetivo de eliminar cualquier otro componente que pudiera interferir. Posteriormente, se sometieron al secado a temperatura ambiente de tal manera que adquirieran las condiciones para su molienda y obtención del extracto de ambos sargazos. Finalmente, fueron guardadas en bolsas de cierre hermético. La **Figura 1** muestra el proceso de molido y el pesado de la cantidad obtenida.

Para la obtención de los extractos, se utilizaron tres sustancias conforme a su polaridad: 1) polar inorgánico (Agua, Ag); 2) polar orgánico (Metanol, Me) y 3) orgánico de polaridad intermedia (Acetona Ac). La finalidad fue disolver diferentes componentes de los sargazos para comparar su capacidad inhibidora. Para un gramo de sargazo (A o B respectivamente), se utilizaron 30 mL de cada sustancia, con posteriores filtrado y secado.

Las probetas de acero API 5L X52 con un área aproximada de 1 cm<sup>2</sup>, fueron cortadas de una sección de tubería. Posteriormente, fueron embebidas en resina tipo epoxi de marca comercial y finalmente fueron tratadas superficialmente con lijas números 100, 200, 400 y 600.

**Ensayos electroquímicos**

La **Tabla 1** muestra la matriz de ensayos para la evaluación de la capacidad inhibidora de los extractos sobre un acero API 5L X52 en un medio ácido sulfúrico 0.5 M a temperatura ambiente, se realizaron ensayos a 2 muestras testigo y concentraciones de 10 ppm, 25 ppm y 50 ppm de cada inhibidor. Los ensayos electroquímicos fueron realizados en una celda convencional de 3 electrodos: calomel saturado como referencia, platino como contraelectrodo y acero API 5L X52 como electrodo de trabajo. La velocidad de corrosión se determinó mediante los barridos de las pruebas electroquímicas: resistencia a la polarización (Rp) con un intervalo desde -20 a +20 mV vs Ecorr; extrapolación de Tafel (ET) con un intervalo de -250 a 250 mV vs Ecorr y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE) con un intervalo de frecuencias de 100,000 a 0.01 Hz, con una señal de 10 mV de amplitud y 7 lecturas por década.

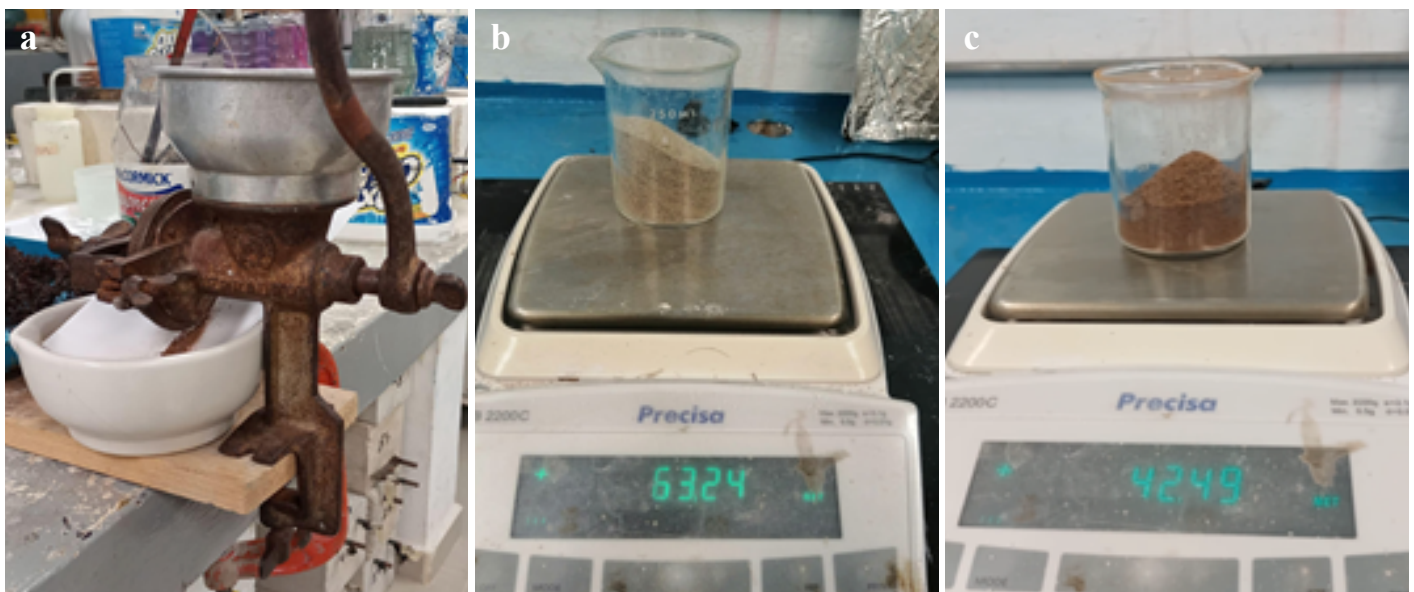
**Resultados y discusión**

*Potencial de corrosión (Ecorr)*

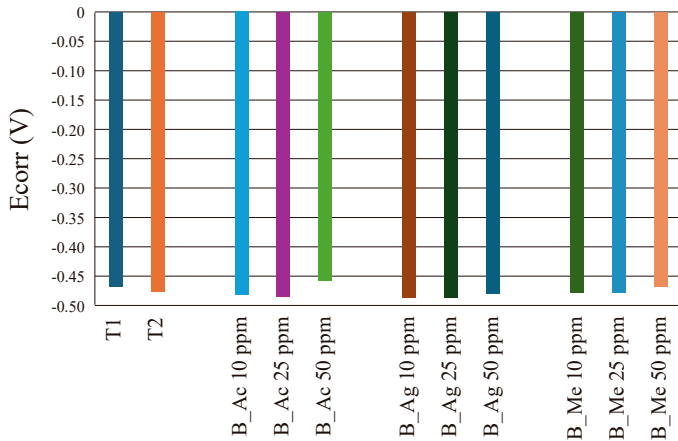
La **Figura 2** presenta los resultados de la medición de esta variable termodinámica para la serie del sargazo recolect-

**Tabla 1.** Matriz experimental

Sitio/Concentración (ppm)	0	10	25	50
Campeche (A)	Ecorr	Rp	ET	EIE
Tulum (B)	Ecorr	Rp	ET	EIE



**Figura 1.** Proceso de molido y pesado. **a)** Extracción del sargazo **b)** y **c)** Cantidad de extractos obtenidos.

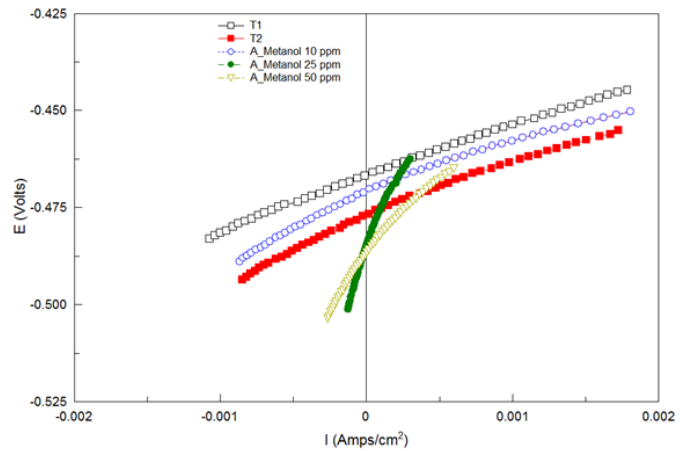


**Figura 2.** Potencial de corrosión,  $E_{corr}$ , de muestras colectadas en Tulum.

ado en Tulum. Se advierte una ligera tendencia a desplazar el  $E_{corr}$  a valores más negativos, en el intervalo de variación desde -0.440 a -0.492 V lo cual puede ser útil para aplicaciones donde se busca inhibir la corrosión sin alterar drásticamente las condiciones del entorno Nadi *et al.* (2019) y Meylon *et al.* (2024), obtuvieron valores de potencial en el mismo intervalo con disolución 1M de HCl; Nikitasari *et al.* (2000) reportaron valores ligeramente inferiores en disolución de HCl 0.1 M. Estos resultados indican que el  $E_{corr}$  es similar para extractos de sargazo en medio ácido, independientemente del origen. Se observa la estabilidad del sistema en el medio ácido y la poca influencia que se induce por la adición de los extractos marinos.

**Resistencia de polarización ( $R_p$ )**

En la **Figura 3** se presenta el gráfico de  $R_p$  como función de



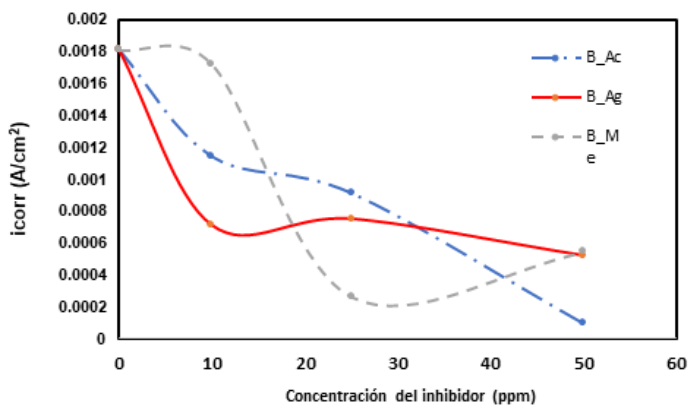
**Figura 3.** Resistencia de polarización,  $R_p$ , de una serie representativa a 3 diferentes concentraciones.

la concentración de inhibidor. En la mayoría de los casos, las muestras de extractos de sargazo presentaron valores de  $R_p$  má altos que la muestra de testigo (sin extracto), lo que sugiere una mayor resistencia a la corrosión. Sin embargo, no se observó una relación directa entre el lugar de la recolección de sargazo y la eficiencia inhibitoria de los extractos. En la **Figura 4**, se aprecia la disminución de la velocidad de corrosión al incrementar la concentración del inhibidor. De los barridos de  $R_p$ , se obtuvieron los resultados de la **Tabla 2**.

En la **Figura 4**, se aprecia una clara tendencia decreciente de la velocidad de corrosión conforme se incrementa la concentración de los (tres) extractos del sargazo. Este comportamiento es característico de inhibidores cuya eficiencia depende de la cobertura superficial que logran sobre el metal, sugiriendo un mecanismo de adsorción. La relación inversa entre concentración y velocidad de

**Tabla 2.** Velocidades de corrosión obtenidas por resistencia de polarización.

Concentración (ppm)	Lerma (A)		Tulum (B)	
	Código	$i$ (A/cm <sup>2</sup> )	Código	$i$ (A/cm <sup>2</sup> )
0	T1 (Blanco1)	0.00193	T1 (Blanco1)	0.00193
0	T2 (Blanco 2)	0.00169	T2 (Blanco 2)	0.00169
10	A_Ac 10 ppm	0.00114	B_Ac 10 ppm	0.00155
25	A_Ac 25 ppm	0.00091	B_Ac 25 ppm	0.0000903
50	A_Ac 50 ppm	0.000091	B_Ac 50 ppm	0.000058
10	A_Ag 10 ppm	0.00071	B_Ag 10 ppm	0.00162
25	A_Ag 25 ppm	0.00075	B_Ag 25 ppm	0.00128
50	A_Ag 50 ppm	0.00052	B_Ag 50 ppm	0.00127
10	A_Me 10 ppm	0.00172	B_Me 10 ppm	0.00106
25	A_Me 25 ppm	0.00026	B_Me 25 ppm	0.00142
50	A_Me 50 ppm	0.00054	B_Me 50 ppm	0.000058

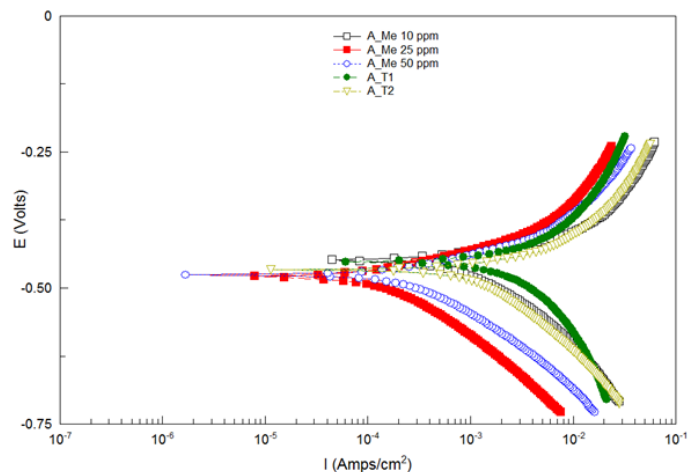


**Figura 4.** Velocidades de corrosión obtenidas por resistencia de polarización,  $R_p$ , de una serie representativa a 3 diferentes concentraciones.

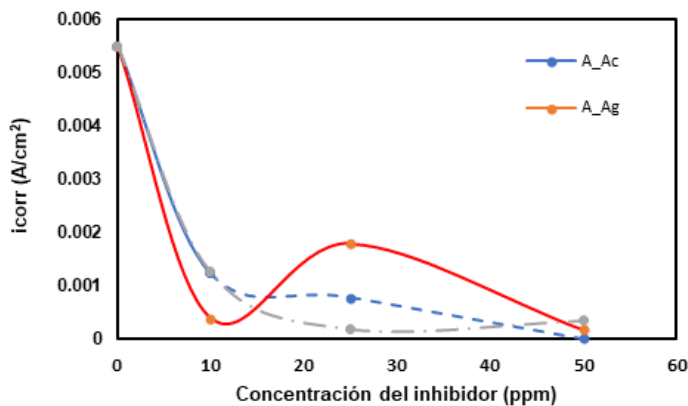
corrosión refuerza la hipótesis de que los compuestos bioactivos presentes en los extractos de sargazo se adsorben sobre la superficie metálica, formando una barrera protectora que limita el acceso a los agentes corrosivos. Estos resultados respaldan el potencial del sargazo como fuente de inhibidores de corrosión de origen natural, cuya eficacia puede modularse a través del ajuste de su concentración. Asimismo, cuando se comparan las velocidades de corrosión en función de la concentración del inhibidor, los tres extractos del sargazo (extracto con agua, acetona y metanol) muestran patrones inhibitorios distintos: El extracto etanólico no reduce la velocidad de corrosión entre 0 y 10 ppm, pero tiene un fuerte efecto inhibitorio en el intervalo de concentración entre 10 y 25 ppm, sin embargo, a concentración superior la velocidad de corrosión aumenta sugiriendo posible saturación o desestabilización. El extracto acetónico, reduce la velocidad de corrosión desde concentraciones bajas (entre 0 y 10 ppm) mostrando una caída suave de la pendiente pero constante hasta registrar  $icorr < 0.0002 \text{ A/cm}^2$  en 50 ppm de concentración, la más eficiente globalmente. El extracto acuoso, por otro lado, muestra una disminución en la velocidad de corrosión más rápida en el intervalo de 0 a 10 ppm, comparada con los extractos metanólico y de acetona, pero posteriormente se estabiliza en el intervalo entre 10 y 50 ppm.

#### Extrapolación de Tafel (ET).

Las curvas de polarización de la **Figura 5** mostraron disminución de la velocidad de corrosión de las muestras con el incremento de la concentración del inhibidor. Se observa que en algunos casos el efecto es en la región catódica y en otros en ambas regiones, tanto catódica como anódica. En los ensayos complementarios, no se manifiesta una tendencia clara entre el medio de extracción y el efecto de inhibición en la interfase del sistema. En la **Figura 6**, se aprecia la disminución de la velocidad de corrosión al



**Figura 5.** Curvas de polarización de Tafel, de una serie representativa a 3 diferentes concentraciones.



**Figura 6.** Velocidades de corrosión obtenidas por Curvas de polarización de Tafel, de una serie representativa a 3 diferentes concentraciones.

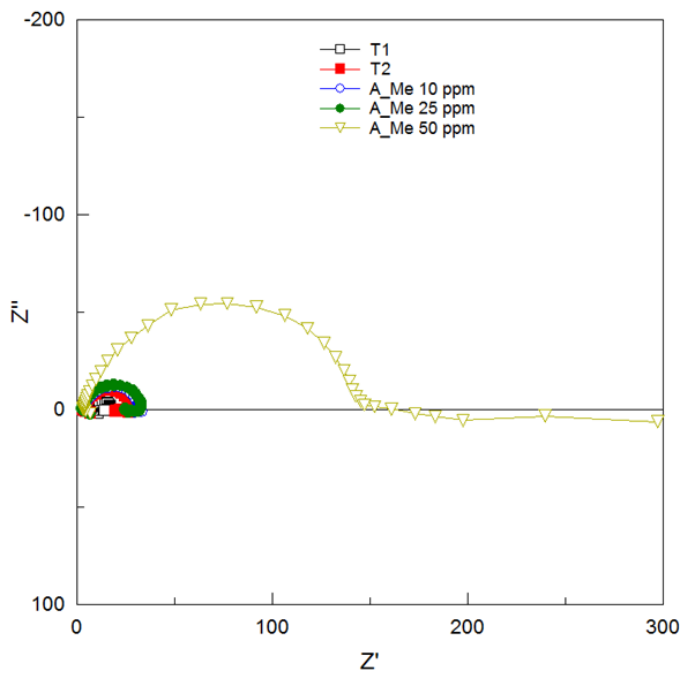
incrementar la concentración del inhibidor. De los barridos de extrapolación de Tafel, se obtuvieron los resultados de la **Tabla 3**.

#### Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE).

En la **Figura 7**, en diagramas de Nyquist se aprecia que los semicírculos son mayores en las muestras cuando se incrementa la concentración de los extractos. También se aprecia que en las bajas frecuencias tiende a formarse un semicírculo debajo del eje horizontal en los testigos lo cual es indicio de la reacción de generación de hidrógeno. En las diferentes concentraciones de inhibidor, es posible que el loop inductivo sea el efecto combinado de la reacción de hidrógeno con la adsorción superficial del inhibidor de los extractos ensayados. El incremento en el radio de los semicírculos de los diagramas de Nyquist indica mayor resistencia en la intercara disolución-acero, lo que reduce la velocidad de corrosión. De los barridos de espectroscopía de impedancia electroquímica, se obtuvieron los resultados de la **Tabla 4**.

**Tabla 3.** Velocidades de corrosión obtenidas por extrapolación de Tafel.

Concentración (ppm)	Lerma (A)		Tulum (B)	
	Código	i (A/cm <sup>2</sup> )	Código	i (A/cm <sup>2</sup> )
0	T1	0.00854	T1	0.00854
0	T2	0.00244	T2	0.00244
10	A_Ac 10 ppm	0.001232	B_Ac 10 ppm	0.001078
25	A_Ac 25 ppm	0.000785	B_Ac 25 ppm	0.0000191
50	A_Ac 50 ppm	0.0000202	B_Ac 50 ppm	0.000021
10	A_Ag 10 ppm	0.000394	B_Ag 10 ppm	0.001441
25	A_Ag 25 ppm	0.001794	B_Ag 25 ppm	0.001138
50	A_Ag 50 ppm	0.000187	B_Ag 50 ppm	0.000791
10	A_Me 10 ppm	0.001261	B_Me 10 ppm	0.0007204
25	A_Me 25 ppm	0.000195	B_Me 25 ppm	0.000794
50	A_Me 50 ppm	0.000351	B_Me 50 ppm	0.0000044

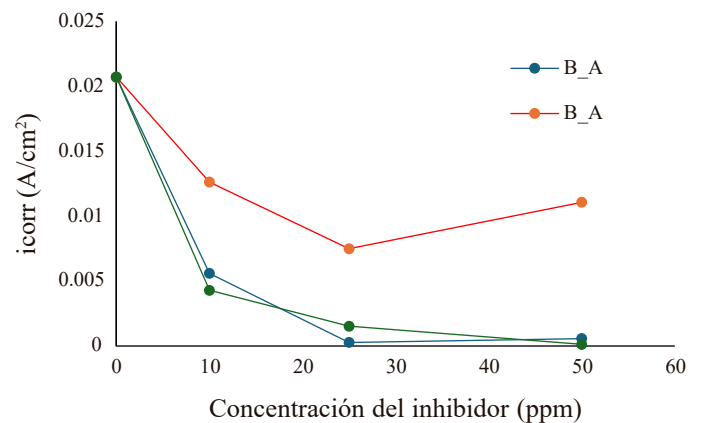


**Figura 7.** Espectroscopía de impedancia electroquímica, EIE, de una serie representativa a 3 diferentes concentraciones.

Eficiencia. El valor es obtenido a partir de los valores de velocidad de corrosión, mediante la ecuación:

$$Ef = \frac{icorr1 - icorr2}{icorr1} * 100$$

En la **Figura 9** se muestra la eficiencia inhibitoria (%) de los extractos de sargazo (Ag, Ac, Me) en 3 concentraciones diferentes. se confirma que el extracto de acetona alcanza la mayor eficiencia global (95%) a



**Figura 8.** Curvas de polarización de Tafel, de una serie representativa para 3 diferentes concentraciones.

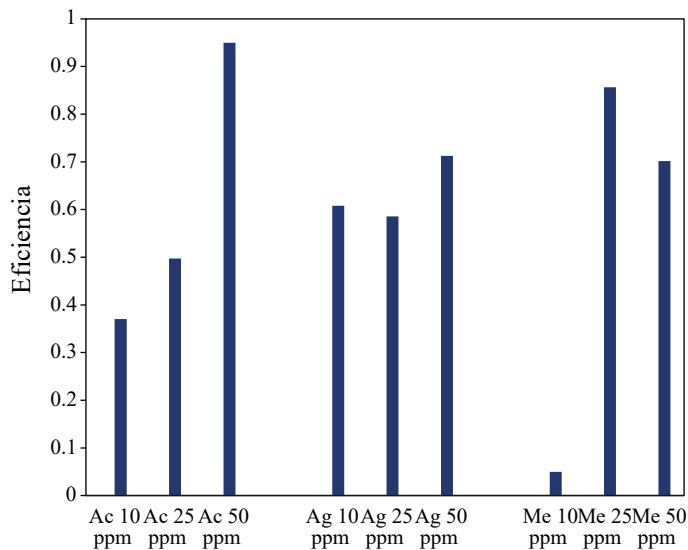
concentración de 50 ppm, mientras que el extracto acuoso actúa mejor a baja concentración (10 ppm); el extracto metonólico muestra un comportamiento no lineal con pérdida de eficacia a concentración alta (50 ppm). Es decir, se observa que la adición de los inhibidores incrementa la resistencia del sistema, lo cual demuestra su capacidad para funcionar como reductor de la velocidad de corrosión.

