

inventio

La génesis de la cultura universitaria en Morelos

Vol. 22, núm. 56, 2026 | ISSN DIGITAL: 2448-9026

DOI: [10.30973/inventio/2026.22.56](https://doi.org/10.30973/inventio/2026.22.56)

ARTÍCULOS

Parásitos: de patito feo de la conservación a héroes desconocidos de los ecosistemas

Parasites: from conservation's ugly duckling to unsung heroes of ecosystems

Yanet Velázquez Urrieta, Francisco García de León

Platanillos: abundancia cultural de la zona tropical de México

Platanillos: cultural abundance of the tropical zone of Mexico

Ariadna Linares-Gabriel, Nereida Rodríguez Orozco, Mario Alejandro Hernández Chontal

Comportamientos sustentables en estudiantes de primaria

Sustainable behaviors in elementary school students

María Guadalupe Martínez Treviño, Yolanda Velázquez Narváez, Luisa Porfiria Chávez Barrera

El papel del docente y la escuela en la construcción de la educación inclusiva

The role of teachers and schools in building inclusive education

Israel Delgado Risquet, Gloria Rosario Vergara Salinas

Biorremediación fúngica: una estrategia para sitios contaminados con petróleo

Fungal bioremediation: a strategy for crude oil-contaminated sites

Diana Laura Peraza-Liñan, Benjamín Abraham Ayil-Gutiérrez, José Alberto López-Santillán,

Benigno Estrada-Drouaillet, Ma. Teresa de Jesús Segura-Martínez, Wilberth Alfredo Poot-Poot

Salvaguarda de orquídeas silvestres: modelo de conservación sustentable en ecosistemas templados

Protecting wild orchids: a model for sustainable conservation in temperate ecosystems

Ernesto Castañeda Hidalgo, Flor López Olivera, Laura Jiménez Bautista, Rosario Aquino López,

Gisela Margarita Santiago Martínez

Género: una mirada desde la filosofía griega y las religiones

Gender: a view from Greek philosophy and the religions

Maricela Guzmán Cáceres

La fosa mesoamericana: frecuencia sísmica y caracterización geomorfológica básica

The mesoamerican trench: seismic activity and its basic geomorphological characterization

Fidel Martínez García

Cultivando vínculos: huertos rurales en la Rebiosh y huertos escolares en Chamilpa

Building connections: rural gardens in the Rebiosh and school gardens in Chamilpa

Amanda Ortiz Sánchez, Misadaí Hernández

Criopreservación espermática: herramienta clave para la reproducción asistida y conservación de especies

Sperm cryopreservation: a key tool for assisted reproduction and species conservation

Nayeli Berenice Aguirre-Valenzuela, Araceli Cortés García, Leticia González Núñez,

Jesús Dámaso Bustamante González

SIGNIFICAR CON TEXTOS

Fondo Editorial UAEM

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Secretaría Académica

Dirección de Publicaciones y Divulgación

inventio.uaem.mx, inventio@uaem.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



PUBLICACIONES
Y DIVULGACIÓN



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
CONAHCYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

DIRECTORIO

Rectora

Viridiana Aydée León Hernández

Secretaria Académica

Elisa Lugo Villaseñor

Directora de Publicaciones y Divulgación

Jade Nadine Gutiérrez Hardt

CONSEJO EDITORIAL INSTITUCIONAL

Migdalia Díaz Vargas

Centro de Investigaciones Biológicas (CIB)

Amalia Isabel Izquierdo Campos

Facultad de Estudios Superiores de Cuautla (FESC)

Fernanda Gabriela Martínez Flores

Facultad de Comunicación Humana (FCH)

Rafael Monroy Ortiz

Facultad de Arquitectura

José Luis Montiel Hernández

Facultad de Farmacia

Alejandro Ramírez Solís

Centro de Investigación en Ciencias (CINC)

Erika Román Montes de Oca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Adriana Saldaña Ramírez

Centro de Investigación en Ciencias Sociales
y Estudios Regionales (CICSER)

EQUIPO EDITORIAL

Coordinación editorial

Gerardo Ochoa

Edición, corrección, formación y dictamen

Gerardo Ochoa

Allison Cruz Aparicio

CONSEJO EDITORIAL EXTERNO

Horacio Santiago Mejía

Universidad Intercultural del Estado de México (UIEM)

Luis Everardo Castro Solís

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Coahuila (UAC)

Humberto Saint Martin Posada

Instituto de Ciencias Físicas,
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Brenda Roxana Vázquez Fuentes

Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González",
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)

Emilia Castillo Ochoa

Departamento de Psicología y Ciencias de la Comunicación,
Universidad de Sonora (UNISON)

Luis Miguel Burciaga Cifuentes

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

María de Lourdes Flores Morales

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades "Alfonso Vélaz Pliego",
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)