## Conclusiones

Los resultados de los ensayos electroquímicos muestran que los extractos de sargazo tienen potencial capacidad como inhibidores de corrosión. Tanto en polarización de alto como bajo campo en corriente directa se observa que disminuye la velocidad de corrosión con la adición de extractos y su concentración. Con la señal en corriente

**Tabla 4.** Velocidades de corrosión obtenidas por espectroscopía de impedancia electroquímica.

Concentración (ppm)	Lerma (A)		Tulum (B)	
	Código	$i$ (A/cm <sup>2</sup> )	Código	$i$ (A/cm <sup>2</sup> )
0	T1	0.00183876	T1	0.00183876
0	T2	0.00123200	T2	0.00123200
10	A_Ac 10 ppm	0.00116749	B_Ac 10 ppm	0.0055914
25	A_Ac 25 ppm	0.00638821	B_Ac 25 ppm	0.00027446
50	A_Ac 50 ppm	0.00031707	B_Ac 50 ppm	0.00057433
10	A_Ag 10 ppm	0.01125541	B_Ag 10 ppm	0.01262136
25	A_Ag 25 ppm	0.0013000	B_Ag 25 ppm	0.0074928
50	A_Ag 50 ppm	0.00863787	B_Ag 50 ppm	0.01106383
10	A_Me 10 ppm	0.00790274	B_Me 10 ppm	0.00429043
25	A_Me 25 ppm	0.00369844	B_Me 25 ppm	0.00152672
50	A_Me 50 ppm	0.00393343	B_Me 50 ppm	0.00012683



**Figura 9.** Eficiencia de inhibición de una serie representativa a 3 diferentes concentraciones.

alterna (EIE), también se observa la capacidad de inhibición de corrosión de las sustancias ensayadas. Se obtuvieron reducciones de velocidad de corrosión desde 0.00193 a 0.000058 (A/cm<sup>2</sup>) con 50 ppm de extracto de sargazo procedente de Tulum, utilizando como disolvente acetona. No se aprecia una tendencia clara por efecto del sitio de recolección del sargazo. Se observó que los extractos obtenidos con acetona mostraron mejor capacidad inhibidora, seguida del metanol y por último el agua. Esto es debido a que cada la naturaleza del disolvente extrae sustancias características afines a su estructura polar o no polar, afectando de diferente manera a la condición de la intercara electrolito-metal.

## Agradecimientos

Los autores externan su gratitud a la Universidad Autónoma de Campeche por el apoyo otorgado para el desarrollo de esta investigación.

## Referencias

- Aguirre Muñoz A (2019). El Sargazo en el caribe mexicano, la negación y el voluntarismo a la realidad.
- Ávila J, Genescá J (1987). Mas allá de la herrumbre, México, Fondo de Cultura Económica, p. 110.
- Bockris JM, Reddy AKN (2000). *Modern Electrochemistry 2B: Electrode Processes in Chemistry, Engineering, Biology and Environmental Science*, p. 561, 2nd Ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, N. Y.
- Chung I-M, Malathy R, Priyadharshini R, Hemapriya V, Kim S-H, Prabakaran M (2020) Inhibition of mild steel corrosion using Magnolia kobus extract in sulphuric acid medium. *Materials Today Communications* 25:101687. doi:10.1016/j.mtcomm.2020.101687
- Godínez LA, Meas Y, Ortega R, Corona A (2003). Los inhibidores de corrosión. *Revista de Metalurgia* 39149. <https://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/325/327>.
- Gómez-Pérez AY (2022). Evaluación de extractos naturales como inhibidores de corrosión para acero API 5L X52 en medio ácido, Tesis de Maestría en Ciencias de la Preservación de Materiales, Universidad Autónoma de Campeche, pp 98.
- González Rodríguez CA (2006). Comportamiento electroquímico de un inhibidor de corrosión tipo amina cuaternaria en agua de mar sintética. Tesis Maestría en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 102.

- Kadhim A, Betti N, Al-Bahrani HA, Al-Ghezi MKS, Gaaz T, Kadhum AH, Alamiery A (2021). A mini review on corrosion, inhibitors and mechanism types of mild steel inhibition in an acidic environment. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 10(3):861-884. doi:10.17675/2305-6894-2021-10-3-2.
- Kausalya Tamalmani H, Husin H (2020). Review on Corrosion Inhibitors for Oil and Gas Corrosion Issues. *Appl. Sci.* 10(10):3389. doi:10.3390/app10103389.
- Lambert P, Said-Ahmed M, Jama C, Lebrini M (2023). Molecules from *Sargassum algae* as green inhibitor for C38 in HCl medium: extraction, characterization and electrochemical study. *Coatings* 13:2076. doi:10.3390/coatings13122076.
- Littler DS, Mark Masterton Littler (2000). Caribbean Reef Plants. An Identification Guide to the Reef Plants of the Caribbean, Bahamas, Florida And Gulf of México. OFF SHORE GRAFICS, INC. PO. BOX 6139. WASHINGTON. D. C. 20044-5139. USA. The Ocean Conservancy.
- Maldonado Rivas PJ, García Ochoa EM, Corvo Pérez FE, Dzib Pérez LR, Pérez Lopez T, Chan Metelin L (2022). Evaluación del extracto etanólico de semillas de *Piscidia piscipula* (jabín) como inhibidor de la corrosión del acero al carbono en medio ácido. *South Florida Journal of Development* 3(5):6203-6208. doi:10.46932/sfjdv3n5-055.
- Melyon S, Reig Rodrigo P, Sénard M, Brelle L, Sylvestre M, Gaspard S, Valencia DP, Cebrian-Torrejon G (2024). Investigating the inhibitory effect of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* extracts on iron corrosion in 1.00 mol L<sup>-1</sup> HCl solution. *Coatings* 14:1316. doi:10.3390/coatings14101316
- Nadi I, Belattmania Z, Sabour B, Reani A, Sahibed-dine A, Jama C, Bentiss F (2019). *Sargassum muticum* extract based on alginate biopolymer as a new efficient biological corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid pickling environment: Gravimetric, electrochemical and surface studies. *International Journal of Biological Macromolecules* 141:137-149. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.08.253
- Nikitasari A, Sundjono G, Royani A, Priyotomo G (2021). *Sargassum* seaweed extract as a novel green corrosion inhibitor for API-5L carbon steel. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition* 10:1689-1699. doi:10.17675/2305-6894-2021-10-4-20
- Rodríguez-Martínez RE, Quintana-Pali G, Trujano-Rivera KI, Herrera R, García-Rivas MdC, Ortiz A, Castañeda G, Maldonado G, Jordán-Dahlgren E (2021) *Sargassum* landings have not compromised nesting of loggerhead and green sea turtles in the Mexican Caribbean. *Journal of Environmental Management* 299:113614. doi:10.1016/j.jenvman.2021.113614
- Tejeda Benítez LP, Meza Castellar PJ, Altamiranda Percy ED, Berrocal Bravo MJ (2014). Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión Plant extracts used as corrosion inhibitors. *Informador Técnico* 78(2):155-164.
- Torres Hernández JR, Del Angel Meraz E, Corvo Pérez EF (2023). *Tradescantia spathacea*: New green corrosion inhibitor for SAE 1010 steel in acid medium. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 12(1):61-83. doi:10.17675/2305-6894-2023-12-1-4.
- Wei H, Heidarshenas B, Zhou L, Hussain G, Li Q, Kostya O (2020). Green inhibitors for steel corrosion in acidic environment: state of art. *Materials Today Sustainability* 10:100094.
- Zakeri A, Bahmani E, Rouh Aghdam AS (2022). Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review. *Corrosion Communications* 5:25-38. doi:10.1016/j.corcom.2022.03.002.




## Páginas web consultadas

<https://cartocritica.org.mx/2017/ductos/>

<https://www.worldcat.org/es/title/caribbean-reef-plants-an-identification-guide-to-thereef-plants-of-the-caribbean-bahamas-florida-and-gulf-of-mexico/oclc/475374358>



# Design of a passive device for a maximum shadow on roofs in a warm humid climate

Carlos Fernando Arias Martínez , Jenniffer Guadalupe Jiménez Anzar , Carlos Javier Esparza López ,  
Jorge Armando Ojeda Sanchez  

Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima. Km. 9 Ctra.-Coquimatlán, Colima, 28400, Colima, México.

## Abstract

Buildings and homes in warm humid climates are major sources of energy consumption, and roofs are generally exposed to the greatest solar gain, leading to overheating. Shading devices are passive solutions that reduce solar irradiance gains. However, the shape of these devices is based on reused materials or fixed geometries, considering aspects such as orientation. In the present work, we analyze the geometric configuration of a shading device that can control the incoming solar gain on roofs by the maximum shading length. The optimal device design is derived from the application of solar geometry and the principles of the constructal design methodology. The shading device's optimal geometric configuration maximizes the shading length in summer and winter in a warm humid climate. The shading device arrangement on the roof of a low-income house was analyzed by numerical simulation for different aspect ratios of the devices, reducing the temperature by an average of 2.2 °C for an aspect ratio of  $l_H/l_D = 2$ . This configuration offers a 0.5 kW reduction compared with the case without shading devices. The shading devices contribute to the set of passive solutions to achieve adequate conditions (energy and habitability) in warm humid climates.

**Keywords:** shading device, geometry, passive device, shadow length, thermal performance

## Introduction

In warm-humid climates, roofing surfaces are critical contributors to internal heat loads, particularly in low-cost dwellings with minimal insulation or thermal mass. Roofs are exposed to high direct solar irradiance for extended periods and thus act as heat conduits into interiors, elevating indoor operative temperatures and intensifying cooling demands. Therefore, passive shading strategies at the roof level are an attractive, low-energy intervention to mitigate these heat gains, reduce reliance on mechanical cooling, and enhance thermal comfort in tropical housing contexts.

Historically, solar control design guidance relied on classical rules of thumb based on solar altitude and azimuth, as codified in works such as Olgyay & Olgyay (Olgyay, 2015). These principles (e.g., overhang depths, projection factors) provide a foundational baseline for shading device sizing. However, over the past decades, the increasing sophistication of building simulation tools has prompted a more rigorous optimization of shading geometries, particularly in facades. Recent envelope frameworks integrate multiple objectives, such as energy consumption, daylighting, visual comfort, and thermal comfort, into unified design tools (Nasrollhazadeh, 2021). However, much of this effort is concentrated on vertical facades rather than roof surfaces. One promising class of hybrid solutions

### Dates

Received: December 20, 2025

Accepted: March 12, 2026

Available online: April 2026

### Corresponding author

Jorge Armando Ojeda Sánchez

jojeda1@ucol.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5026-5459>

### Cite this article

Arias Martínez CF, Jiménez Anzar JG, Esparza López CJ, Ojeda Sánchez JA (2026). Design of a passive device for a maximum shadow on roofs in a warm humid climate. *Ciencia Nicolaita* 96:100-112. DOI:[10.35830/cn.vi96.898](https://doi.org/10.35830/cn.vi96.898)

converts roof-mounted modules into photovoltaic (PV) systems that also serve as shading elements. Roof-mounted PV arrays reduce net solar flux on roof membranes, thereby attenuating the upward heat flow into top rooms or attic spaces while simultaneously generating electricity. Nonetheless, these studies often emphasize well-insulated or conditioned buildings in higher-income settings, with less attention to low-cost housing or the geometric optimization of PV arrays purely as shading devices (Albatayneh 2022; Ma 2023; Shen 2022).

The dual nature of such systems introduces coupling between thermal shading performance and PV efficiency, since elevated PV temperatures may degrade electrical

output, thereby complicating optimal trade-offs. Parametric and multi-objective optimization methods have been applied to the design of overhangs, fins, louvers, and adaptive shading systems in parallel to hybrid shading. For example, global optimization algorithms and sensitivity analysis are used to identify the parameters (depth, angle, and spacing) that dominate thermal and daylight outcomes in light-shelf and façade shading. These tools have sharpened our understanding of the trade-offs between daylighting quality and solar gain control (Bahdad,2021). Importantly, while these techniques are well developed for façades, their adaptation to roof-mounted passive geometries (e.g., flat overhangs, double plates, tilt angles) remains underexplored. Several case-based and simulation studies have been conducted in the hot-climate domain of roof-level shading. Some studies have examined fixed overhang optimization for residential buildings and found modest but measurable cooling demand reductions (e.g., 4% in a study in Casablanca) (Sghouri, 2018). Others have analyzed the shading performance of rooftop configurations in particular climate zones, exploring trade-offs in plate orientation or shading depth (García,2020). However, many such studies adopt climate contexts outside truly humid-tropical conditions or do not systematically optimize device geometry across seasonal extremes.

Recent research has extended the investigation of shading devices to region-specific climates. For instance, the performance of artificial shading devices in Saudi contexts was evaluated under different materials (Tahir, 2025). The cooling effect of fixed external shading devices in hot-humid cities was assessed, but mostly from a material or orientation standpoint rather than full parametric optimization (Homod,2021). In the literature on building envelope, the coupling of thermal comfort, daylighting, and energy performance for façade and roof elements was explored in hot climates, showing energy savings up to 25% when design variables like window-to-wall ratio and shading dimensions are jointly optimized (Wu 2025; Yang 2025). Despite these advances, the literature exhibits recurring gaps and limitations:

1. Lack of geometric optimization specifically for roof-mounted passive shading devices: While shading on facades is well studied, the roof as a plane requiring seasonal solar protection under tropical sun angles is far less explored with constructal or analytic design methods.
2. Scant focus on low-cost or mass-produced housing contexts: Many studies assume high-spec envelope assemblies, active cooling, or complex installations that are

impractical for low-income housing. Limited works are tailored for simple construction constraints, economic viability, and ease of installation.

3. Insufficient integration of field calibration and simulation: Many proposals remain in simulation-only form; shading designs in vernacular homes are validated via monitored field data and dynamic model calibration.
4. Limited exploration of trade-offs among shading depth, tilt, spacing, and orientation under humid-tropical solar regimes across seasons. Only a few studies have traversed both summer and transitional seasons with optimized configurations.
5. Underexplored coupling between shading effectiveness and PV performance for roof-mounted arrays functioning concurrently as shading devices, especially in contexts where PV temperature sensitivity and shading geometry strongly interplay.

Given these gaps, this paper seeks to contribute by systematically analyzing a two-plate passive shading device with maximum shadow length. Designed for roof applications in warm-humid climates, focusing on low-cost implementation. The shading device size and geometric configuration were determined using well-known solar geometry and solar height expressions. Any geometric configuration on any other date and its respective solar altitude is included between the two solar altitudes that correspond to the summer and winter solstices. The device design does not consider the cumulative irradiances from the sun and the sky as a barrier. Specifically, the work: (i) formulates analytic geometric relationships (plate lengths, tilt angles, and spacing) to maximize shading over critical solar angles within constructal method (Miguel, 2008); (ii) couples these geometric designs with calibrated dynamic simulations (via EnergyPlus/Design Builder software) applied to representative mass-produced housing units; and (iii) evaluates the thermal performance (operative temperature reduction, cooling load impact) of optimized versus baseline configurations. Thus, this research bridges analytic geometry, pragmatic constraining, and simulation validation to address a knowledge gap in roof shading for tropical housing design and retrofit.

## Methodology

This work was developed in different stages. Initially, the study site's climatic characteristics were presented, fol-

lowed by the identification of a case study for shading device analysis. A low-cost, low-income housing unit was selected. Subsequently, expressions defining the shading device's geometric configuration were developed. The angles and the relationship between the lengths of the panels that provide the maximum shading length were identified on two representative dates: summer and winter solstice. In addition to recording the temperature, humidity, and outdoor radiation, temperature and humidity measurements are made in a low-income house. The obtained data were used to calibrate the simulation model. Finally, once the simulation model was calibrated, a simulation analysis was conducted for different geometric configurations of the shading device, applied to the roof of a low-income house, and its effect on indoor temperature, as a first approximation to the application of the constructal methodology to architectural elements. The methodology is illustrated in **Figure 1**.

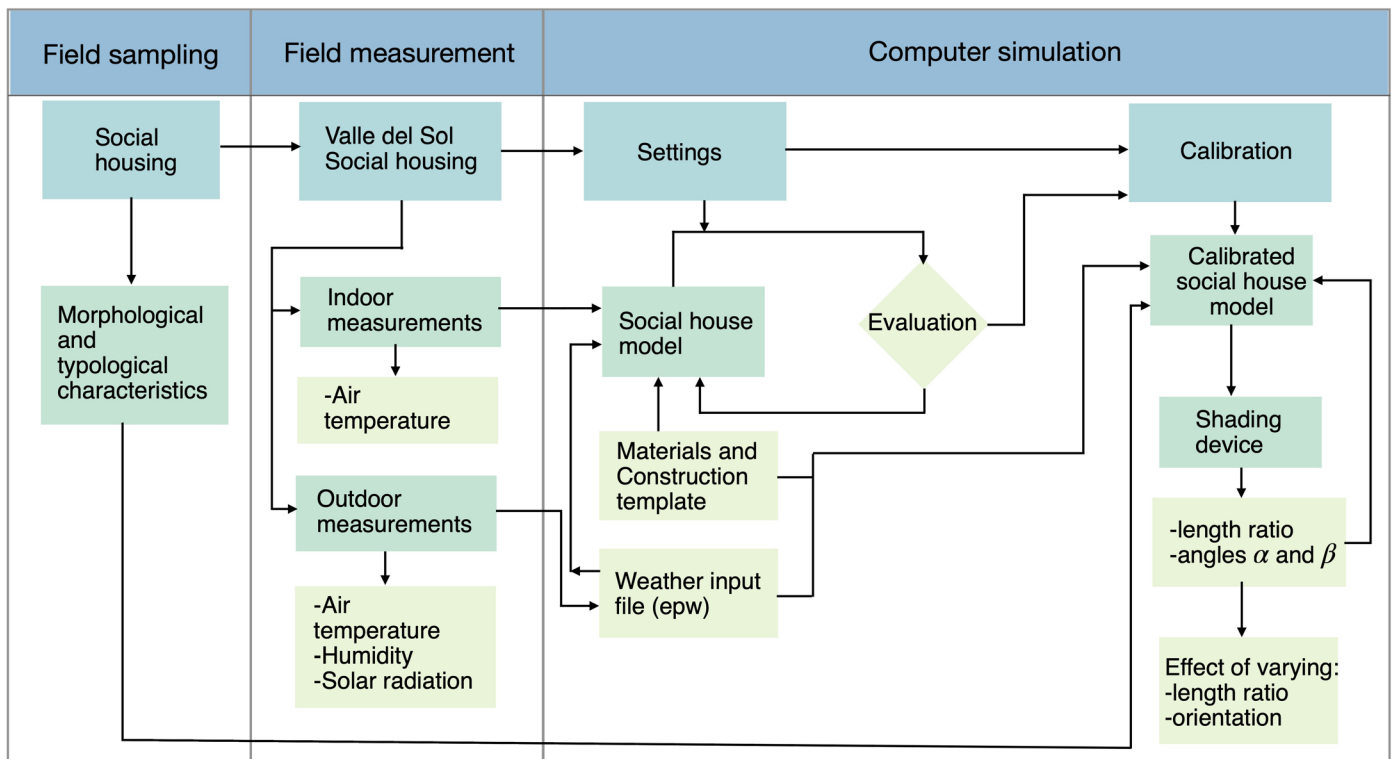
**Climatic conditions**

The present work was conducted in Colima, México at 19°14'40" N, 103°46'28" W, and 484 m above sea level, which has a hot humid climate characterized by elevated temperatures and high levels of humidity. The average annual temperature is 26.4 °C, thermal swing is 14.7 °C with an annual rainfall is 856.3 mm (SMN, 2010). According to

the Köppen-Geiger classification, the climate is an equatorial savanna climate with a dry winter (Aw) (Kottek, 2006). **Figure 2** shows a map of the study area geographically referenced with latitude and longitude markings.

In **Figure 3**, shows the maximum, mean, and minimum dry bulb temperature (DBT) and relative humidity (RH), where the three main climatic seasons can be observed. The warm subhumid season occurs from January to March and November to December, with a mean temperature of 24.5 °C and a RH of 60.9%. The hot sub-humid season runs from April to May with mean values of temperature and RH of 26.2 °C and 63%, respectively. Finally, the hot humid season, which runs from June to November, has an average temperature and RH of 27.3 °C and 73%.

To evaluate shading devices, low-income, mass-built houses in urban developments must first be identified. This type of housing was developed to meet the needs of the population of Colima, Mexico. These 104 m<sup>2</sup> houses comprised two bedrooms, a bathroom, a kitchen, and a dining room. Social housing conditions in warm climates often fail to provide adequate habitability conditions due to the inherent challenges associated with these environments. The high temperatures and humidity levels in these climates can lead to a range of issues, including heat stress, moisture damage. Residents of these areas frequently experience discomfort and health problems (Flores, 2021).



**Figure 1.** Flowchart of the methodology.

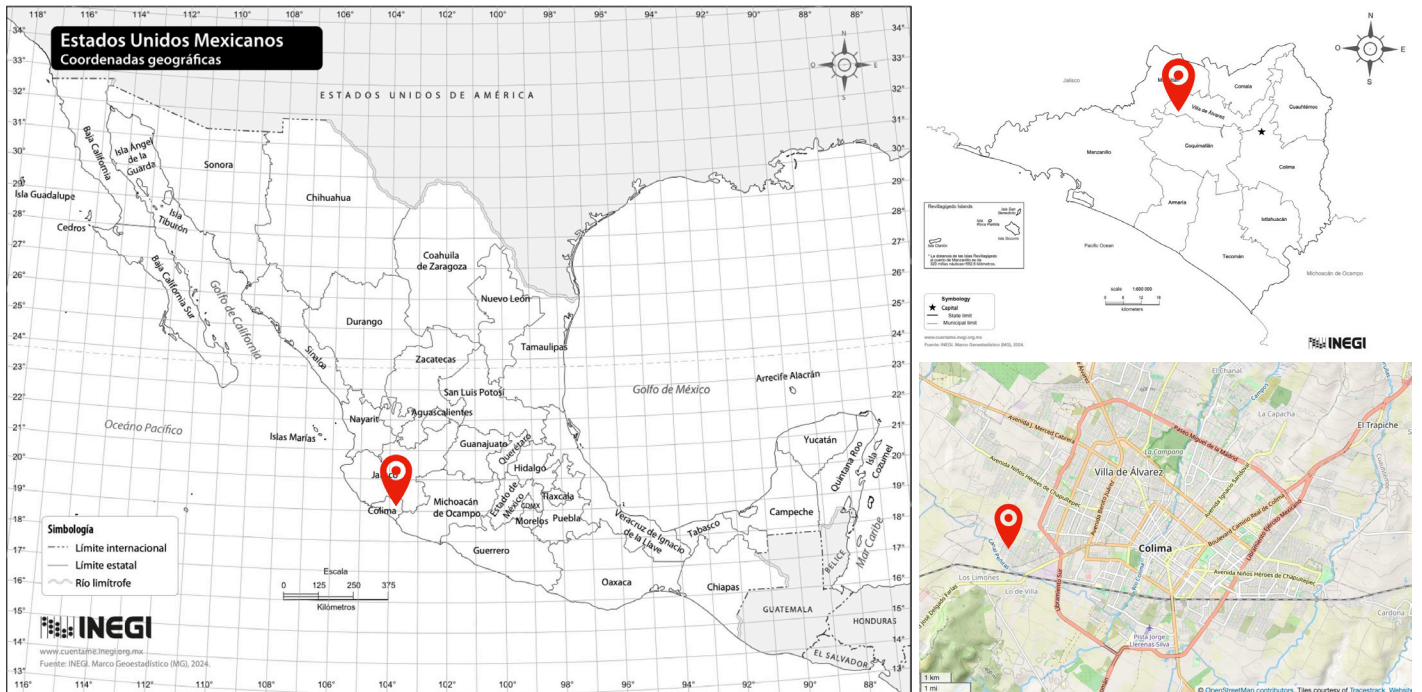


Figure 2. Study area in Colima, Mexico (INEGI, 2026; OpenStreetMaps, 2026).

The selected house is located in a low-income house development *Valle del Sol*, in the municipality of Villa de Álvarez, Colima, Mexico, at approximate coordinates 19°14'40" N, 103°46'28" W, and 484 m above sea level. Indoor conditions, such as dry bulb temperature and relative humidity, were recorded using OnsetComp data loggers with an accuracy of  $\pm 0.35$  °C. Outdoor conditions, such as dry-bulb temperature, humidity, and solar radiation, were recorded by the weather microstation, model H21-0021.

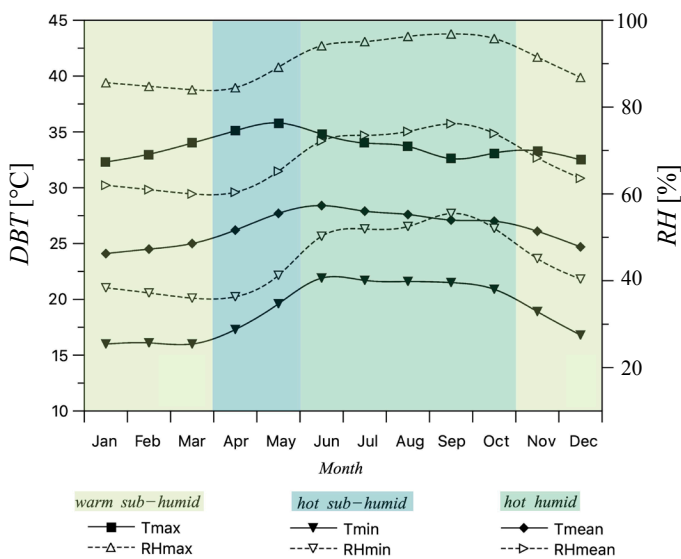


Figure 3. Dry bulb temperature and relative humidity for Colima, México.

The measurement period was from October 13th to 22th, 2022. In Figure 4, shows the house configuration and distribution of the measuring instruments. The measurements above helped us generate a weather file (epw), which is necessary for computer simulation.

### Shading device design

To define the geometry of the shading device such that it projects the maximum shading length on the roof in two main climatic seasons in a hot humid climate, the shading device comprises two plates of thickness  $e$  and width  $w$  with lengths  $l_H$  and  $l_D$ . One of the plates is inclined at an angle  $\alpha$ , the second plate is arranged at an angle  $\beta$ , which, for shading purposes, is considered with a value  $\beta \leq 90^\circ$ , for simplicity, the width  $w$  is considered constant. A sketch of the proposed device is shown in Figure 5. The main requirements are the maximization of shading length and plate size.

To determine the maximum shading length of the device, the angles  $\alpha$  and  $\beta$ , which are unknown, were considered in addition to the solar height  $h$ . The solar heights corresponding to the summer and winter solstices, defined below, are used for the Coquimatlán latitude. The law of sine can be used to obtain the relationship between the shading length, plate length, and angles necessary to obtain maximum shading. The relationships between lengths are defined as follows:

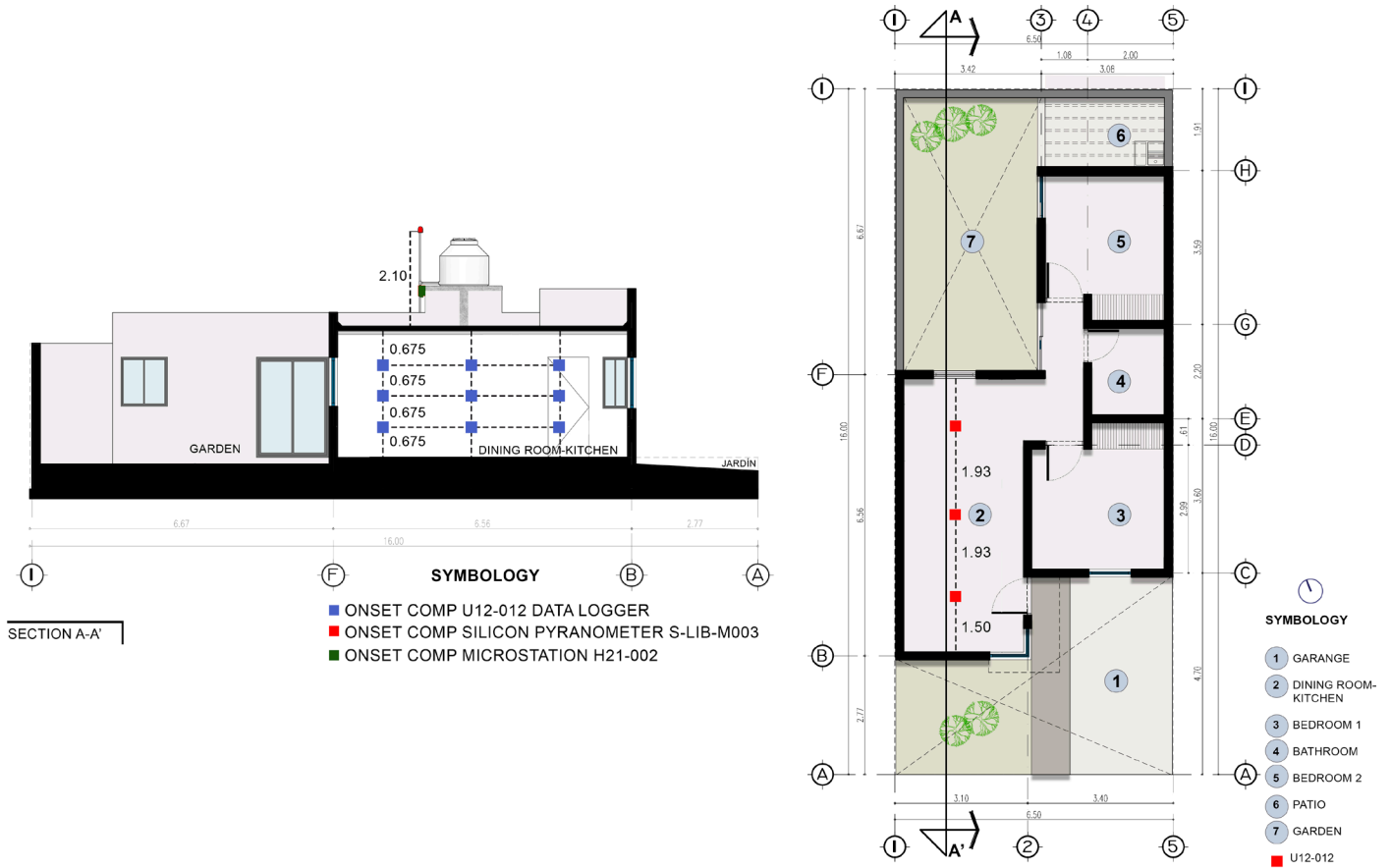


Figure 4. Low-income house at Valle del Sol, Colima, Mexico. a) House layout with measurement instruments, section A- A'. b) Floor plan.

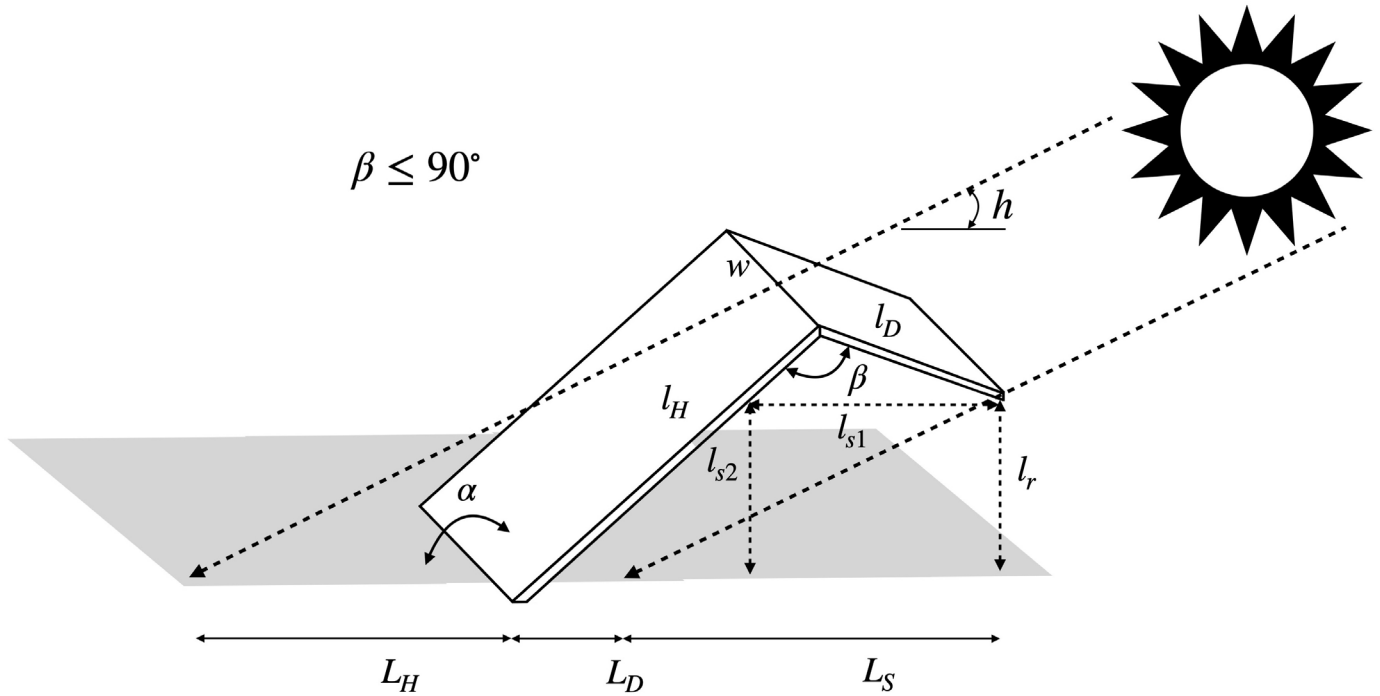


Figure 5. Schematic diagram of the shading device, based on the work of Miguel, 2008.

$$\frac{\sin(h)}{l_H} = \frac{\sin(\alpha + h)}{L_H}, \tag{1}$$

$$\frac{\sin(180 - \alpha)}{l_r} = \frac{\sin(\alpha - 90)}{l_{s1}}, \tag{2}$$

$$\frac{\sin(\beta)}{l_{s2}} = \frac{\sin(180 - \alpha)}{l_D}, \tag{3}$$

$$\frac{\sin(h)}{l_r} = \frac{\sin(90 - h)}{L_s}, \tag{4}$$

and

$$L_D = l_{s1} + l_{s2} - L_s. \tag{5}$$

Where  $h$  is the solar height  $h$ ,  $l_{s1}$ ,  $l_{s2}$ ,  $l_r$ , and  $l_s$  are the lengths of the shading device, and  $L_H$  and  $L_D$  are the shading lengths projected by the plates of length  $l_H$  and  $l_D$ , respectively, as shown in **Figure 5**. From **Eqs. (1) - (5)**, the following length relations can be easily obtained:

$$\frac{L_H}{l_H} = \sin(\alpha) \cot(h) + \cos(\alpha), \tag{6}$$

$$\frac{L_D}{l_D} = \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} - \left( \frac{l_H}{l_D} \sin(\alpha) - \sin(\alpha - \beta) \right) (\cot(\alpha) - \cot(h)). \tag{7}$$

**Eqs. (6)** and **(7)** show the relationship between the shading length and the plate length in terms of the plate

inclination angles and the solar height  $h$ . On the other hand, **Eq. (7)** is expressed in terms of the length ratio  $l_H/l_D$ , which is considered a parameter for determining the inclination angles and maximum shading lengths of each plate. A constraint must be defined to maximize the shading length, where the length ratio is considered constant,  $l_H/l_D = \text{constant}$ .

To determine the solar height  $h$ , the solar declination  $\beta$  and solar azimuth  $\alpha$  were determined by the well-known equations of solar geometry (Wald, 2021). These expressions are given by:

$$h = \arcsin \left( \frac{\sin(\phi) \sin(\beta) + \cos(\phi) \cos(\beta) \cos(z)}{\cos(h)} \right), \tag{8}$$

$$\alpha = \arcsin(\cos(\beta) \sin(z) / \cos(h)), \tag{9}$$

$$\beta = \arcsin(0.398 \sin(0.9863(d - 82))), \tag{10}$$

where  $z$  is the solar elevation, given by  $z = 15(t - 2)$ ,  $\phi$ ,  $t$ , and  $d$  are the latitude, solar hour, and the Julian day, respectively.

The solar height  $h$  during the summer and winter solstices was considered for the latitude of Colima. These events occurred on June 21 ( $d = 172$ ) and December 21 ( $d = 355$ ) around the solar midday ( $\pm 2h$ ), which is when the greatest thermal loads on roofs occur due to solar exposure, as a first approximation to the problem. The corresponding solar heights for the summer and winter solstice are  $h_1 = 1.339$  and  $h_2 = 0.791$ , respectively. The shading device's geometric characteristics were evaluated considering these two solar heights. For this work, the length ratios  $l_H/l_D = 0.5, 1$ , and  $2$  were used, with the corresponding values of the angles  $\alpha$  and  $\beta$ , for each solar height. Appendix A provides details on the geometric arrangement and angles of the plates for different  $l_H/l_D$  values.

### Calibration

The aforementioned low-income house model must be calibrated for shading device analysis. Analysis was performed using the Design Builder software with Energy Plus as the computational engine for simulating energy performance. The required weather file (epw file) was generated using the Meteonorm software. The measured outdoor data were implemented in the weather file; thus, calibration was performed between October 15th and 21st, 2022. Thus, the indoor dry bulb temperature results were

**Table 1.** Geometrical characteristics of the shading device.

Case	$l_H$ [m]	$l_D$ [m]	$l_H/l_D$	$\alpha(h_1)$ [°]	$\alpha(h_2)$ [°]	$\beta$ [°]
I	0.5	1	0.5	72	103	90
II	0.25	0.5	0.5			
III	0.5	0.5	1	90	122	90
IV	1	1	1			
V	0.5	0.25	2	109	140	90
VI	1	0.5	2			

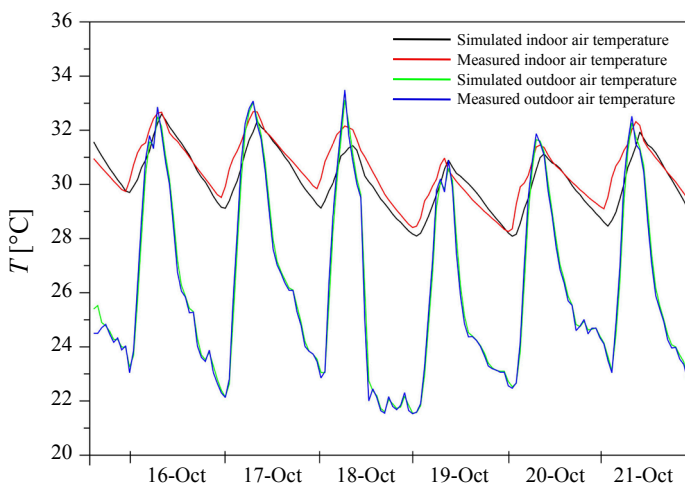
**Table 2.** Materials properties used in construction template.

Materials	thickness [m]	density [kg/m <sup>3</sup> ]	specific heat [J/kgK]	thermal conductivity [W/mK]	R-value [m <sup>2</sup> K/W]
<b>walls</b>					0.976
polystyrene	0.025	16	1200	0.04	
brick	0.14	1920	790	0.9	
cement sand render	0.025	1800	1000	1	
<b>roofs</b>					1.536
concrete	0.1	2300	880	1.4	
polystyrene	0.05	16	1200	0.04	
gypsum plastering	0.03	1000	1000	0.4	
<b>floors</b>					0.374
cast concrete	0.01	2000	1000	1.13	
ceramic porcelain	0.02	2300	840	1.3	
<b>windows</b>					0.261
single clear	0.003	-	-	0.9	
aluminum frame	0.05	2800	880	160	

compared with those obtained using the simulation program.

In order to perform the simulation necessary for comparison with the measured data, a template for the construction system of mass-produced low-income houses was generated. A block system was used for the exterior and interior walls. The exterior walls contained a polystyrene slab that acted as insulation for the adjacent walls. The roof was made of concrete, polystyrene slab, and gypsum plaster. The materials used in the Design Builder construction template, including their physical properties. The material properties are listed in **Table 2**.

To validate the simulation model, two data sets of hourly calculated and measured indoor dry-bulb



**Figure 6.** Comparison of measured and simulated air temperature.

temperatures were compared. The simulated temperature data were compared using the average indoor operative air temperature, which was recorded by the common kitchen and dining area data loggers, as the observed variable. The model performance was determined by the calculation of the mean absolute error percentage (MAPE) (Chicco, 2021), which leads to the calculation of the mean absolute relative error percentage (PMARE), yielding values 2.28%. According to Ali (2021), the percentage value obtained was rated as excellent.

### Simulation scenarios

To assess the impact of roof-mounted shading devices on low-income social housing, we identified representative days for each climatic season. A representative day (RD) is one on which the temperature and relative humidity conditions are most similar to the climatic season. A representative day is one in which the sum of the two differences—between the average daily and seasonal temperatures and the daily and seasonal thermal swing is close to zero (Esparza, 2022). The representative day is given by the following empirical expression:

$$RD = \left| T_{avg_{daily}} - T_{avg_{season}} \right| + \left| TS_{avg_{daily}} - TS_{avg_{season}} \right| \approx 0. \quad (11)$$

The daily average temperature and thermal swing for each climatic season were calculated using the epw climate file data as  $T_{avg_{daily}}$  and  $TS_{avg_{daily}} = T_{max} - T_{min}$ . The data

**Table 3.** Representative days for climatic season.

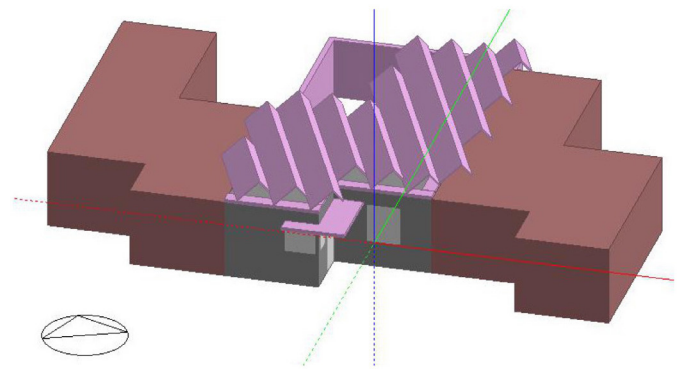
Climatic season	$T_{avg,daily}$ [°C]	$TS_{avg,daily}$ [°C]	$T_{avg,season}$ [°C]	$TS_{avg,season}$ [°C]	RD
Warm sub-humid	25.27	10.91	24.88	11.3	January 19th
Hot sub-humid	26.05	19.7	27.1	13.05	April 9th
Hot humid	27.62	6.79	26.07	8.34	June 28th

required to determine the climatic seasons were defined from the meteorological database of the National Water Commission of Mexico. In **Table 3** the representative day data for each climatic season required to determine the representative days for each season.

The effect of the shading device on the indoor temperature of the house will be analyzed on the aforementioned representative days. The geometric configuration of the shading device depends on the aspect ratio  $l_H/l_D$  and the solar heights.