Inventio, año 22, número 56, 2026, es una publicación periódica cuatrimestral, de modalidad adelantada, editada por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), a través de la Dirección de Publicaciones y Divulgación, Edificio 1, Campus Norte. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 3297000, ext. 3815. Correo: inventio@uaem.mx Las normas editoriales pueden consultarse en: <http://inventio.uaem.mx>

Editor responsable: Jade Nadine Gutiérrez Hardt. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-093012081100-102. ISSN: 2448-9026 (digital). Responsable de la última actualización de este número: Gerardo Ochoa. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 329 7000, ext. 3417. Correo: inventio@uaem.mx Fecha de la última modificación: 26 de septiembre de 2026.

Publica resultados originales de investigaciones académicas desarrolladas desde las distintas áreas de conocimiento, campos de estudio y disciplinas universitarias, con un propósito eminente de difusión del conocimiento. Sus contenidos se dan a conocer en la modalidad de publicación adelantada (*ahead of print*) y se evalúan bajo un sistema de arbitraje por pares ciegos.

Está incluida en el Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación de la SECIHTI, directorio de LATINDEX (UNAM), repositorio de Dialnet (UNIRIOJA), Latinoamericana (Chile) y LatinREV (FLACSO, Argentina).

Esta revista proporciona acceso abierto inmediato a su contenido, con base en el principio de ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones para contribuir a un mayor intercambio global de conocimientos. Se distribuye bajo una licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



ARTÍCULOS

Parásitos: de *patito feo* de la conservación a héroes desconocidos de los ecosistemas

Parasites: from conservation's ugly duckling to unsung heroes of ecosystems

Yanet Velázquez-Urrieta

ORCID: 0000-0001-5520-6573, urrietaavel@gmail.com

Laboratorio de Genética para la Conservación,

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR)

Francisco J. García de León

ORCID: 0000-0003-2323-2560, fgarciadl@gmail.com

Laboratorio de Genética para la Conservación,

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR)

Recepción: 24/03/25. Aceptación: 17/09/25. Publicación: 04/09/26

RESUMEN

Los parásitos desempeñan una función relevante dentro de los ecosistemas, puesto que son reguladores poblacionales de sus huéspedes u hospederos, mantienen el equilibrio natural y son excelentes indicadores del estado de salud ambiental. Sin embargo, la percepción negativa que se tiene de ellos los ha excluido de los temas de conservación, por lo que este artículo se centra en el papel de los parásitos desde diferentes enfoques: la tasa de extinción, la conservación de las especies y la diversidad biológica. Asimismo, se discute por qué deben ser incluidos en agendas de conservación, no sólo en México sino en otras partes del mundo. Esta información permite conocer de forma integral la diversidad de un grupo indicador de la salud de los ecosistemas.

PALABRAS CLAVE

parásitos, huéspedes, conservación, cadenas alimenticias, extinción

ABSTRACT

Parasites play an important role in ecosystems, as they regulate the populations regulators of their hosts, maintain the natural balance, and serve as excellent indicators of ecosystem health. However, the negative perception of parasites has excluded them from conservation discussions, therefore, this article focuses on the role of parasites from different perspectives, including extinction rates, species conservation, and biological diversity. This discussion also addresses why they should be included in conservation agendas, not only in Mexico but also in the other parts of the world. This information provides a comprehensive understanding of these diversity of a group that serves as an indicator of ecosystem health.

KEYWORDS

parasites, hosts, conservation, food chains, extinction

Introducción

Para la mayoría de las personas, el sólo escuchar la palabra *parásito* provoca repulsión, miedo e incluso asco. Pero más allá de estas percepciones, los parásitos se distinguen porque viven dentro o encima de otro ser vivo al que se le conoce como huésped u hospedero, y del cual se benefician.

Algunos utilizan al huésped como hogar, otros como fuente de alimentación y otros requieren ambas cosas. La mayoría son inofensivos y no comprometen la vida de su huésped, pues esto significaría atacar su propio hogar, su fuente de alimentación y su existencia misma, y los parásitos lo saben. En cambio, cualquier evento desafortunado que le suceda al huésped, como la muerte o la extinción, tendrá implicaciones sobre ellos.

Desafortunadamente, se les ha creado una mala fama por el solo hecho de ser lo que son y porque tienen una apariencia poco común, algo similar al *patito feo* del cuento de Hans Christian Andersen. Sin embargo, la repugnancia no se debe a su apariencia física, sino a las consecuencias de su forma de vida, pues se les considera agentes de muerte y devastación o causantes de enfermedades graves. No obstante, esta afirmación no se aplica a la mayoría de ellos, ya que únicamente algunas especies pueden ocasionar daños significativos y sólo a algunos les gusta infectar a los humanos.