## Results

This section presents the simulation results of the indoor operating temperature of the different shading devices on the roof of a low-income housing unit. The results are presented for the three climatic seasons for a shading device with fixed aspect ratios  $l_H/l_D = 0.5, 1$  and  $2$ , for the summer and winter solstice solar heights,  $h_1$  and  $h_2$ , values that determine the angles of each shading device panel. The shading devices were modeled in Design Builder and arranged in an east-west orientation, so that the shadow of one device is projected onto the initial portion of the next, thus avoiding solar gain on the roof surface of the low-income housing unit. In practice, roofs typically house essential elements such as water tanks, solar water heaters. Considering these elements along with shading devices would require the modification of the shading device distribution in a modular arrangement to allow for walkability and access. These roof elements are omitted as a first approximation to evaluate the reduction of solar heat gain through shading. Unlike solar collectors or photovoltaic panels, which must be oriented to the south, with an angle of inclination according to the site's azimuth, to receive sunlight for as long as possible. The simulation model in Design Builder considers neighboring houses, represented as component blocks, without necessarily containing thermal zones. The house was modeled using the corresponding material templates, with materials used in the valida-



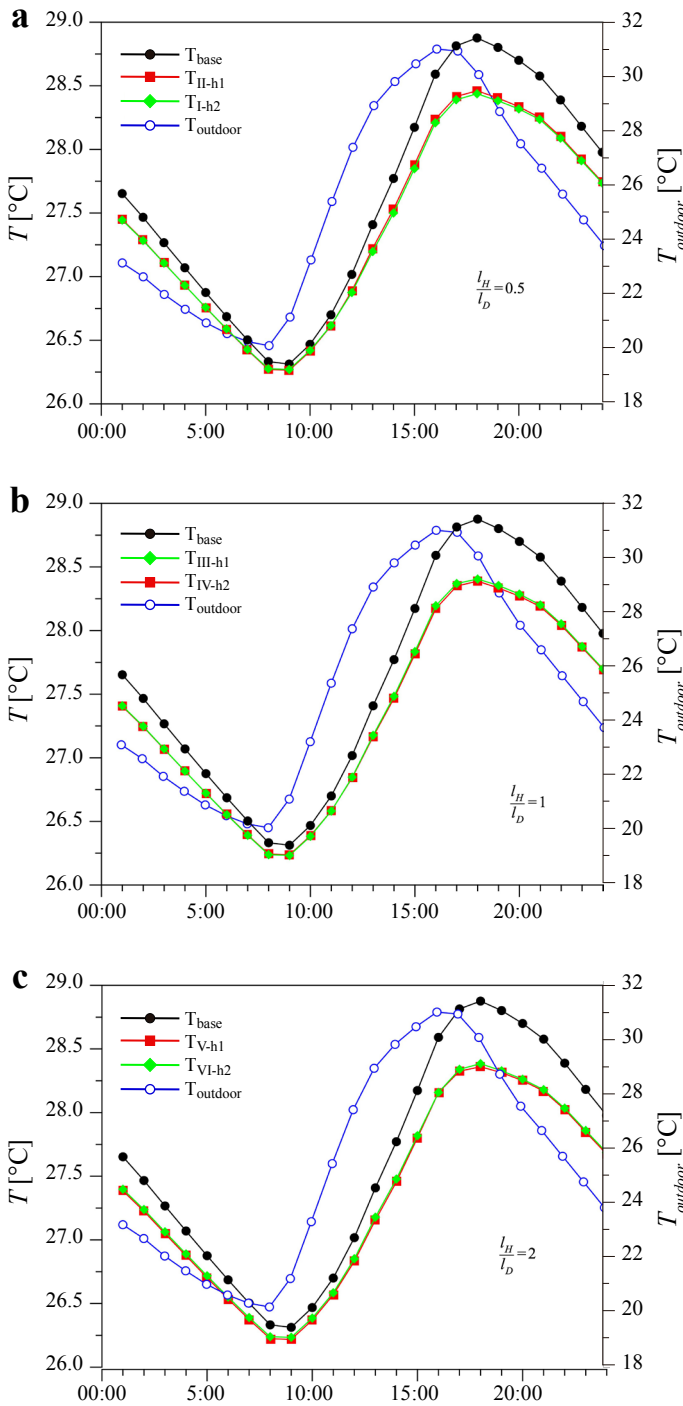
**Figure 7.** Design Builder model for the low-income social housing with a shading device with  $l_H/l_D = 2$ .

tion stage are shown in **Table 1**. **Figure 7** shows the design builder model of a low-income house with shading devices, with a ratio  $l_H/l_D = 2$  and an East-West orientation.

The simulation results correspond to the indoor operating temperatures of the kitchen-dining room, in the unshaded case,  $T_{base}$ , and of the shading devices, which correspond to solar heights  $h_1$  and  $h_2$ . For clarity, the results are shown with double axes to appreciate the reduction in indoor temperature relative to the outdoor temperature, where the right axis corresponds to the representative day of the outdoor temperature for each climatic station. **Figure 8** shows the indoor temperatures for the representative day of January 19th, during the warm sub-humid season for different  $l_H/l_D$  values.

The warm sub-humid season, which includes November to March, represents the mildest season of the year, with average temperatures and relative humidity of  $25\text{ °C}$  and  $60\%$ . The maximum outdoor temperature on the representative day is  $T_{outdoor} = 31\text{ °C}$  and occurs at 16:00. The indoor temperature for the case of the home without a shading device occurs at 18:00, with a temperature reduction with respect to the outside of  $2.1\text{ °C}$ . In **Figure 8a** shows the effect of shading devices on the indoor temperature for a length ratio  $l_H/l_D = 0.5$ . The indoor temperatures  $T_{I-h1}$  and  $T_{I-h2}$  slightly differences. The indoor temperature  $T_{I-h2}$ , which corresponds to case I, of the **table 1** with the angles corresponding to the solar height  $h_2$ , presents a slightly greater reduction in indoor temperature than the maximum exterior temperature. The maximum indoor temperature reduction due to the shading device with respect to the outdoor temperature is  $2.54\text{ °C}$  and  $2.62\text{ °C}$ , respectively. The thermal delay of these temperatures occurs at the same time as  $T_{base}$ .

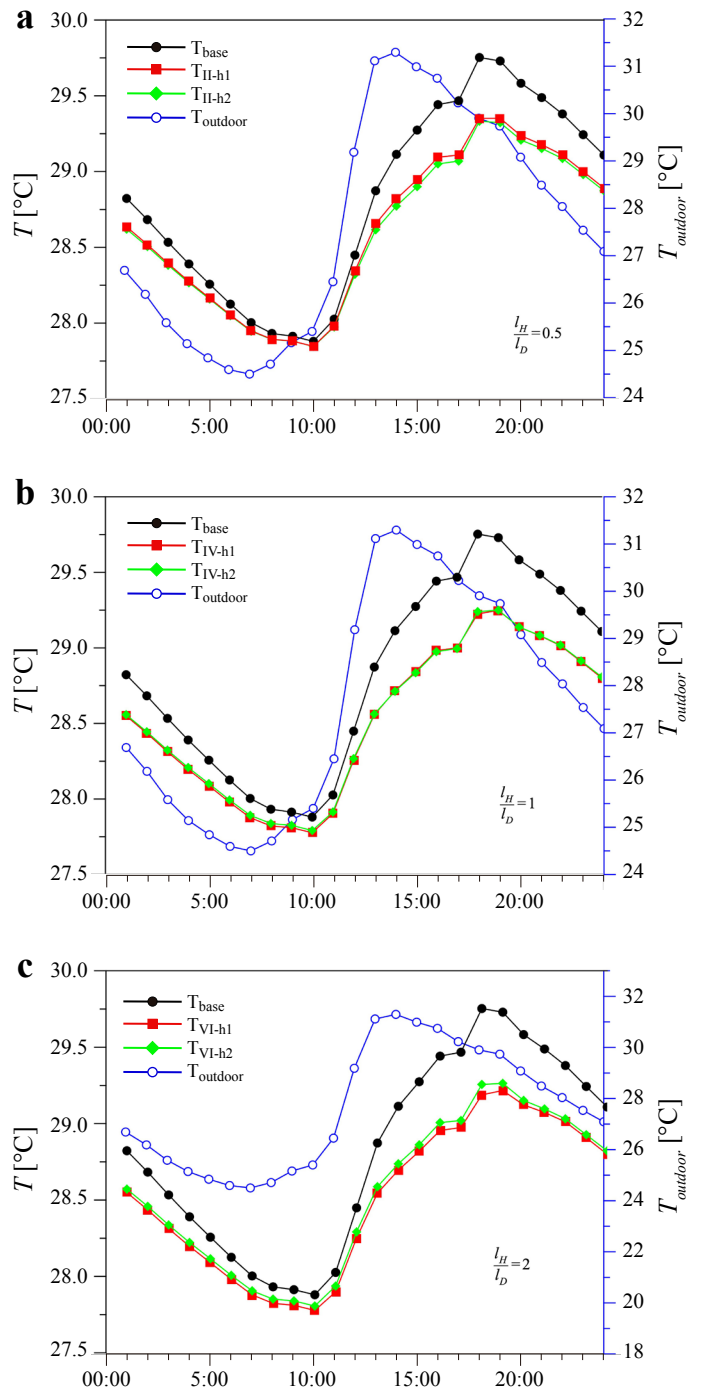
The indoor temperatures, corresponding to the shading devices defined by the length ratios  $l_H/l_D = 1$  and  $2$  are shown in **Figure 8b** and **c**. For a length ratio  $l_H/l_D =$



**Figure 8.** Comparison of temperatures versus time for the shading device for solar heights  $h_1$  and  $h_2$  for a)  $l_H/l_D = 0.5$ , b)  $l_H/l_D = 1$  and c)  $l_H/l_D = 2$  in the representative day for the warm sub-humid season.

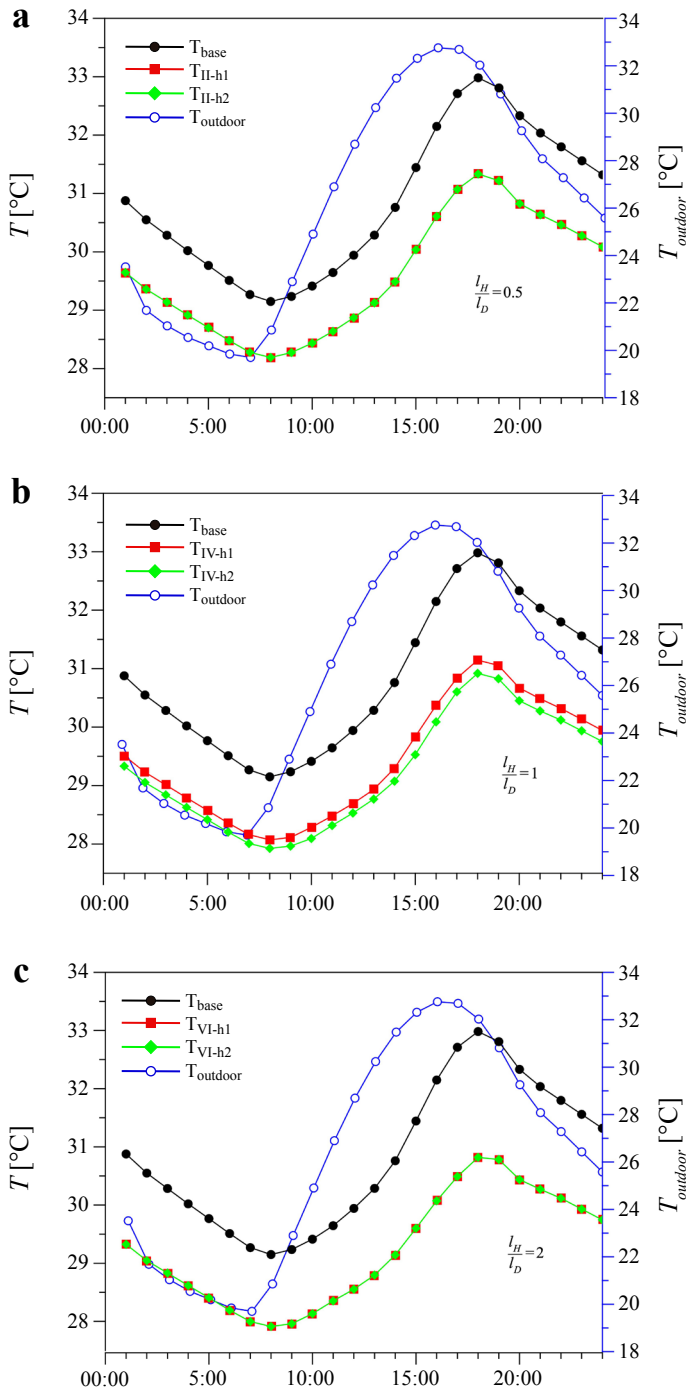
1, the maximum interior temperatures of  $T_{h1}$  and  $T_{h2}$  show temperature reductions of the order of 25 °C, representing 0.5 °C more than the maximum value of  $T_{base}$ . Conversely, for a device with a length relationship  $l_h/l_D = 2$ , a reduction in indoor temperature of 2.6 °C is observed with respect to the maximum outdoor temperature value.

The hot sub-humid season is characterized by av-



**Figure 9.** Indoor temperatures with the shading device for different aspect ratios  $l_H/l_D$  at a solar height  $h_1$  in the hot sub-humid season.

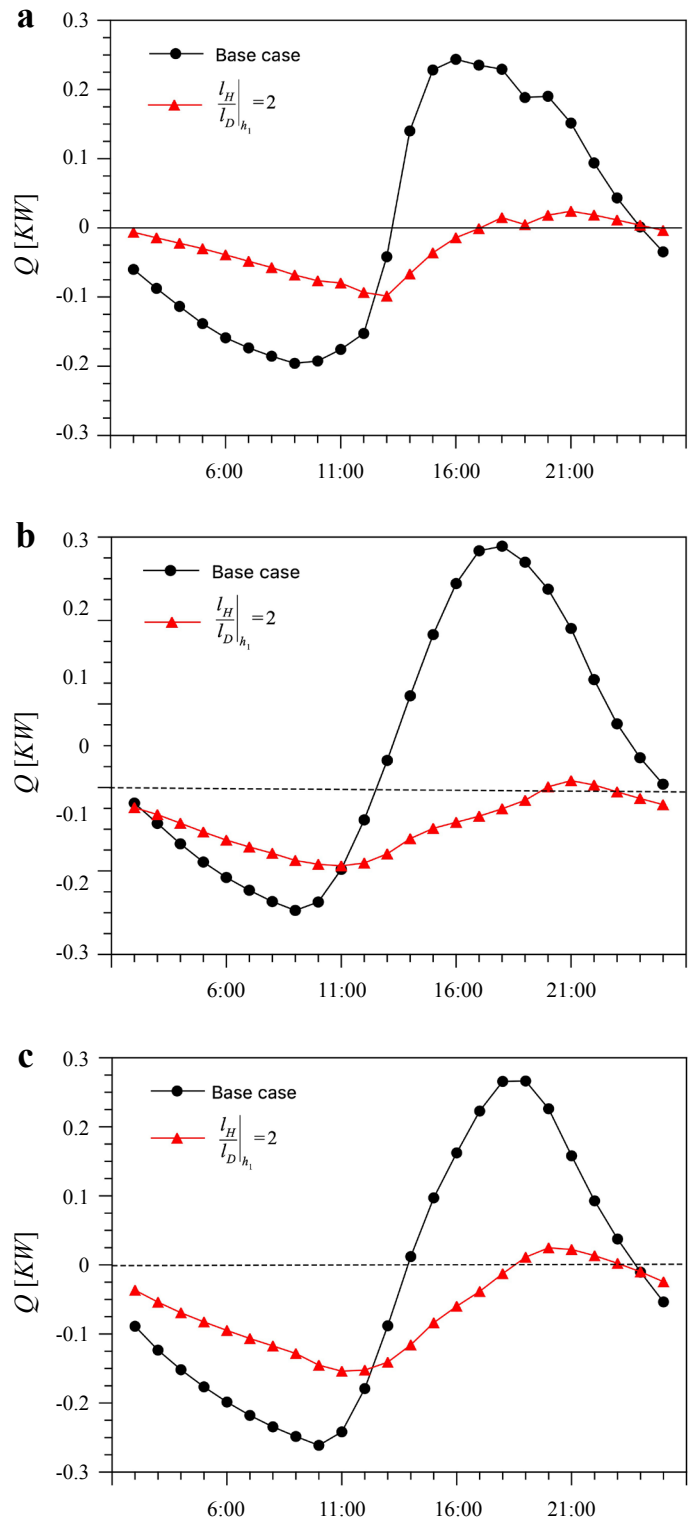
erage temperatures of 27 °C, maximum values of 35 °C and an average relative humidity percentage above 90%, which can cause a higher thermal sensation indoors. The shading device with the length ratio  $l_H/l_D = 0.5$  presents a smaller decrease in interior temperature than in the previous climatic season. The simulated indoor temperature  $T_{base}$  presents a maximum indoor temperature similar to the outdoor temperature with a temperature difference of



**Figure 10.** Comparison of temperatures versus time for the shading device for solar heights  $h_1$  and  $h_2$  for **a)**  $l_H/l_D = 0.5$ , **b)**  $l_H/l_D = 1$  and **c)**  $l_H/l_D = 2$  in the representative day for the hot humid season.

1.9 °C and a thermal delay of 2 hours. This feature can be observed in **Figure 9a**.

For a shading device with a length ratio of  $l_H/l_D = 1$ , in **Figure 9b** shows that the indoor temperatures  $T_{IV-h1}$  and  $T_{IV-h2}$ , show an approximately temperature reduction with respect  $T_{outdoor}$  of the order of 2 °C. Conversely, for the device with a length ratio  $l_H/l_D = 2$ , a reduction in



**Figure 11.** Comparison of the heat gains in roofs for the base case versus shading device with  $l_H/l_D = 1$  for **a)** warm sub humid season, **b)** hot sub humid season **c)** hot humid season.

maximum interior temperatures, relative to the maximum value of  $T_{outdoor}$ , of 1.9 and 2.0 °C respectively. This can be seen in **Figure 9c**. The warm humid season presents high humidity conditions and high dry bulb temperature,

with average maximum temperatures of 27 °C and 35 °C and maximum RH above 90%. For the case without shadowing protection, the thermal delay between the maximum outdoor and indoor temperatures was 4 h, and the maximum temperature reduction with respect to  $T_{outdoor}$  value was 2.0 °C. **Figure 10a** shows that the reduction in the maximum indoor temperature due to the shading device with a ratio  $l_H/l_D = 0.5$  is of the order of 1.4 °C. For the following length ratios, which are depicted in **Figures 10b** and **c**, the reduction in indoor temperature for a device with  $l_H/l_D = 1$ , the maximum temperature reduction with respect to the maximum outdoor temperature value was  $T_{IV-h1} = 1.6$  and  $T_{IV-h2} = 1.8$  °C. However, for a shading device with a ratio  $l_H/l_D = 2$ , the maximum temperature reduction is 1.9 °C, for the devices given by  $h_1$  and  $h_2$ .

The thermal gains due to the different shading device configurations show that the shape configuration with the lowest energy gain to the interior space is given by a length ratio  $l_H/l_D = 2$  ( $l_H = 0.5$ ,  $l_D = 0.25$ ) for a solar height  $h_1$ . In **Figure 11**, the base case heat gains without shading protection versus the heat gain from the shading device for each climate season. The greatest reduction in heat gains  $Q$  [KW], of approximately 0.51 [KW] occurs in the warm sub-humid season. However, for the hot sub-humid and hot humid seasons, the reduction is 0.24 and 0.22 [KW], respectively. Positive and negative values denote heat gains into and losses from the space.

## Conclusions

In this work, the concepts of solar geometry and design principles of the constructive method were applied to determine the design of a passive shading device on the roof of a low-income house in a warm sub-humid climate. The shading device with the greatest indoor temperature reduction was for a ratio of lengths  $l_H/l_D = 2$  for corresponding summer and winter solar heights. In a warm sub-humid climate, the implementation of passive strategies is a first strategy to adapt a building to climatic variations of high temperatures and relative humidity, in such a way that the shading device is a first approach to the application of the constructive method, to analyze the form and structure, which satisfies a global objective, *i.e.* maximum shading length, subject to local restrictions. The obtained geometries reduce the indoor temperature while avoiding thermal gains in the roof and its consequent transfer to the interior. This design methodology was developed for climates with a wide range of seasonal temperature variations. The results are a first approach to developing passive solutions that complement active systems in warm climates.

## Acknowledgements

The authors acknowledge the support of the Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) for postgraduate scholarships for C. Arias and J. Jiménez-Anzar.

## Disclosure statement

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## Availability of data

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

## Author contributions

Conceptualization, J.A.O., C.A.; methodology, J.A.O. and C.A.; formal analysis, J.A.O., C.A., J.J.; writing—original draft preparation, J.A.O. and C.E.; writing—review and editing, J.A.O and C.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

## References

- Albatayneh A, Albadaineh R, Juaidi A, Abdallah R, Montoya MDG, Manzano-Agugliaro F (2022). Rooftop photovoltaic system as a shading device for uninsulated buildings. *Energy Reports* 8:4223-4232. doi:10.1016/j.egy.2022.03.082.
- Ali MH, Abustan I (2021). A new novel index for evaluating model performance. *JNRD - Journal of Natural Resources and Development* 4:1-9. doi:10.5027/jnrd.v4i0.01.
- Bahdad AAS, Fadzil SFS, Onubi HO, BenLasod SA (2021). Sensitivity analysis linked to multi-objective optimization for adjustments of light-shelves design parameters in response to visual comfort and thermal energy performance. *Journal of Building Engineering* 44:102996. doi:10.1016/j.job.2021.102996.
- Chicco D, Warrens MJ, Jurman G (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science* 7. doi:10.7717/peerj-cs.623
- Esparza-López CJ, Pozo CE, Al-Obaidi KM, González-Trevizo ME (2022). Improving the thermal performance of indirect evaporative cooling by using a wet fabric device on a concrete roof in hot and hu-

mid climates. *Energies* 15:6. doi:10.3390/en15062213.

Flores-Larsen S, Filippin C (2021). Energy efficiency, thermal resilience, and health during extreme heat events in low-income housing in Argentina. *Energy and Buildings* 231:110576. doi:10.1016/j.enbuild.2020.110576.

García-Solórzano LA, Esparza-López CJ, Al-Obaidi KM (2020). Environmental design solutions for existing concrete flat roofs in low-cost housing to improve passive cooling in western Mexico. *Journal of Cleaner Production* 277:123992. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123992.

Homod RZ, Almusaed A, Almssad A, Jaafar MK, Goodarzi M, Sahari KSM (2021). Effect of different building envelope materials on thermal comfort and air-conditioning energy savings: A case study in Basra city, Iraq. *Journal of Energy Storage* 34:101975. doi:10.1016/j.est.2020.101975.

INEGI (2026). *Cuentame de México*. [https://cuentame.inegi.org.mx/imprime\\_tu\\_mapa/](https://cuentame.inegi.org.mx/imprime_tu_mapa/)

Kottke M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3):259–263. doi:10.1127/0941-2948/2006/0130.

Ma Z, Hu L, Mao H, Shao Q, Tian Z, Luo Y, Deng J, Sun D, Fan J (2023). Shading effect and energy-saving potential of rooftop photovoltaic on the top-floor room. *Solar Energy* 265:112099. doi:10.1016/j.solener.2023.112099.

Miguel AF (2008). Constructal design of solar energy-based systems for buildings. *Energy and Buildings* 40(6):1020–1030. doi:10.1016/j.enbuild.2007.08.005.

Nasrollahzadeh N (2021). Comprehensive building envelope optimization: Improving energy, daylight, and thermal comfort performance of the dwelling unit. *Journal of Building Engineering* 44:103418. doi:10.1016/j.jobe.2021.103418.

Olgyay V, Olgyay A, Lyndon D, Reynolds J, Yeang K (2015). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism - New and expanded Edition*. Princeton University Press. Accessed: 13 October 2025.

OpenStreetMap. (2026). *OpenStreetMap*. <https://www.openstreetmap.org/#map=13/19.25289/-103.71780&layers=V>

Servicio Meteorológico Nacional (2010). Normales Climatológicas. URL:<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=col>. Accessed: 4 October 2024.

Sghiouri H, Mezrhab A, Karkri M, Naji H (2018). Shading devices optimization to enhance thermal comfort and energy performance of a residential building in Morocco. *Journal of Building Engineering* 18:292–302. doi:10.1016/j.jobe.2018.03.018.

Shen L, Li H, Guo L, He B-J (2022). Thermal and energy benefits of rooftop photovoltaic panels in a semi-arid city during an extreme heatwave event. *Energy and Buildings* 275:112490. doi:10.1016/j.enbuild.2022.112490.

Tahir IA, Fattah AAE, Mohammed M, Asif M, Almahdy O (2025). Evaluating the performance of outdoor shading devices on human thermal comfort in hot humid climates: A case study of Dhahran. *Building and Environment* 271:112625. doi:10.1016/j.buildenv.2025.112625.

Wald L (2021). *Fundamentals of solar radiation*. CRC Press / Taylor Francis Group. doi:10.1201/9781003155454.

Wu Z, Xu Y, Wang Z (2025). Multi-objective optimization of energy, view, daylight and thermal comfort for building’s fenestration and shading system in hot-humid climates. *PLoS One* 20:e0325290. doi:10.1371/journal.pone.0325290.

Yang F, Zhou H, Chen J, Sun Y, Wang D, Sun F, Zhang L (2025). Energy-Saving Performance and Optimization Study of Adaptive Shading System—A Case Study. *Buildings* 15(11). doi:10.3390/buildings15111961.

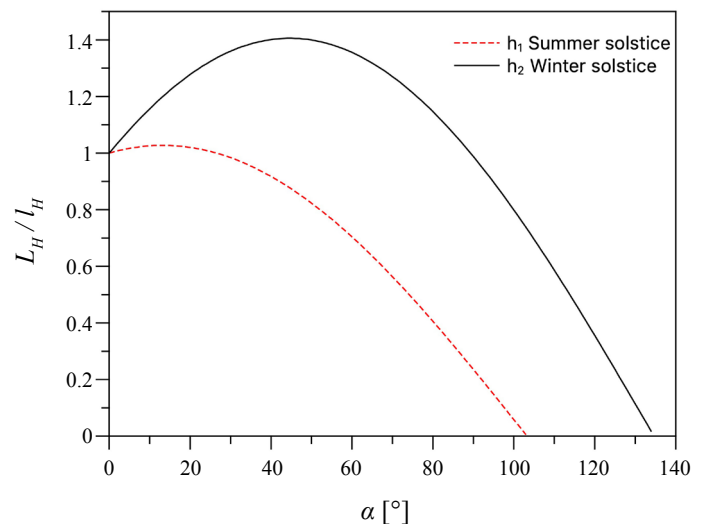
## Appendix A

### Geometric characteristics of the shading device

The geometric characteristics of the shading device are analyzed for different length ratios of each plate, optimal angle, and summer and winter solar heights. Using Eqs. (6) and (7), the length relationships  $L_H/l_h$  and  $L_D/l_D$  of the plates to their shading lengths are analyzed for different values of the angles  $\alpha$  and  $\beta$ .

In **Figure A1**, it can be seen that for the ratio  $L_H/l_h$ , considering the solar height for the winter solstice, a greater relationship between the shading length and plate length  $l_H$  is obtained for the winter solstice at an angle  $\alpha = 42^\circ$ , while for the summer solstice, the length ratio presents a lower maximum value at an angle  $\alpha = 13^\circ$ .

On the other hand, with the aid of **Eq. (7)** the geometrical analysis of the length relationship  $L_D/l_D$  is



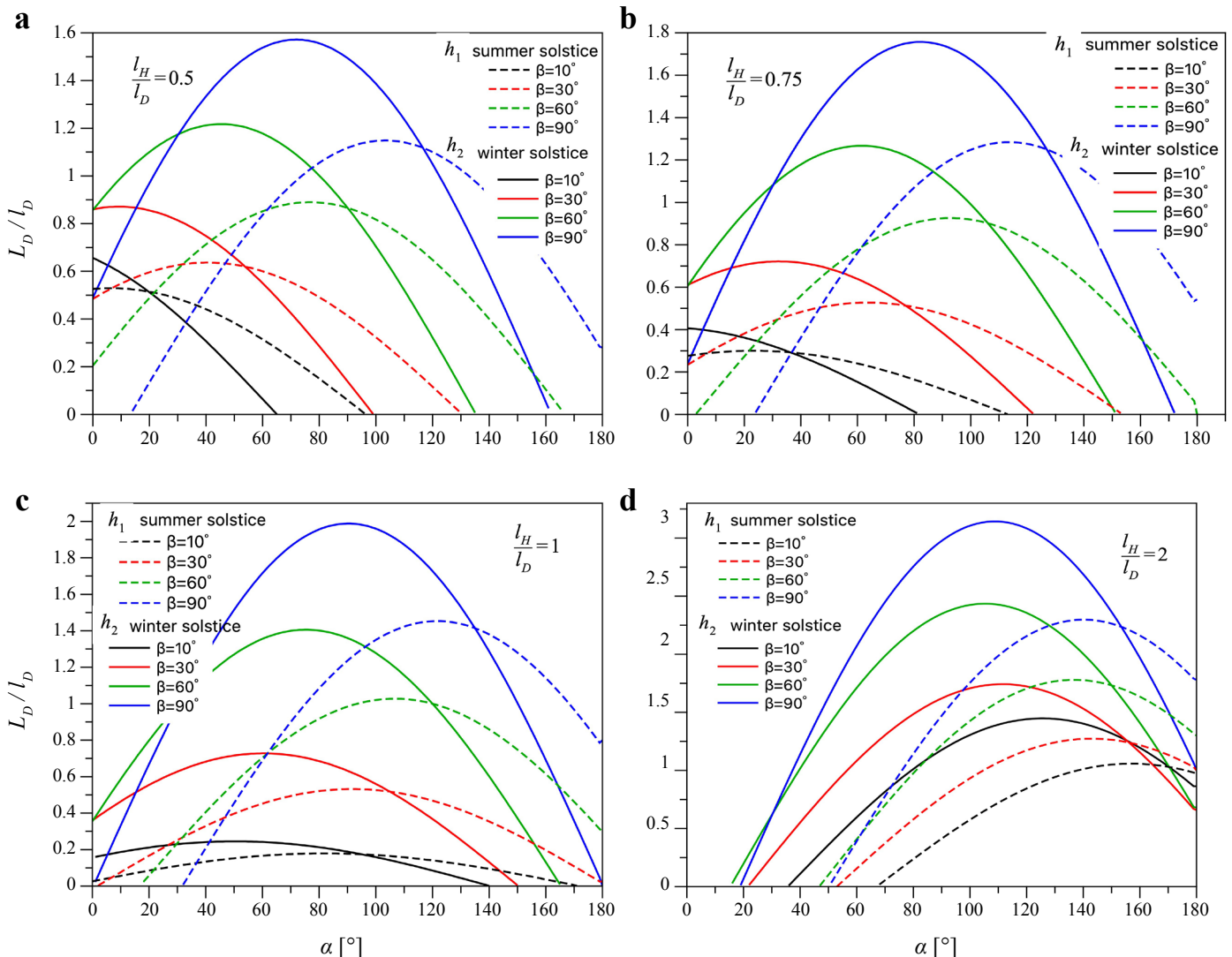
**Figure A1.** Shading length ratio  $L_H/l_H$  versus angle  $\alpha$ .

depicted in **Figure A2**, this ratio is shown by varying the angles  $\alpha$  and  $\beta$  for different values of the aspect ratio  $l_H/l_D$  for the solar heights mentioned above. An increase in the ratio  $l_H/l_D$  defines different optimal values of the inclination angles  $\alpha$  and  $\beta$  for which the maximum values of  $L_D/l_D$  are presented. The shading device aims to provide the longest shading length in summer and winter to avoid thermal gains due to solar exposure.

For greater aspect ratio values up to  $l_H/l_D \geq 22$ , the angle  $\alpha$  presents constant values of  $\alpha = 133^\circ$  and  $\alpha = 164^\circ$ , for the summer and winter solstices, respectively. The value of the angle  $\beta$ , remains invariant with a value  $\beta = 90^\circ$ . For a length ratio value  $l_H/l_D \approx 22$ ,  $\beta = 90^\circ$ , the angle value  $\alpha$  takes a constant value, as shown in **Table 4**. To analyze the influence of the length ratio on the shading effect,  $l_H/l_D$  values of 0.5, 1 and 2 were used.

**Table A1.** Optimal angles of the shading device for the maximum shading length on roofs.

$l_H/l_D$	$\alpha_{summer} [^\circ]$	$\alpha_{winter} [^\circ]$	$\beta$
0.5	72	103	90
0.75	82	114	90
1	90	122	90
2	109	140	90
⋮	⋮	⋮	⋮
22	133	164	90
23	133	164	90
24	133	164	90



**Figure A2.** Shading length ratio  $L_D/l_D$  versus plate angles  $\alpha$  and  $\beta$ , for a)  $l_H/l_D = 0.5$ , b)  $l_H/l_D = 0.75$ , c)  $l_H/l_D = 1$  and d)  $l_H/l_D = 2$ .



# Centro Histórico de Veracruz: más visitas, menos vida – el deterioro ambiental y urbano en la percepción ciudadana (2024-2025)

Historic Center of Veracruz: More visits, less life – environmental and urban deterioration in the public perception (2024-2025)

Ruth María Grajeda Rosado<sup>1</sup> , Elia Mercedes Alonso Guzmán<sup>2</sup> , Elsa Teresita Prieto Alonso<sup>1</sup> , Margarita Díaz Olalde<sup>1</sup> , Lorna Ruiz Cruz<sup>1</sup> , Alessandra Becerra Mondragón<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Veracruzana, Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 455, Boca del Río, Veracruz, México

<sup>2</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Francisco J. Múgica S/N, Morelia, Michoacán, México

## Resumen

Este estudio analiza la percepción ciudadana sobre el deterioro ambiental y urbano del Centro Histórico de Veracruz, México, entre 2024 y 2025. Utilizando una metodología mixta con 500 encuestas, se evaluaron dimensiones como infraestructura, seguridad y habitabilidad. Los resultados revelan una valoración general moderada (5.0/10), destacando deficiencias críticas en la seguridad pública (67% de inseguridad percibida), falta de áreas verdes y un notable desinterés residencial (70.6%). Aunque existen fortalezas en conectividad y patrimonio, el deterioro físico y el discomfort térmico limitan su revitalización. Se concluye que es urgente una estrategia integral que vincule a las autoridades y la comunidad para restaurar la función social de este núcleo histórico.

**Palabras clave:** Centro histórico, percepción ciudadana, deterioro urbano, gestión patrimonial, sostenibilidad social

## Abstract

This study analyzes citizen perception regarding the environmental and urban deterioration of the Veracruz Historical Center between 2024 and 2025. Using a mixed methodology with 500 surveys, dimensions such as infrastructure, security, and habitability were evaluated. The results reveal a moderate general rating (5.0/10), highlighting critical deficiencies in public safety (67% perceived insecurity), a lack of green areas, and a notable lack of residential interest (70.6%). Although there are strengths in connectivity and heritage, physical deterioration and thermal discomfort limit its revitalization. The article concludes that an integrated strategy linking authorities and the community is urgent to restore the social function of this historical core.

**Keywords:** Historical center, citizen perception, urban deterioration, heritage management, social sustainability

## Introducción

Analizar la transformación urbana y la percepción social de los centros históricos es fundamental para la gestión de ciudades contemporáneas. A nivel global, la revitalización de núcleos en decadencia depende de estrategias de diseño que resalten identidad y valores ambientales, pero a menudo ignoran la relación con residentes, generando gentrificación (Deng *et al.*, 2021). La literatura subraya el rol crucial de comunidades locales, aunque hay brechas entre políticas de preservación y sostenibilidad social. Las encuestas de opinión capturan datos descriptivos y sincronizan esfuerzos institucionales con demandas sociales, fundamentando decisiones gubernamentales (Marín-Leyva y Cortés-Ramírez, 2024).

Desde una perspectiva mundial, ciudades como Salamanca y Toledo en España muestran que el turismo y

### Historial

Manuscrito recibido: 21 de febrero de 2026

Manuscrito aceptado: 9 de marzo de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

### Autor para correspondencia

Ruth María Grajeda Rosado

[lgrajeda@uv.mx](mailto:lgrajeda@uv.mx)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9961-3541>

### Como citar

Grajeda Rosado RM, Alonso-Guzmán EM, Prieto Alonso ET, Díaz Olalde M, Ruiz Cruz L, Becerra Mondragón A (2026). Centro Histórico de Veracruz: más visitas, menos vida – el deterioro ambiental y urbano en la percepción ciudadana (2024-2025). *Ciencia Nicolaita* 96:113-120. DOI:10.35830/cn.vi96.909

la polarización urbana afectan la calidad de vida, forzando transformaciones sin participación activa (García-Esparza *et al.*, 2023). Casos en Suzhou (China) e India confirman que monitorear percepción ciudadana identifica impactos

de valores patrimoniales en el bienestar, siendo la base para políticas sensibles (Abdurahiman *et al.*, 2022).

En Latinoamérica, el interés por rehabilitar centros históricos ha crecido exponencialmente (Eljuri, 2023). “Bogotá Cómo Vamos”, desde 1997, usa indicadores técnicos y de percepción para influir en la administración pública (Robert y Pereyra, 2022). En Cuenca (Ecuador), la percepción visual revela valoración estética, pero ignora los deterioros patológicos, reforzando que el patrimonio es una construcción social (Ullauri *et al.*, 2024). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de que el patrimonio sea entendido como una construcción social y no solo como un conjunto de monumentos físicos.

En México, tensiones entre patrimonialización y turistificación desafían centros históricos (García, 2021). En Morelia, encuestas con escalas Likert y análisis multidimensionales apoyan proyectos sustentables bajo Agenda 2030 y ODS 11 (Marín-Leyva y Cortés-Ramírez, 2024). En Ciudad Juárez, la percepción de inseguridad inhibe vida colectiva y turismo, exigiendo políticas basadas en experiencias vividas (Escalante y Chávez, 2025).

Ante esta realidad, se desarrolló un cuestionario estructurado anual para registrar la opinión de residentes, trabajadores y visitantes del Centro Histórico de Veracruz. Veracruz, fundado en el siglo XVI, es un espacio dinámico cuya configuración ha sido moldeada por procesos históricos continuos, pero que actualmente presenta signos de deterioro que requieren atención urgente. La metodología aplicada sigue un enfoque mixto y técnicas de muestreo

por cuotas para garantizar que los datos recolectados entre 2024 y 2025 sean representativos y permitan orientar estrategias de revitalización que eviten la gentrificación y promuevan una reactivación económica inclusiva. La importancia de estas encuestas en Veracruz, y todo el mundo, radica en su capacidad para ofrecer evidencia empírica que fortalezca el vínculo entre la academia, el gobierno y la sociedad, asegurando que el centro continúe siendo un referente cultural y social para la ciudad.

## Caso de estudio

El Centro de Veracruz representa un nodo urbano de valor excepcional donde convergen dimensiones patrimoniales, económicas y sociales. No obstante, este espacio enfrenta procesos críticos de deterioro físico y segregación funcional que exigen una relectura de su estructura urbana. La relevancia de este sector radica en su capacidad para actuar como un laboratorio de dinámicas contemporáneas, donde la planeación debe equilibrar la conservación del legado histórico con las demandas de una ciudad moderna (**Figura 1**). Este enfoque coincide con las tendencias actuales en Latinoamérica que proponen que la recuperación de centros históricos no debe limitarse a lo estético, sino enfocarse en la reactivación de su función social y habitacional para evitar procesos de gentrificación o abandono (Vinuesa, 2023).

La delimitación espacial de este estudio se circunscribe



**Figura 1.** Fotografías del Centro de Veracruz, Veracruz, México.

al polígono consolidado del Centro Histórico, un área definida por su alta densidad de edificaciones catalogadas y una intensa actividad terciaria. Este ámbito se divide en sectores específicos: Sector A-A Mercados, A-B Casco Histórico, A-C Ferrocarriles, B Faros, C Californianas, D Residencial Flores Magón y D-A La Huaca. La elección de este territorio responde a la necesidad de abordar las tensiones entre la preservación del patrimonio y los retos de movilidad y permanencia poblacional (Figura 2). Al concentrar el levantamiento de datos en este perímetro, es posible analizar cómo la configuración espacial influye en el comportamiento de los usuarios, considerando que la vitalidad de estos centros depende directamente de la mixtura de usos y la calidad del espacio público disponible para el residente y el visitante por igual (Morocho-Baculima, 2025).

El estudio de 2024 fue un diagnóstico base para identificar patrones de uso y percepción del entorno mediante levantamiento presencial, explorando motivaciones de visita y habitabilidad. Para 2025, el estudio se expandió hacia una perspectiva integral, profundizando en accesibilidad universal y movilidad sustentable. La población objetivo, residentes, comerciantes y visitantes, capta pluralidad de voces en diferentes zonas de alta afluencia; este fomenta un uso equitativo del espacio, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para ciudades inclusivas y

resilientes. La continuidad en 2025 genera una base de datos robusta para estrategias de intervención arquitectónica que protejan el patrimonio edificado y mejoren la calidad de vida urbana sistémicamente. El 2024 sirve de base para validar la encuesta, pero esta investigación refleja resultados de 2025, integrando todas las dimensiones.

## Metodología

El diseño metodológico del estudio se define como una investigación exploratoria, descriptiva y de enfoque mixto, orientada a conocer la opinión pública sobre el Centro de Veracruz (CV). Basado en Hernández-Sampieri (2014), utiliza una encuesta de satisfacción para evaluar percepciones sobre calidad de servicios, infraestructura y temporalidad. Su carácter exploratorio aborda el fenómeno sin hipótesis rígidas, mientras su faceta descriptiva mide y clasifica variables de interacción ciudadana. El enfoque mixto integra métodos cuantitativos (preguntas cerradas) y cualitativos (preguntas abiertas con rúbricas ponderadas), logrando una visión matizada de la realidad urbana. Se considera descriptiva porque delimita y especifica características y variables asociadas al CV, midiendo y clasificando aspectos concretos de la opinión pública sobre infraestructura, temporalidad y otros elementos (Figura



Figura 2. Territorio ocupado por el Centro Histórico de Veracruz. Modificado del INEGI y Ayuntamiento de Veracruz. Fuente: (INEGI, 2025).

3). Esto ofrece un panorama claro de la percepción de los usuarios del centro.

El diseño muestral se fundamentó en un muestreo no probabilístico por cuotas, abarcando una escala macro en el municipio de Veracruz y una microescala en el polígono del centro histórico. El contexto regional muestra un área con una densidad poblacional elevada de 3,820 habitantes por km<sup>2</sup> (SEDESOL, 2021) y un Índice de Ciudades Prósperas de 51.97, lo que indica una prosperidad moderadamente débil (ONU, 2018). Específicamente, el área de estudio del CV comprende 2.3 kilómetros cuadrados habitados por 9,250 personas (INEGI, 2025). La población objetivo se segmentó en visitantes locales, turistas, residentes, locatarios y propietarios, aplicando criterios de inclusión basados en la mayoría de edad y la interacción directa con la zona.

El instrumento de evaluación se compone de 65 reactivos en ocho ejes temáticos (**Figura 3**), para captar una visión integral de la opinión pública del CV. Combina 51 preguntas cerradas con 14 abiertas, fusionando análisis estadístico y cualitativo. Incluye 10 dicotómicas (sí/no), 29 de opción múltiple sobre causas urbanas y 12 de escala Likert, que desglosan 29 puntos sobre infraestructura, servicios y patrimonio, desde deficientes hasta excelentes. Esta estructura diversificada permite recolectar datos cuantificables y sugerencias libres, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones orientadas al desarrollo sostenible y la mejora del entorno social y urbanístico de la ciudad.

Las variables analizadas inician con (1) perfiles demográficos para contextualizar respuestas, (2) temporalidad y finalidad de visitas, explorando motivos y barreras de habitabilidad. Se evalúa el estado físico mediante (3) infraestructura, con escalas Likert sobre servicios básicos,

entorno urbano y áreas verdes, y (4) espacios históricos, midiendo conocimiento y accesibilidad. La (5) seguridad urbana identifica zonas de riesgo y percepción de inseguridad entre usuarios, (6) confort ambiental analiza ruido, olores y ambiente térmico. (7) Ámbito económico investiga viabilidad de negocios y costo-beneficio para locatarios. Finalmente, (8) aspectos culturales evalúa satisfacción con eventos y oferta recreativa.

La validación del instrumento se basó en una prueba piloto realizada entre febrero y julio de 2024 en el Centro Histórico de Veracruz, con 219 ciudadanos. El único criterio de inclusión fue la mayoría de edad, sin población objetivo-específica. El cuestionario incluyó 21 reactivos sobre habitabilidad, cultura, confort térmico y temporalidad, con ocho preguntas dicotómicas, cinco de selección única y ocho en escala Likert de cinco niveles.

Para garantizar fiabilidad y validez, se analizó la consistencia interna con el Alfa de Cronbach, que mide la coherencia de los ítems. Con un valor de 0.85 —rango “alto” (0.81-1.00)—, se confirmó una alta consistencia y fiabilidad sólida.

El procedimiento comparó las varianzas individuales de los reactivos con la varianza total de las puntuaciones, permitiendo verificar que los ítems convergen en la medición de la percepción ciudadana de forma equilibrada (**Ecuación 1**).

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} \left[ 1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right] \quad (1)$$

Donde:

$k$  = número de ítem o preguntas

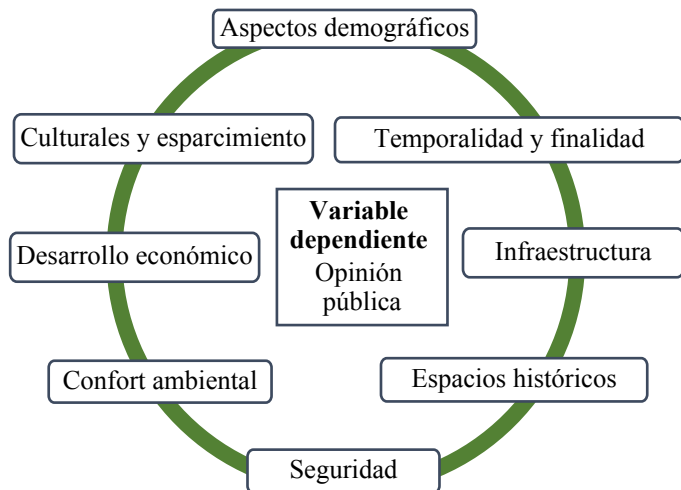
$V_i$  = varianza de cada ítem o pregunta

$V_t$  = varianza total de las puntuaciones sumadas de todos los ítems

Sustituyendo los valores se obtuvo el siguiente resultado:

$$\alpha = \frac{8}{8 - 1} \left[ 1 - \frac{7.797}{30.4785} \right] = 0.8504 \quad (1)$$

Gracias a esta validación previa, se consideró que la nueva encuesta, ahora ampliada a 65 preguntas (44 preguntas adicionales) aportaría información más detallada y robusta.



**Figura 3.** Esquema de variables independientes y dependientes.

## Resultados

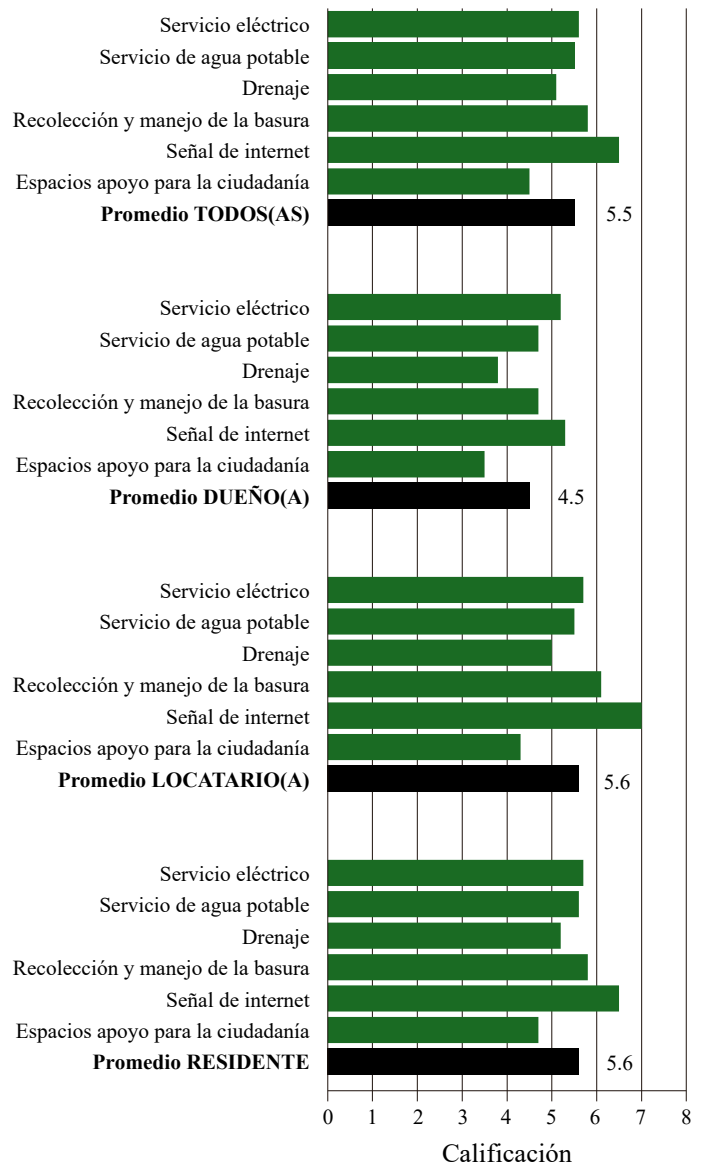
Los hallazgos se exponen segmentados por las categorías del instrumento, considerando que ciertos reactivos se aplicaron solo a grupos específicos. Para el análisis de las escalas Likert, se empleó una metodología de cuantificación que transforma las percepciones cualitativas en valores numéricos mediante una rúbrica de ponderación (Machuca-Yaguana *et al.*, 2023). En este sistema, las respuestas se valoran en un rango de 0.2 a 1.0; posteriormente, estos puntajes se promedian y se ajustan a una escala del 2 al 10.

En cuanto a los aspectos **demográficos** de los 500 encuestados, destaca una población joven con 38.4% entre 18 y 24 años, distribución equilibrada de género (mujeres 50%, hombres 49%), mayoría solteros (55.4%), licenciatura (41.4%), empleados tiempo completo (31%) o estudiantes (29.4%). Casi todos son mexicanos (99.4%), 15% afrodescendientes, liderados por visitantes locales (45.6%) y residentes (33.6%), seguidos de locatarios, turistas y dueños de negocios.

El análisis de **temporalidad y finalidad** examina movilidad y habitabilidad en 228 visitantes, 82% residentes conurbanos. Destaca baja disposición residencial en CV, el 70.6% están desinteresados por considerar baja la calidad de vida. El CV es nodo de servicios destacando, comercio (51.3%), trámites (37.3%) y esparcimiento (35.1%), con estancias de 1-2 horas (47.8%). Accesibilidad eficiente (58.3% <30 min), con dependencia de autos (53.1%) y transporte público (43.4%).

El análisis de **infraestructura** en CV revela valoración moderada (promedio 5.0/10) en servicios básicos, entorno urbano y esparcimiento. Los *servicios básicos* con valoración aceptable incluyen la recolección de basura (5.8), el servicio eléctrico (5.6) y el agua potable (5.5), percibidos de manera relativamente positiva, aunque con márgenes de mejora en la constancia del suministro. La conectividad digital es una de las mayores debilidades, con una calificación de 4.8 en señal de internet, mientras que los espacios de apoyo comunitario (comedores y zonas de refugio) obtuvieron la valoración más baja (4.2), evidenciando una carencia estructural en asistencia social. Los propietarios son el sector más crítico (promedio 4.5), en contraste con locatarios y residentes que coinciden en una valoración de 5.6; desde una perspectiva de género, los hombres reportan mayor satisfacción (5.8) que las mujeres (5.3) (**Figura 4**).

La *infraestructura del entorno urbano*, evaluada por toda la muestra, alcanza un promedio de 5.0, con fortalezas en alumbrado público y accesibilidad universal (5.5), pero debilidades en estacionamientos (4.2), seguridad (4.6), limpieza y pavimentación. Existe una brecha significativa



**Figura 4.** Ponderación o calificaciones finales de Infraestructura de Servicios, considerando todas las encuestas, dueños, locatarios y residentes.

según el perfil del usuario: los turistas otorgan la calificación más alta (5.9), posiblemente por una visión estacional y estética, mientras que los locatarios (4.6) y dueños (4.7) expresan un descontento derivado del uso cotidiano y la gestión comercial.

Los *espacios de esparcimiento y áreas verdes* muestran déficit: 74% los considera insuficientes, 41% no los usa; conservación y diseño rondan 5.3-5.4, con dueños críticos (4.6) y turistas complacientes (6.0). Las prioridades de mejora se agrupan en tres ejes: incremento de arbolado y sombreado (para mitigar el calor extremo), refuerzo de la limpieza y mantenimiento, y mayor vigilancia para garantizar la seguridad en parques y plazas.

En **espacios históricos** del CV, hay alta familiaridad

con Zócalo (94%), Catedral (78%) y Portales (77%), pero 75% nota falta de módulos informativos. En términos de calidad técnica y operativa, el estudio evaluó tres variables fundamentales: accesibilidad (6.4), conservación (6.1) y difusión (5.2, la más baja).

En aspectos de **seguridad**, esta categoría revela una problemática estructural significativa, donde el 67% de la muestra total manifiesta una percepción de inseguridad en el espacio público. Este fenómeno no es uniforme, sino que presenta variaciones críticas según el rol del usuario y el género, lo que sugiere que la experiencia cotidiana de la ciudad condiciona la sensación de vulnerabilidad. Desde la perspectiva de los actores locales, los locatarios reportan el índice más alto de inseguridad (71%), seguidos por visitantes locales (68%), dueños de negocios y residentes (ambos con 67%). En contraste, el segmento turístico registra la percepción más baja (53%), lo cual se atribuye a su tránsito por rutas con mayor densidad de vigilancia y afluencia peatonal (**Figura 5**).

El estudio integra un enfoque de género relevante, demostrando que la sensación de inseguridad es un 10% superior en las mujeres (72%) respecto a los hombres (62%). Si bien ambos grupos convergen en identificar a las zonas de mercados como los focos de mayor riesgo (14%-16%), se observan divergencias sustanciales en la identificación de otros peligros, mientras que la población masculina reporta una preocupación significativamente mayor por los callejones con deficiencias de alumbrado (12%) y tiende a calificar a la totalidad del centro como inseguro (12%); la población femenina presenta una percepción más focalizada en áreas específicas de alta concurrencia y tránsito, como el Parque Zamora y avenidas principales. Los hallazgos subrayan que la inseguridad en el CV está estrechamente vinculada a la configuración física del entorno (falta de iluminación) y al uso del suelo (sectores comerciales desordenados). Estos datos proveen evidencia empírica para la formulación de políticas públicas que trasciendan la vigilancia policial, orientándose hacia el

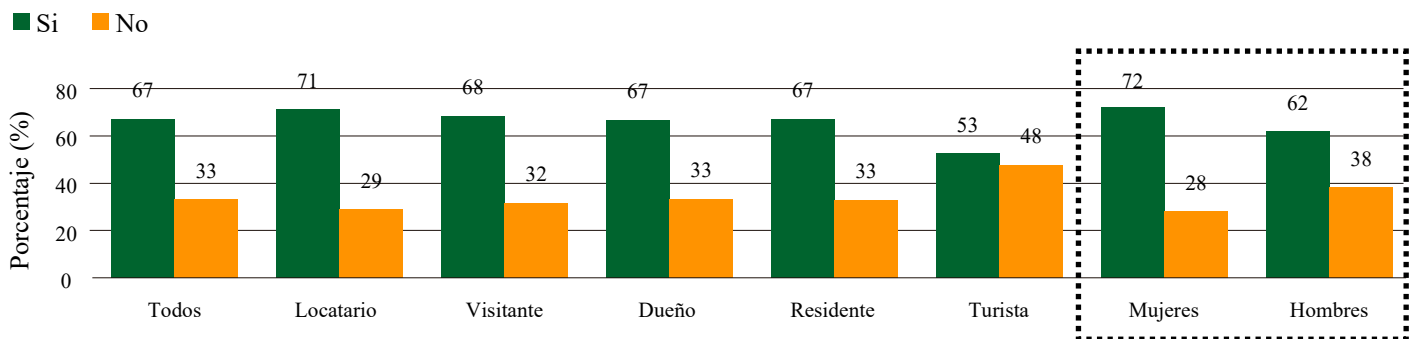
urbanismo táctico, la mejora del alumbrado estratégico y la recuperación de espacios críticos para reducir la brecha de género en la percepción de seguridad.

En **confort ambiental**, se analizó que el 79% (395 de 500 votos) percibe la sensación térmica como muy calurosa (3.1), causada por falta de áreas verdes (75%) y sombra (54%). El ruido es alto (44%) y moderado (30%), con 5.2, por tráfico y transporte público (>60%). Olores desagradables son frecuentes (61%, 3.4), de drenaje (85%) y basura (68%).

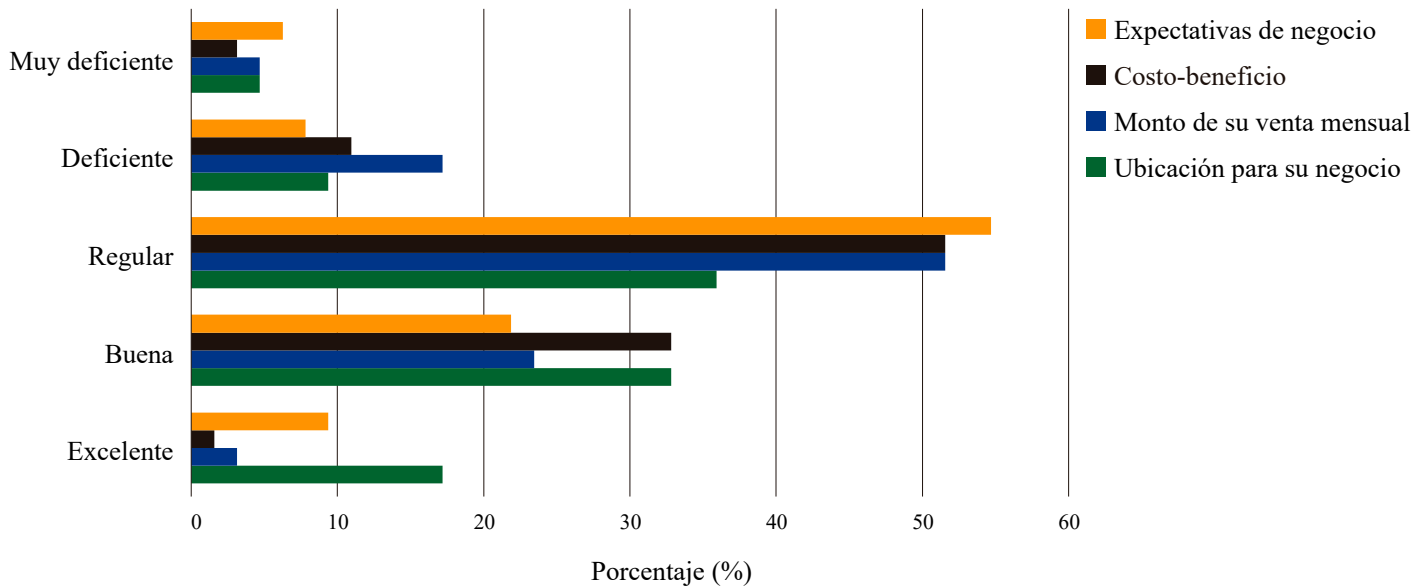
La categoría de **desarrollo económico** valora 6.5 la viabilidad comercial en CV.

Un hallazgo crítico en términos de estabilidad económica es la disparidad en las proyecciones de permanencia. Mientras que el 98% de los locatarios manifiesta su intención de continuar operando en la zona, el 50% de los dueños de negocios indica que no mantendría su actividad en dicha ubicación. Esta diferencia se fundamenta en que los propietarios reportan un incumplimiento de sus expectativas comerciales (valoradas con un mínimo de 5.3), mientras que los locatarios, aunque críticos con el volumen de ventas y la relación costo-beneficio, valoran positivamente la ubicación estratégica del centro (7.3) (**Figura 6**).

La **categoría cultural** revela una dinámica participativa con áreas de oportunidad críticas en la gestión pública. A pesar de que el 86% de los encuestados manifiesta una alta disposición hacia la oferta cultural del CV, se observa un déficit en la frecuencia de asistencia (77% <3 veces/año). En términos operativos, la percepción ciudadana asigna una valoración promedio de 6.3 al ecosistema de eventos; el ambiente (7.0), la seguridad (5.9) y la logística (6.0) emergen como los principales inhibidores de la experiencia. Existe una disparidad perceptual significativa entre los segmentos, donde los turistas reportan el mayor nivel de satisfacción (6.9), en contraste con los dueños de negocios, cuya valoración desciende a 5.3. Las propuestas de mejora de la comunidad se centran en dos ejes estratégi-



**Figura 5.** Votaciones ¿Usted se siente seguro en el centro de Veracruz?



**Figura 6.** Porcentaje de votaciones de satisfacción en desarrollo económico (dueños y locatarios).

cos, la optimización de la comunicación (19% demanda estrategias de difusión y publicidad más efectivas) y la seguridad – logística (15.6% señala la necesidad de reforzar la vigilancia y mejorar la organización de los eventos). Las preferencias programáticas de la población se inclinan hacia las actividades culturales y tradiciones (28%), seguidas de eventos musicales y conciertos (22%).

## Conclusiones

El diagnóstico del Centro de Veracruz revela un escenario complejo con fortalezas como la buena conectividad digital, alumbrado público adecuado y accesibilidad universal, que facilitan la movilidad y el uso del espacio urbano. Sin embargo, persisten debilidades significativas en seguridad percibida (especialmente en mercados y calles principales), infraestructura deteriorada como pavimentación y banquetas, servicios comunitarios insuficientes, recolección de basura irregular, mantenimiento deficiente de espacios públicos y áreas verdes limitadas, además de baja calidad en atención comercial. Estas carencias afectan la habitabilidad, funcionalidad y atractivo tanto para residentes como visitantes, exacerbadas por problemas ambientales como calor intenso, ruido, olores desagradables y falta de sombra.

La percepción general es moderada, con oportunidades claras para mejorar el confort ambiental mediante reducción de ruidos y mejor manejo de residuos, potenciar la promoción cultural y fortalecer el desarrollo económico vía atención comercial y mantenimiento de establecimientos. La inseguridad emerge como preocupación central,

limitando la recuperación social, económica y turística del CV. Para contrarrestarlo, se identifican oportunidades como ampliar eventos culturales y artísticos, mejorar espacios verdes y de esparcimiento, involucrar a la comunidad en rehabilitaciones urbanas, implementar módulos informativos para visitantes, reconocer el patrimonio histórico-cultural, aumentar la participación en actividades culturales y capacitar al comercio con mayor seguridad. Las amenazas incluyen el impacto de la inseguridad en turismo y convivencia, cambios negativos en percepciones de usuarios, y eventos climáticos adversos sin infraestructura resiliente.

Realizar estas encuestas es crucial para los planteamientos urbanos porque capturan percepciones reales de residentes, trabajadores y visitantes, permitiendo diagnosticar fortalezas y debilidades con datos empíricos precisos. Facilitan la comunicación efectiva entre ciudadanía y autoridades, alineando políticas con necesidades prioritarias como seguridad y sostenibilidad, evitando intervenciones aisladas que generan gentrificación o ineficiencias. Así, sustentan estrategias integrales basadas en ODS 11 (ciudades sostenibles), fomentando decisiones participativas que fortalecen la resiliencia, identidad cultural y viabilidad económica del CV, como evidencian experiencias en otras ciudades.

## Referencias

Abdurahiman S, Kasthurba A, Nuzhat A (2022). Impact of Urban Heritage on social values in historic urban precincts-Public perception of the Kuttichira community, Kerala. *SCIRES-IT-SCientific RESearch and Information Technology* 12(1):19-30. doi:10.2423/i22394303v12n1p19

- Deng Z, Chen D, Qin X, Wang S (2021). Comprehensive assessment to residents' perceptions to historic urban center in megacity: a case study of Yuexiu District, Guangzhou, China. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 20(5):566-580. doi:10.1080/13467581.2021.1942000
- Eljuri G (2023). Dinámicas de rehabilitación patrimonial, percepciones ciudadanas y prácticas espaciales: el caso de las plazas del Centro Histórico de Cuenca, Ecuador. *Quaderns de l'Institut Català d'Antropologia* 39(1):64-85. doi:10.56247/qua.405
- Escalante A, Chávez D (2025). Espacios Turísticos Seguros: Crimen y Temor en el Centro Histórico de Ciudad Juárez. *TURYDES Turismo y Desarrollo Local Sostenible* 18(38):e850-e850. doi:10.55905/turydes.v18i38.850
- García P (2021). Centros históricos en México, patrimonialización global y turistificación. *PatryTer* 4(7):28-43. doi:10.26512/patryter.v4i7.29436
- García-Esparza JA, Altaba P, Huerta J (2023). Examining urban polarization in five Spanish historic cities through online datasets and onsite perceptions. *Habitat International* 139:102900. doi:10.1016/j.habitatint.2023.102900
- Hernandez-Sampieri R (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Ciudad de Mexico: McGrawHill Education.
- INEGI (2025). *INEGI, Espacios y datos de Mexico*. Recuperado el 2024, de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioidatos/>
- Machuca-Yaguana J, Maldonado-Machuca M, Vines-Vines F (2023). Tratamiento y representación de datos provenientes de escalas tipo Likert. *Revista Ciencia Latina* 7(4):736-750. doi:10.37811/cl\_rcm.v7i4.6905
- Marín-Leyva RA, Cortés-Ramírez JA (2024). La encuesta de opinión: un instrumento de comunicación para la consolidación de proyectos urbanos sustentables. *Revista Mexicana de Opinión Pública* (37):135-158. doi:10.22201/fcpys.24484911e.2024.37.87847
- Morocho-Baculima ME (2025). *La movilización peatonal en el núcleo central del Centro Histórico de Cuenca y su relación con la concentración de usos de suelo*. Tesis doctoral, Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/bdb96546-fc36-4d32-af86-59bf0cb0377a>
- ONU H (2018). *Índice básico de las Ciudades Prósperas City Prosperity Index, CPI, Informe Final Municipal*. ONU Habitat. Obtenido de <https://onu-habitat.org/index.php/indice-de-las-ciudades-prosperas-cpi-mexico-2018>
- Robert J, Pereyra O (2022). Experiencias de movilidad cotidiana en el contexto de la crisis sanitaria: hallazgos desde estudios de caso en Lima y Bogotá. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines* 51(1):1-11. doi:10.4000/bifea.13744
- SEDESOL (2021). *Secretaría de Desarrollo Social del Estado de Veracruz (2021). Informe regional de desarrollo socioeconómico*. Obtenido de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/veracruz>
- Ullauri M, Calle V, Reino P, Garnica É, Iñígues EA (2024). Envoltentes patrimoniales y percepción ciudadana. Una aproximación al caso del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador). *Territorios* 50:1-38. doi:10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.11126
- Vinuesa M (2023). La protección, recuperación y revitalización funcional de los centros históricos. *Mediterráneo económico* 3:131-160.



# La lengua de señas mexicana: identidad cultural y derecho fundamental para las personas con discapacidad auditiva en Michoacán

Mexican sign language: cultural identity and a fundamental right for people with hearing disabilities in Michoacán

María Isabel Rangel González ✉

Programa de Doctorado en Ciencias Jurídicas de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Calle Hospitales S/N, Colonia Vasco de Quiroga, C.P. 58230 Morelia, Michoacán.

## Resumen

En México, la lengua de señas (LSM), desde su origen hasta la actualidad ha sido poco valorada, ello a pesar de significar para la comunidad sorda más que un medio de comunicación, ya que para ellos es parte de su identidad cultural y un elemento indispensable para la interacción social, por lo que uno de los principales retos ha sido su reconocimiento como patrimonio cultural y lingüístico, con la finalidad de garantizar su inclusión plena, e igualdad en el ejercicio de sus derechos humanos. En este artículo se plantea la necesidad de que la lengua de señas sea realmente visibilizada y valorada, por su importancia para miles de personas. Se realizó una revisión y un análisis de diversos documentos sobre la lengua de señas mexicana, la identidad cultural de la comunidad sorda y sus derechos fundamentales, incluyendo documentos normativos locales y federales, artículos de revistas y materiales oficiales de la SEP, fuentes abiertas y accesibles para conocer la actualidad en este campo.

**Palabras clave:** comunidad sorda, derechos lingüísticos, educación bilingüe, inclusión, lengua de señas.

## Abstract

In Mexico, sign language (LSM), from its origin to the present day, has been little valued, despite meaning more than just a means of communication for the deaf community, as for them it is part of their cultural identity and an essential element for social interaction. One of the main challenges has been its recognition as a cultural and linguistic heritage, with the aim of guaranteeing full inclusion and equality in the exercise of their human rights. This article highlights the need for sign language to be truly made visible and valued for its importance to thousands of people. A review and analysis were conducted of various documents on Mexican sign language, the cultural identity of the deaf community, and their fundamental rights, including local and federal regulatory documents, journal articles, and official materials from the SEP, all open and accessible sources to understand the current state in this field.

**Keywords:** Deaf community, linguistic rights, bilingual education, inclusion, sign language.

## Introducción

En la actualidad, la lengua de señas mexicana o LSM se encuentra reconocida como una lengua natural, la cual, cuenta con gramática propia y es transmitida de generación en generación de la comunidad sorda, lo anterior en concordancia con lo establecido por los instrumentos internacionales que señalan a las lenguas de señas como verdaderos idiomas. Por su parte, la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, al reconocer la lengua de señas como patrimonio de las comunidades sordas, ha impulsado a diversos países, entre ellos México, a incorporar estas lenguas en sus marcos constitucionales y legislativos (CNDH, 2020).

México, durante el año 2011 promulgó la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad

### Historial

Manuscrito recibido: 15 de diciembre de 2025

Manuscrito aceptado: 20 de febrero de 2026

Manuscrito publicado: abril 2026

### ✉ Autor para correspondencia

María Isabel Rangel González

0002693a@umich.mx

### Como citar:

Rangel González MI (2026). La lengua de señas mexicana: identidad cultural y derecho fundamental para las personas con discapacidad auditiva en Michoacán. *Ciencia Nicolaita* 96:121-129. DOI:10.35830/cn.vi96.897

(2024), en la cual se reconoce a la lengua de señas mexicana como una lengua oficial y la incorpora al patrimonio lingüístico de la nación, con lo cual se crea la obligación

de garantizar la accesibilidad lingüística y su promoción. Por otro lado, los organismos de derechos humanos también le han reconocido como un derecho cultural, resaltando que su uso preserva la identidad e inclusión social de la comunidad sorda.

En Michoacán, la Septuagésima Sexta Legislatura del Congreso del Estado reconoce la lengua de señas mexicana como lengua oficial y patrimonio lingüístico a nivel constitucional, con lo cual abre la posibilidad de un análisis jurídico sobre la forma en la que el derecho local debe acoplarse a los estándares federales e internacionales (Ángel, 2025). Es así que el reto que ahora enfrenta Michoacán respecto de la lengua de señas mexicana, no se limita únicamente a reconocer de manera formal dicha lengua sino también a realizar una implementación real en la escuela, en los servicios de salud, en la administración de justicia y en la relación cotidiana con las instituciones públicas.

### **Idioma, lengua, lenguaje y dialecto**

Con el objetivo de poder determinar si la lengua de señas en general (no solo la lengua de señas mexicana) es un idioma, lengua, lenguaje o dialecto, ya que en diversas ocasiones de manera errónea se le denomina lenguaje, en otras como lengua y en el peor de los casos como un dialecto, conviene señalar de manera breve como se concibe al idioma, lengua y lenguaje. Su comprensión resulta necesaria para diseñar políticas públicas inclusivas, asegurar derechos lingüísticos y promover la integración efectiva de comunidades que utilizan formas de comunicación no verbal, como la lengua de señas mexicana.

### **La lengua**

El diccionario de la Real Academia Española proporciona distintos conceptos respecto de la lengua, misma que define como un “sistema de comunicación verbal propio de una comunidad humana y que cuenta generalmente con escritura”, como un “sistema lingüístico considerado en su estructura” y como el “vocabulario y gramática propios y característicos de una época, de un escritor o de un grupo social” (RAE, 2025).

Otros autores la definen como un código constituido por un sistema de signos que se utilizan para producir mensajes y un sistema de fonemas con los cuales se forman los signos, lo que corresponde respectivamente a las articulaciones primera y segunda (Ávila, 1977). Resulta conveniente mencionar que existen diversos tipos de lenguas como lo son la lengua materna, lengua vernácula o coloquial, lengua culta, segunda lengua o lengua extranjera, lengua natural, lengua artificial, lengua muerta y lengua franca (Islas, 2018); sin embargo, en esta ocasión sol-

amente se brindara una definición de la lengua materna y lengua natural, mismas que se han definido de la siguiente manera: Primeramente, la lengua materna, ha sido definida como aquella lengua que una persona aprende de forma natural durante los primeros años de vida y que se utiliza como instrumento para pensar y comunicarse, dicha lengua está vinculada a una cultura o tradición y a una manera distinta de ver la realidad, formando parte de la identidad de cada persona (Medina, 2023).

La lengua materna ha sido llamada así en alusión a la madre, es la primera lengua con la que una persona entiende el mundo y aprende a comunicarse, culturalmente, a la madre se le ha puesto en el centro del seno familiar como la persona encargada de criar a los recién llegados a la familia. Asimismo, existen otras formas de denominar la lengua materna; algunos autores la han definido como primera lengua, lengua natal o nativa o simplemente como L1 (García, 2022).

Por otra parte, la lengua natural ha sido definida como aquella que se aprende desde el nacimiento y que es usada de manera espontánea diariamente para comunicarse con los demás, sin que se tengan conocimientos acerca de su estructura, sin cuidar su pulcritud y sin esfuerzos especiales para su realización (Lampis y Štrbáková, 2017). Dicho lenguaje se crea de manera inconsciente o sin que se establezcan normas rígidas en su uso, con la finalidad de que un grupo de personas pueda comunicarse; es importante destacar que, aunque algunos de los lenguajes naturales después de que aparecen han adquirido su gramática y reglas de uso, siguen evolucionando a su propio ritmo (Hoyos, 2020).

### **El idioma**

El idioma se caracteriza por ser creado, validado y transmitido al interior de la comunidad a la que pertenece; está integrado por un conjunto estructurado y organizado de signos, que se manifiestan mediante el habla y que funcionan como un sistema de comunicación que incluye pronunciación, gramática, significado, expresiones, grafía y coherencia, y al no ser estático, con el tiempo sufre cambios que son aceptados por la comunidad usuaria (Berlitz, 2021). El término idioma hace referencia a una forma de comunicación que tiene una gramática específica y normas claras sobre su uso, además de ser accesible a las personas de forma general, razón por la cual es considerada como patrimonio intangible de la comunidad a la que pertenece (Berlitz, 2021).

### **El lenguaje**

El lenguaje, ha sido considerado no solo como una herramienta que se adquiere para comunicarse, sino como la

capacidad natural de evolución física y fisiológica de los seres humanos, en la que sus órganos y procesos mentales se han ido adaptando a una serie de funciones que les permite poder comunicarse con sus semejantes, almacenando en la mente un cúmulo de pensamientos que incluyen imágenes y conceptos, los cuales tienen un significado semiótico y lingüístico (Pinzón, 2005).

Con la finalidad de comprender la complejidad y el origen del lenguaje, más que su simple concepto, resulta conveniente abordar de manera breve algunas teorías sobre el origen del lenguaje humano que permitan conocer su capacidad lingüística dentro de un contexto histórico y conceptual amplio. En primer lugar, encontramos la teoría del origen divino, que asocia la génesis del lenguaje con una causa trascendente, pues en el segundo capítulo del libro del Génesis, se señala lo siguiente:

*“Entonces Yahvé Dios formó al hombre con polvo de la tierra; luego sopló en su nariz un aliento de vida, y el hombre tuvo aliento y vida. Dijo Yahvé Dios: No es bueno que el hombre esté solo, voy a hacerle una auxiliar a su semejanza. Entonces Yahvé Dios formó de la tierra a todos los animales del campo y a todas las aves del cielo, y los llevó ante el hombre para que les pusiera nombre. Y el nombre de todo ser viviente había de ser el que el hombre le había dado”* (Génesis, 2:7,18-19).

La segunda de las teorías se denominó “del origen natural de los sonidos o teoría onomatopéyica”, en ella, el lenguaje tiene su origen en la imitación de los sonidos naturales, es decir, propone que las primeras palabras se originaron como imitaciones de los sonidos del entorno natural percibidos por los seres humanos de la prehistoria, por lo que al escuchar el sonido que era emitido por “algo”, el hombre primitivo, reproducía ese sonido para darle nombre al objeto que lo emitía, además de establecer que otros sonidos pudieron ser utilizados para representar distintos elementos, con lo que se evidenciaba una conexión directa entre la naturaleza y el desarrollo inicial del lenguaje. Asimismo, con base en dicha teoría se cree que el origen de los sonidos de alguna lengua proviene de forma natural derivada de las expresiones que se realizan a causa de una emoción como la ira, la felicidad o el dolor (Palomo, 2011).

En tercer lugar, se ubica la teoría del origen oral-gestual, en la que se propone una conexión entre el gesto físico y el oral, la cual sostiene que la comunicación en sus inicios tenía como base una serie de gestos físicos como medio de interacción; sin embargo, con posterioridad,

surgió un conjunto de gestos orales que involucraban explícitamente la boca y otros órganos, con los cuales se generaban mensajes muy similares a los que se emitían con los gestos físicos originales (Palomo, 2011).

Con base en lo anterior, antes de la comunicación oral, los movimientos corporales (lenguaje no verbal) sirvieron para expresar diversas intenciones o emociones, lo que permitía establecer comunicación a distancias considerables donde la voz perdía efectividad, a las que se les conoce como lengua de signos. Estas son propias de ciertas comunidades, en que los gestos realizados con distintas partes del cuerpo constituyen formas de comunicación no verbal que aún siguen en uso, a pesar del avance que han tenido las capacidades lingüísticas orales (Pinzón, 2005).

Es así que el lenguaje es entendido como la facultad natural que permite distinguir al ser humano del resto de los seres vivos, además de que le otorga los atributos de racional y simbólico, debido a que este puede expresar a través de palabras o símbolos todo lo que observa, piensa o imagina; de igual manera el lenguaje también ha sido entendido como una herramienta necesaria en la creación de espacios sociales, en los cuales las personas comparten experiencias, intereses y motivaciones que los llevan a comunicar de manera lógica y congruente sus puntos de vista sobre ciertas circunstancias o experiencias vividas (Pinzón, 2005).

### **El dialecto**

El dialecto se define como un sistema de signos desgajado de una lengua común, viva o desaparecida; misma que por lo regular está limitada geográficamente, pero no tiene gran diferencia frente a otros de origen común. Este mismo nombre es utilizado para hacer referencia a las estructuras lingüísticas, similares a otras pero que no alcanzan la categoría de lengua, siendo una condición característica de este su débil diferenciación con respecto de otros del mismo origen (Alvar, 2007). Otros autores, señalan que el dialecto es una variante dentro de una lengua más amplia que se distingue de otros dialectos que en su conjunto forman el sistema lingüístico completo, por lo cual puede manifestarse de forma oral y escrita, diferenciándose de la lengua porque, en su caso, la escritura no es un elemento esencial para que este pueda existir (Mikheeva, 2008)

Con base en lo anterior, se puede afirmar que mientras el lenguaje es la capacidad que tienen las personas de comunicarse con los demás con independencia de la forma en la que se comuniquen, la lengua constituye la forma o el medio por el cual se realiza dicha comunicación, ya sea mediante los sistemas de comunicación verbal, escrita o no verbal como la lengua de señas. De igual manera, puede afirmarse que las lenguas de señas son lenguas natu-

rales, que equivalen a cualquier idioma oral y no son dialectos ni sistemas lingüísticos que dependan de las lenguas orales, sino que por el contrario las lenguas de señas son sistemas lingüísticos completos y autónomos que cuentan con gramática, sintaxis y fonología propios, mismas que han sido creadas para ser entendidas de forma visual (**Figura 1**).

**Lengua de señas mexicana, identidad cultural y comunidad sorda**

Para poder entender en qué consiste la identidad cultural de las personas sordas, resulta necesario que primeramente se aborden los conceptos existentes sobre cultura, diversidad cultural, cultura tradicional y popular y la identidad cultural. La cultura ha sido definida por la Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura de la siguiente manera: “conjunto de los

rasgos distintivos espirituales y materiales, intelectuales y afectivos que caracterizan a una sociedad o a un grupo social y que abarca, además de las artes y las letras, los modos de vida, las maneras de vivir juntos, los sistemas de valores, las tradiciones y las creencias” (UNESCO, 2001).

El Comité de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales define la cultura como un concepto amplio e inclusivo en el cual se encuentran comprendidas todas las manifestaciones de la existencia humana; por ello, en su observación general 21 se explica la trascendencia que tiene la cultura para la dignidad humana, razón por la cual la cultura es incorporada en el apartado de los derechos humanos, al señalar que refleja y configura los valores del bienestar y la vida económica, social y política de los individuos, los grupos y las comunidades (Comité de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales, 2010).

Respecto de la diversidad cultural, la UNESCO seña-



**Figura 1. Clasificación lingüística de la lengua de señas mexicana.** Comparación de lengua, idioma, lenguaje y dialecto.

la en el artículo 1 de la Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural, que la diversidad cultural adopta distintas formas con el transcurso del tiempo, la cual se manifiesta en la pluralidad de las identidades características de los grupos y sociedades que componen la humanidad, además de constituir el patrimonio común de la humanidad y por ello debe ser reconocida y consolidada en beneficio tanto de las generaciones actuales como de las futuras (UNESCO, 2001).

Por lo que se refiere a la diversidad cultural y popular, esta ha sido definida en la Recomendación sobre la salvaguardia de la Cultura Tradicional y Popular, de la siguiente manera:

*“La cultura tradicional y popular es el conjunto de creaciones que emanan de una comunidad cultural fundadas en la tradición, expresadas por un grupo o por individuos y que reconocidamente responden a las expectativas de la comunidad en cuanto expresión de su identidad cultural y social; las normas y los valores se transmiten oralmente, por imitación o de otras maneras<sup>1</sup>. Sus formas comprenden, entre otras, la lengua<sup>2</sup>, la literatura, la música, la danza, los juegos, la mitología, los ritos, las costumbres, la artesanía, la arquitectura y otras artes”* (UNESCO, 1989).

Además de definir la diversidad cultural y popular, la UNESCO, también destaca en dicha recomendación que dicha cultura forma parte del patrimonio universal de la humanidad, siendo este un medio poderoso para el acercamiento entre los pueblos y grupos sociales existentes y mediante lo cual afirman su identidad (UNESCO, 1989).

La identidad ha sido definida por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos, como un conjunto de rasgos característicos de una persona o de una colectividad frente a las demás personas, se resalta el hecho de que cada individuo es único y diferente, mientras que, de manera colectiva, una persona se representa como tal cuando se reconoce a sí mismo y a otras personas como miembros de una comunidad (CNDH, 2018).

Existen distintos tipos de identidades, entre ellas se encuentran la identidad personal, la identidad grupal y la identidad cultural; la identidad personal, se basa fundamentalmente en conocer su origen, sus antecedentes familiares, es decir, el individuo debe de tener nombre,

apellido y nacionalidad; el derecho a la identidad personal es el pilar de los demás derechos, los cuales de manera conjunta definen a la persona humana, pues guarda un estrecho vínculo con los derechos a no ser discriminado, a la salud, a la intimidad, a una vida digna y a tener su propias creencias religiosas, de pensamiento, y de opinión entre otros (CNDH, 2018).

Por lo que respecta a la identidad grupal, se distinguen varios elementos, entre los que se encuentran la construcción de una representación de quienes somos y que a su vez definen a una cultura e involucra al entorno, la historia de la comunidad, lengua, tradiciones, costumbres, entre otros; mientras que la identidad cultural, se encuentra relacionada con los derechos de los pueblos, las comunidades y las personas que pertenecen a ellos (CNDH, 2018); razón por la cual en el Pacto Internacional de los Derechos Civiles y Políticos, se establece que en los estados en los que existan minorías étnicas no se les negará a sus miembros, entre otras cosas, a emplear su propio idioma (OHCHR, 1966). Lo anterior aplica también a las comunidades sordas que, aunque no son una minoría étnica, si son una minoría lingüística a quienes tampoco se les puede, ni debe negarse el derecho a tener una identidad personal, identidad grupal ni mucho menos tener su propia identidad cultural ya que para ellos la lengua de señas representa lo mismo que una lengua indígena representa para los pueblos originarios.

Respecto a la identidad cultural de las personas sordas, no se debe olvidar que la convención sobre los derechos de las personas con discapacidad y su protocolo facultativo, establece en el artículo 30 que los Estados Parte deben reconocer, entre otras cosas, el derecho de las personas con discapacidad a participar en la vida cultural en igualdad de condiciones que los demás; asimismo, establece que las personas con discapacidad tendrán derecho al reconocimiento y apoyo de su identidad cultural y lingüística específica, incluidas la lengua de señas y la cultura de los sordos (CNDH, 2020).

Asimismo, se debe tener presente que el aspecto principal que define a la comunidad sorda no se encuentra limitada solo a la pérdida auditiva que padecen, sino a la pertenencia que tienen de una comunidad lingüística con historia, prácticas y valores compartidos, en cuya base se localiza la lengua de señas mexicana. Lo anterior, al considerar los distintos estudios académicos sobre cultura sorda en los que se ha señalado que la lengua de señas permite a las personas sordas describir el mundo, participar en espacios comunitarios y generar sentidos de pertenencia que se manifiestan más allá del enfoque médico que se da a la discapacidad. (CDHCM, 2019).

Es así como la lengua de señas mexicana ejerce la

1 El énfasis es del autor

2 Ibidem

función de resaltar la identidad colectiva de una minoría lingüística como lo son las personas sordas, ya que a través de ella se transmiten códigos culturales, historias de resistencia, estrategias de organización y conocimientos que difícilmente pueden trasladarse a lenguas orales sin pérdida de significado. Organizaciones de personas sordas y defensores de derechos humanos han insistido en que negar la LSM en la escuela o en la vida pública equivale a negar la identidad sorda, produciendo efectos de asimilación forzada y despojo cultural (Cárcoba, 2024).

Al hablar de la lengua de señas mexicana, como “lengua materna” de las personas sordas, implica que se reconozca que a través de ella se socializan vínculos afectivos y se transmiten tradiciones en la comunidad de forma significativa, desde un enfoque lingüístico resulta necesario que el Estado garantice que dicha lengua tenga un desarrollo y presencia efectiva, así como una transmisión real en todos los ámbitos de la vida social. Sin embargo, históricamente, las políticas implementadas con respecto a la comunidad sorda en México han privilegiado modelos que buscan hacer hablar a las personas sordas mediante la lectura labiofacial o el uso de ayudas técnicas, con lo cual se ha ido generado erróneamente la idea de que la lengua de señas es simplemente un apoyo para las personas sordas, pero no una lengua completa. (UNAM, s.f.)

Lo anterior ha tenido múltiples consecuencias en diversos ámbitos, como el educativo y el laboral; además, implica obstáculos para el ejercicio de diversos derechos, como hacer uso del servicio médico, presentar una denuncia o intervenir en procesos judiciales. Es así que, a pesar del reconocimiento de la lengua de señas en diversos marcos normativos que establecen ajustes para su implementación, esta ha sido desigual, generando así una brecha entre el reconocimiento formal y el ejercicio efectivo (CNDH, 2017).

### **Marco jurídico de la lengua de señas mexicana como derecho fundamental**

Sin lugar a dudas, el inicio normativo de la lengua de señas se da con la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, la cual exige a los Estados Parte, entre los que se encuentra México, reconocer y promover la lengua de señas, así como garantizar que las personas sordas puedan recibir educación, información y servicios en dicha lengua (**Figura 2**). Esta convención vincula directamente el uso de la lengua de señas con el principio de igualdad y no discriminación, así como con la participación plena en la vida cultural y política (CNDH, 2020).

Por su parte, México ha reconocido la lengua de señas como lengua nacional, que forma parte del patrimonio lingüístico del país, lo que implica un derecho lingüísti-

co con protección equiparable a la de otras lenguas nacionales, quedando establecido como un derecho de las personas sordas en la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (2024). Diversos materiales institucionales han enfatizado que este reconocimiento obliga a generar políticas públicas para la formación de intérpretes, la capacitación en LSM de personal de servicios públicos y la adaptación de materiales de información en formatos accesibles (CDHCM, 2019).

Respecto al reconocimiento constitucional local, conviene destacar que este ha avanzado de forma desigual; por ejemplo, durante el año 2019, la Ciudad de México reconoció en su Constitución a la LSM como oficial y patrimonio lingüístico en el ámbito educativo, creando un precedente relevante para otros estados al vincular el uso de la LSM con el derecho a la educación; pese a lo anterior, es hasta el año 2025 que Michoacán se suma a esta acción al declarar la LSM como lengua oficial y parte del patrimonio lingüístico estatal, abriendo la puerta a exigencias jurídicas concretas sobre la inclusión de la LSM en el sistema educativo, la comunicación gubernamental y otros servicios básicos.

### **La lengua de señas mexicana en Michoacán**

A nivel estatal, en Michoacán, se han hecho acciones significativas como el decreto por medio del cual se reconoce a nivel constitucional local la lengua de señas como una lengua oficial en el estado; esta declaración le reconoce como patrimonio lingüístico y la relaciona con la identidad cultural de las personas sordas en Michoacán obligando a las autoridades a fomentar su difusión, enseñanza y uso, en todos los ámbitos incluida la prestación de servicios públicos. Asimismo, dicho decreto establece un plazo en el que la Secretaría de Educación del Estado deberá garantizar la incorporación de la lengua de señas en el ámbito escolar (Congreso de Michoacán de Ocampo, 2025).

De forma simultánea, diversas dependencias a nivel estatal han empezado a brindar servicios de interpretación de la lengua de señas, así como mecanismos que permiten brindar atención de forma accesible a la población sorda; particularmente, se puede mencionar a la Secretaría del Bienestar estatal, la cual difunde procedimientos para solicitar intérpretes en trámites y servicios. No obstante, el propio gobierno reconoce que sólo una fracción de las dependencias cuenta con personal o ajustes necesarios suficientes (SEDEBI, 2025).

Es importante mencionar que en el estado de Michoacán al igual que en otros estados, las acciones para visibilizar la lengua de señas se ha logrado gracias a las actividades que ha realizado la comunidad sorda, sus familias y organizaciones de la sociedad civil, que se han ocupado y

## Marco Jurídico de la Lengua de Señas Mexicana

**1999**

México firmó la Convención Interamericana para la Eliminación de todas las Formas de Discriminación contra las Personas con Discapacidad, que tiene como objetivo la prevención y eliminación de todas las formas de discriminación contra las personas con discapacidad y propiciar su plena integración en la sociedad.

**2006**

Se aprueba la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y su Protocolo Facultativo, con propósito de proteger y promover el respeto a la dignidad de las personas, garantizando el goce pleno y en igualdad de condiciones de los derechos humanos y libertades fundamentales que le asisten a las personas con discapacidad.

**2011**

Se promulgó en México la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad, con el objetivo de establecer las condiciones en las que el Estado promueva, proteja y asegure la plena inclusión en la sociedad de las personas con discapacidad, por lo que las disposiciones contenidas en ella reglamentan el artículo 1° Constitucional.

**2014**

El Congreso del Estado de Michoacán, promulgó la Ley para la Inclusión de las Personas con Discapacidad en el Estado de Michoacán de Ocampo y su Reglamento, con el objetivo fomentar, salvaguardar y asegurar el ejercicio pleno de los derechos humanos de las personas con discapacidad, garantizando su inclusión, al tiempo que promueve la concientización y la sensibilización sobre la discapacidad.

**2024**

En Michoacán, se reforma la Ley de Educación Estatal, con la finalidad de establecer los derechos de las personas con discapacidad, entre los que se encuentra el ser aceptado en programas educativos en todos los niveles, una vez cumplidos los requisitos establecidos para su admisión; así como contar con las herramientas necesarias que le permitan lograr una autonomía plena.

**2025**

El Congreso del Estado de Michoacán, mediante el comunicado 566/2025, dio a conocer que se avanza hacia el reconocimiento constitucional de la Lengua de Señas Mexicana, lo que representa también un compromiso social para expandir y promover la lengua de señas en todo el territorio michoacano.

Figura 2. Marco Jurídico de la lengua de señas mexicana.

preocupado por implementar cursos, talleres, eventos culturales, entre otras acciones, con las cuales se ha buscado sensibilizar a la población oyente y colocar dentro de la agenda pública la demanda del reconocimiento de la lengua de señas como una lengua oficial.

Finalmente, brindar el carácter de lengua materna que corresponde a la lengua de señas, hace necesario que se replantee el modelo educativo actual, con el objetivo de que pueda consolidarse una educación bilingüe, para lograr un verdadero desarrollo cognitivo, emocional y social de aquellas personas para quienes la lengua de señas es su único medio de comunicación con el resto de la sociedad.

### Conclusiones

La lengua de señas mexicana constituye una lengua natural y, en algunos casos, significa una lengua materna, que

tiene autonomía propia y que es equiparable a cualquier otro idioma, la cual cuenta con gramática, sintaxis y fonología propias, características que la hacen distinta a los lenguajes y dialectos. El reconocimiento con el que cuentan en distintos cuerpos normativos que van desde la Convención sobre los Derechos de la Personas con Discapacidad hasta la más reciente reforma constitucional que se da en Michoacán, cambia el rumbo actual de las obligaciones morales y jurídicas en la búsqueda de garantizar la identidad cultural de la comunidad sorda al reconocer finalmente a la lengua de señas como lengua oficial y parte del patrimonio lingüístico estatal a nivel constitucional.

Es así como la lengua de señas mexicana no es solo un facilitador de la comunicación de quienes la usan, sino que además constituye la identidad colectiva sorda. Al respecto, con el reconocimiento constitucional, en Michoacán, de la lengua de señas como lengua oficial, se generan

obligaciones para las instituciones gubernamentales, consistentes en realizar acciones concretas que permitan reducir la brecha existente entre el reconocimiento formal y la práctica efectiva.

De igual forma, se debe reconocer a la lengua de señas como la base de la identidad sorda, pues ella constituye un derecho humano que permite acceder al disfrute y ejercicio de más derechos humanos; razón de lo anterior, hace indispensable que las instituciones públicas y privadas adquieran un compromiso real que permita garantizar el uso, enseñanza y difusión de dicha lengua, por constituir la lengua materna de miles de personas sordas. Solo con lo anterior se logrará una inclusión plena en la sociedad, además de que se estará preservando y valorando una cultura llena de historia y prácticas genuinas, misma que ha permanecido invisibilizada y olvidada, lo que se traduce en vulneraciones sistemáticas de los derechos fundamentales de las personas sordas. No se debe olvidar que para lograr una sociedad más justa, incluyente y respetuosa de la diversidad cultural y lingüística en la se reconozcan y garanticen los derechos humanos de las personas sordas, se tiene que cumplir con el requisito indispensable de la promoción integral y efectiva de la lengua de señas mexicana.

## Referencias

- Alvar M (1960). Hacia los conceptos de lengua, dialecto y hablas. *Nueva Revista De Filología Hispánica (NRFH)* 15(1/2):51–60. doi:10.24201/nrfh.v15i1/2.403
- Ángel O (2025). Lengua de Señas Mexicana será oficial en Michoacán; Congreso turna decreto al gobernador, El sol de Morelia, 19 de noviembre de 2025, <https://oem.com.mx/elsoldemorelia/local/lengua-de-senas-mexicana-sera-oficial-en-michoacan-congreso-turna-decreto-al-gobernador-26876004>
- Ávila R (1977). La lengua y los hablantes. Trillas. p.49, <https://yessicr.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/06/la-lengua-y-los-hablantes-rac3bal-c3a1vila.pdf>
- Berlitz (2021). Lenguaje, dialecto e idioma: ¿cuál es la diferencia?, <https://www.berlitz.com/es-mx/blog/lenguaje-dialecto-e-idioma-cual-es-la-diferencia>
- Cárcoba Y (2024). Reflexión sobre identidad y cultura en la comunidad sorda. *FAHHO Boletín Digital de la fundación Alfredo Harp Helú Oaxaca* 42:31-32.
- CNDH (2018). El derecho a la identidad de las personas y los pueblos indígenas. CNDH. pp.5-19. <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-05/20-DH-ident-Pueblos-Indigenas.pdf>
- CNDH (2020). La convención sobre los derechos de las personas con discapacidad y su protocolo facultativo. CNDH.pp.9-49. <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-05/Discapacidad-Protocolo-Facultativo%5B1%5D.pdf>
- CNDH (2020). Los derechos humanos culturales.CNDH.pp.7-2. ISBN: 978-607-729-311-8. [https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/cartillas/2015-2016/26-dh\\_culturales.pdf](https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/cartillas/2015-2016/26-dh_culturales.pdf)
- CNDH (2017). Día nacional de la lengua de señas mexicana. 10 de junio. <https://www.cndh.org.mx/noticia/dia-nacional-de-la-lengua-de-senas-mexicana-10-de-junio-0>
- Comisión de Derechos Humanos de la Ciudad de México [CDHCM] (2019). La lengua de señas mexicana es la principal expresión o manifestación cultural de la comunidad sorda. <https://cdhcm.org.mx/2019/02/la-lengua-de-senas-mexicana-es-la-principal-expresion-o-manifestacion-cultural-de-la-comunidad-sord/>
- Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales [CDESC] (2009). Observación general No. 21, Derecho de toda persona a participar en la vida cultural (artículo 15, párrafo 1 a), del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2012/8793.pdf>
- Congreso CDMX (2023). Iniciativa Dip. Fausto Manuel Zamorano Esparza. Gaceta Parlamentaria, pp. 1-10. ISSN 0185-1917. <https://www.congresocdmx.gob.mx/archivo-8ebf303a5a40598577cd4e91fd7863be1ed569d8.pdf>
- Congreso de Michoacán de Ocampo (2025). Michoacán reconocerá oficialmente la Lengua de Señas Mexicana en su Constitución: Emma Rivera. Comunicado 566/2025. <https://congresomich.site/michoacan-reconocera-oficialmente-la-lengua-de-senas-mexicana-en-su-constitucion-emma-rivera/>
- García A (2022). Las lenguas maternas: el inicio de la multiculturalidad. La gaceta CUSur, 15(198), <https://gaceta.cusur.udg.mx/las-lenguas-maternas-el-inicio-de-la-multiculturalidad/>
- González A (1989). La biblia. Editorial Verbo Divino, ISBN 978-84-9945-187-9, Quito, Ecuador.
- Hoyos M (2020). Lenguaje Natural. Definición de lenguaje natural. <https://cursoparalaunam.com/lenguaje-natural>
- Islas BM (2018). Lengua, Norma y Habla. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. CUAED/FES Acatlán-UNAM. Consultado el (12 de octubre de 2025) de [https://repositorio-uapa.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/1369/mod\\_resource/content/1/contenido/index.html](https://repositorio-uapa.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/1369/mod_resource/content/1/contenido/index.html)
- Lampis M, Štrbáková R (2017). Acerca de la distinción entre lenguas naturales y lenguas cultivadas: ¿una falacia lingüística? El genio maligno. *Revista de humanidades y ciencias sociales*. (21), pp. 40-49. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6678054.pdf>
- Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad, [LGIPD] Reformada, Diario Oficial de la Federación [D.O.F.], 14 de junio de 2024, (México) <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf>

Medina S (2023). La Lengua Materna como un Tesoro para Preservar. <https://www.iawj.org/lengua-materna>

Mikheeva N (2008). Sobre la clasificación de los dialectos de las lenguas romano-germánicas. Forma y función. (21), pp. 361-373, <https://www.redalyc.org/pdf/219/21911525016.pdf>

OHCHR (1966). Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos. <https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-civil-and-political-rights>

Palomo (2011). Los orígenes del lenguaje. Innovación y experiencias educativas (459, 1-9. ISSN 1988-6047, [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/iee/Numero\\_45/GERMAN\\_PALOMO\\_FRAGA\\_1.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/iee/Numero_45/GERMAN_PALOMO_FRAGA_1.pdf)

Pinzón Daza S (2005). Nociones Lingüísticas Básicas - Lenguaje, lengua, habla, idioma y dialecto. Revista La Tadeo (Cesada a Partir de 2012), (71). pp.4-14, Recuperado a partir de <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/RLT/article/view/545>

Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, 23.<sup>a</sup> ed.,

[versión 23.8 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [12 de octubre de 2025].

Secretaría del Bienestar [SEDEBI] (2025). Así puedes solicitar el servicio de intérprete en Lengua de Señas Mexicana en la SEDEBI. <https://bienestar.michoacan.gob.mx/asi-puedes-solicitar-el-servicio-de-interprete-en-lengua-de-senas-mexicana-en-la-sedebi/>

UNAM, Escuela Nacional de Trabajo Social. (s. f.). Lengua de Señas Mexicana (LSM): su importancia [Infografía]. [https://trabajosocial.unam.mx/copred/doc/infografia\\_2\\_lengua%20de%20senas\\_mexicana.pdf](https://trabajosocial.unam.mx/copred/doc/infografia_2_lengua%20de%20senas_mexicana.pdf)

UNESCO (1989). Recomendación sobre la Salvaguardia de la Cultura Tradicional y Popular. <https://www.unesco.org/es/legal-affairs/recommendation-safeguarding-traditional-culture-and-folklore>

UNESCO (2001). Declaración Universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural. <https://www.unesco.org/es/legal-affairs/unesco-universal-declaration-cultural-diversity>

# *Ciencia Nicolaita*

## **Normas editoriales**

Sólo se recibirán materiales originales, inéditos, exclusivamente postulados, en español o inglés, que hagan una aportación relevante al conocimiento de las ciencias físicas, de la vida, matemáticas, químicas, de la salud, ingenierías y arquitectura que en ningún modo difieran de la práctica editorial de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, estipulada en su normativa editorial y vigilada de manera permanente por el Comité Editorial de Ciencia Nicolaita y el Consejo Editorial de la UMSNH.

Las propuestas de contribuciones deberán cumplir con lo siguiente:

**1.-** El manuscrito siempre **deberá estar acompañada con una CARTA AL EDITOR**, indicando el tipo de contribución que se propone:

- a.- Volúmenes Monográficos** relacionados con las áreas del conocimiento mencionadas y a una **CONVOCATORIA ESPECÍFICA**.
- b.- Artículos extensos** con datos científicos originales que demuestren rigor en su metodología, resultados y discusión
- c.- Artículos de Revisiones** del trabajo científico de investigadores nicolaitas o de externos por invitación
- d.- Artículos de análisis** y debates científicos actuales.
- e.- Reseñas** de temas relevantes obtenidas a partir de obra (libros), entrevistas, congresos y simposios nacionales e internacionales.
- f.- Artículos de educación** de cada área científica con referencias críticas en el desarrollo de técnicas o materiales de enseñanza.
- g.- Noticias** de la comunidad científica universitaria (premios, congresos, patentes, logros).

**2.-** La presentación del **primer manuscrito deberá ser en formato PDF**, a doble espacio con fuente Times New Roman de 12 puntos. La extensión de los artículos propuestos en general no podrá sobrepasar las 25 cuartillas, y 7 figuras como máximo, incluyendo datos del autor (nombre, adscripción institucional, dirección profesional, correo electrónico, teléfono de contacto e identificador ORCID. Todas las colaboraciones deben contar con un título y resumen en español y otro en inglés (incluidos el título y las palabras clave) que no supere las 120 palabras, además de máximo 5 palabras clave en ambos idiomas.

**3.- Las ilustraciones, gráficas, cuadros y tablas se enviarán intercaladas después de su primera mención en el texto en el lugar que corresponda.**

**4.- EN CASO DE SER ACEPTADO EL MANUSCRITO, las ilustraciones, gráficas, cuadros y tablas se podrán enviar por separado** (formatos tiff o jpg a 300 dpi como mínimo), en un archivo “Lista de Figuras y Tablas” (Caption Figures) numerados consecutivamente, o bien incluir figuras de alta calidad en el texto en Word después de su primera mención, las tablas serán incluidas en formato de Word y no como imágenes.

5.- Los textos destinados a la **sección de reseñas y noticias** no podrán exceder las 5 cuartillas, ni comentar libros o artículos que hayan sido publicados hace más de tres años o que no cuenten con ISBN. Los autores de este tipo de colaboraciones deberán incluir una referencia bibliográfica detallada de la obra (autor, título, lugar de edición, editorial, colección, número de páginas e ISBN).

6.- Todo el material del manuscrito (texto y figuras) deberá subirse directamente a la plataforma OJS3/PKP y en paralelo **TAMBIÉN enviar la misma versión** digital a la dirección de correo electrónico: [ciencianicolaita.publicaciones@umich.mx](mailto:ciencianicolaita.publicaciones@umich.mx)

## 7.- Referencias

Las **referencias a artículos** respetarán el siguiente modelo:

Apellido(s), nombre(s) abreviado seguidos por un punto, fecha, título seguido por una coma, seguido por el nombre de la revista o editorial en *itálicas* sin abreviación, seguido por el número de páginas, p. o pp. Si la referencia cuenta con el registro se deberá indicar el ISSN e incluir el DOI.

*Ejemplo:* Fitz-Díaz E, Lawton TF, Juárez-Arriaga E, Chávez-Cabello G (2018). The cretaceous-paleogene Mexican orogen: Structure basin development, magmatism and tectonics: *Earth Science Reviews* 183: 56–84.

Para las **referencias a libros o capítulos de libro** se seguirá una regla similar a los artículos, pero en este caso se deberá indicar en *itálica* la Editorial y se deberá indicar el ISBN.

*Ejemplo:* Fegley E (2013). Practical chemical thermodynamics for geoscientists: *Amsterdam, Academic Press (Elsevier), p. 674. ISBN: 9780128102701.*

**Capítulos de libro:** Apellidos, nombre(s) abreviados, fecha entre paréntesis, título en letra normal entrecomillado, nombre del autor o autores de la obra colectiva (libro), título de la obra en *itálicas*, lugar de edición, editorial, año de edición y páginas que comprende el capítulo. Se deberá indicar el ISBN.

**Las referencias de tesis** deben comprender lo siguiente:

Nombre y apellido(s) del autor (si lo hay), fecha, título, nombre de la Institución en *itálicas*, señalar el grado de la tesis, indicar si incluye mapas o material audiovisual, seguido por el número de páginas.

*Ejemplo:* Gómez-Rivera FJ (2019). Análisis petrológico e isotópico del Complejo Batolítico Aquila, suroccidente de México: Tesis de Maestría en Ciencias con especialidad en Geociencias, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Pp.103.

Las **referencias hemerográficas** deben comprender lo siguiente:

Nombre y apellido(s) del autor (si lo hay), título abreviado de la nota o artículo (si cuenta con ella), nombre de la publicación en *itálicas*, lugar de impresión, fecha, p. o pp., seguido por el

número de páginas.

*Ejemplos:* Rafael Nieto Compeán, “Lo que México podría hacer”, *Excelsior*, Ciudad de México, 19 de septiembre de 1921, p. 2A; Sin autor, “La delincuencia en su apogeo”, *El Globo*, Ciudad de México, 23 de febrero de 1925, pp. 1-2.

Las **referencias electrónicas** observan la misma lógica y se integran como sigue:

Apellido(s) y nombre (s) del autor o de la entidad responsable, título en letra normal entrecomillado, título del portal, dirección electrónica y fecha de consulta entre corchetes.

*Ejemplo:* The United Nations Office at Geneva (Library & Archives), “Mandate of the Institutional Memory Section”, [http://www.unog.ch/80256EE60057D930/\(httpPages\)/555411BC07897556C1257C85004A5725?OpenDocument](http://www.unog.ch/80256EE60057D930/(httpPages)/555411BC07897556C1257C85004A5725?OpenDocument) [consultado el 14 de febrero de 2021].

**8. No se aceptará** ninguna contribución que no se ajuste a estas normas técnicas.

## **9.- Acerca de la Revisión**

Todos los artículos serán enviados a dictamen doble ciego con especialistas externos y/o extranjeros (el formato de dictamen es público y puede consultarse en el sitio electrónico de la revista), cuyo resultado será sancionado por el editor de la publicación, quien, a través de un tercer dictamen, en el caso de ambigüedad o controversia, podrá determinar, solo o en compañía del Comité Editorial, el resultado del procedimiento. El Comité Editorial y el editor de la revista se reservan el derecho de solicitar modificaciones no previstas en los dictámenes para aprobar la publicación de estas colaboraciones. El autor será notificado del resultado de los anteriores en un periodo no mayor a dos meses.

**10.-** Todos los autores recibirán un ejemplar de la edición en formato PDF y al aceptar su publicación se acepta de manera implícita y legal otorgar los derechos de reproducción de sus respectivas colaboraciones a la revista *Ciencia Nicolaita* y a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a fin de que puedan ser editadas, publicadas y difundidas tanto en versión impresa como electrónica.

**11.-** El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja en modo alguno el punto de vista de la Revista *Ciencia Nicolaita* o de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## **Artículos aceptados**

Después del proceso de arbitraje, el dictamen sobre la aceptación o rechazo del trabajo será comunicado por el Editor al autor responsable, con las indicaciones correspondientes que sustenten la decisión emitida.

## Página legal y créditos

**CIENCIA NICOLAITA**, año 34 no. 96, agosto de 2026, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través de la Coordinación de la Investigación Científica, Av. Francisco J. Mújica, s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Tel. 443 316 7436, 443 327 2366, y 443 322 3500, <http://www.cic.cn.umich.mx>, [ciencianicolaita.publicaciones@umich.mx](mailto:ciencianicolaita.publicaciones@umich.mx). Editor: Dr. José López Bucio. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-072913082200-203, ISSN: 2007-7068, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Coordinación de la Investigación Científica, Edificio C-2, Av. Francisco J. Mújica s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Tel. 443 316 74 36 y Fax 443 327 23 66. Responsable de la última actualización de este Número, Área de Tecnologías y Procesos de Información de la Coordinación de la Investigación Científica, Fidel Anguiano Rodríguez, fecha de última modificación, abril de 2026.

Ciencia Nicolaita No. 96 fue formada y preparada para su versión electrónica, en el Área Editorial del Departamento de Comunicación de la Ciencia de la Coordinación de Investigación Científica. Edificio C-2, Ciudad Universitaria, Morelia.

### Imagen de la portada

Descripción: *Salvia hispanica*, fotografiada por Yocupitzia Ramírez Amezcua.

### Derechos de uso

Se permite la reproducción, publicación, transmisión, difusión en cualquier modo o medio de cualquier parte del material contenido en el archivo (únicamente texto sin imágenes) sin alterar o modificar el original, con fines de referencia y/o reproducción, académicos o educacionales, con excepción de los personales o comerciales, citando la fuente de referencia y otorgando el crédito correspondiente al autor y al editor.

Sitio web implementado por el equipo de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo sobre la plataforma OJS3/PKP.