La creencia generalizada de que los parásitos carecen de utilidad y representan agentes de daño no corresponde a la realidad. En el ámbito de la conservación de especies, la pérdida de biodiversidad es un fenómeno que ocurre a escala mundial, con consecuencias graves para numerosas especies amenazadas, proceso que se ha acelerado debido al aumento de temperaturas, las sequías, la contaminación, la deforestación y otras actividades humanas (Shaw et al., 2025).

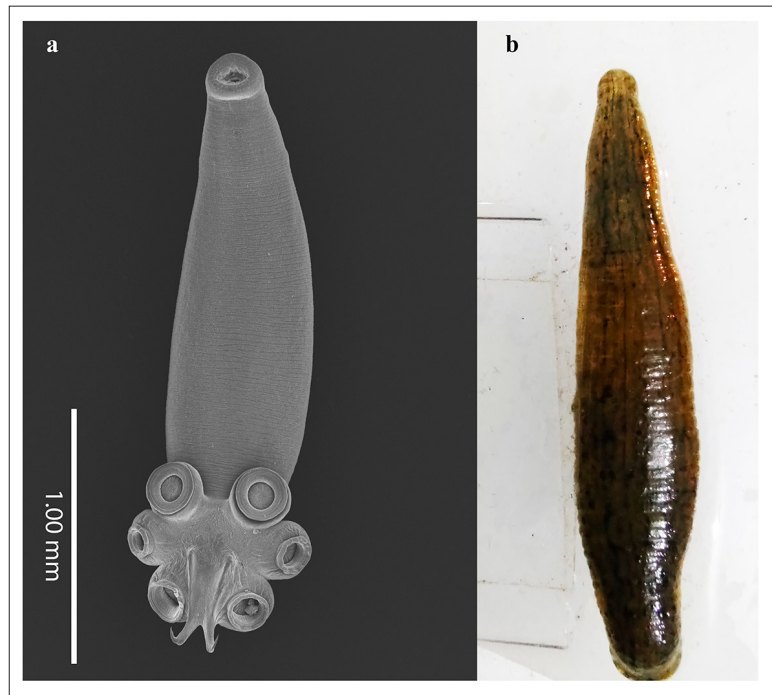
Ante este escenario, es fundamental adoptar medidas para mitigar la pérdida de diversidad biológica utilizando toda la información disponible, por lo que el estudio de los parásitos y su papel en los ecosistemas representa una buena estrategia.

El rechazo de los parásitos

En el mundo de la biología para la conservación, los parásitos son ignorados, rechazados e incluso excluidos por no entrar en los estándares tradicionales de lo que la humanidad considera valioso para proteger, lo que los ha convertido en el *patito feo* de la conservación.

Científicos reconocidos, como Windsor (1997), opinan que estos animales siguen siendo invisibles en las políticas ambientales; sólo basta dar un vistazo a las listas de especies protegidas. Por ejemplo, en México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), institución encargada de proteger los recursos naturales y ecosistemas, no incluye ningún parásito en la Norma Oficial 059 (SEMARNAT, 2010), a pesar de que son una de las formas de vida más vulnerables del planeta.

Figura 1
Parásitos



1a) Cestodo parásito de animales silvestres, fotografía de microscopia electrónica de barrido;

1b) sanguijuela, *Hirudo medicinalis*.

Fuente: cortesía de Gerardo Torres.

Su rechazo proviene principalmente de que: 1) a simple vista no son dignos de un certamen de belleza, pero su valor no radica en su belleza; 2) su tamaño en comparación con otros animales los hace insignificantes para ser considerados dignos de protección, y 3) no tienen aparentemente ningún beneficio directo para el ser humano. Sin embargo, ante la situación climática actual, es necesario dejar de hacerles el feo y reconocer su belleza funcional e incluirlos en los temas y políticas de conservación para preservar el patrimonio natural. Después de todo, como en el cuento antes mencionado, la verdadera belleza suele esconderse tras lo que no comprendemos...

Lo feo no quita lo bueno

La mayoría de los parásitos lucen como criaturas salidas de una película de ciencia ficción o de terror (figura 1a); pero, lejos de ser sólo parásitos indeseables, muchos han demostrado ser beneficiosos para el ser humano. Desde la medicina hasta la gastronomía, estos organismos desempeñan papeles sorprendentes.

Por ejemplo, *Hirudo medicinalis* es una especie de sanguijuela parásita que se usa en cirugías para prevenir coágulos y mejorar la circulación (figura 1b, p. 3). El nematodo *Heligmosomoides polygyrus* es clave en estudios inmunológicos, al ayudar a entender respuestas Th2 y la regulación del sistema inmune. Incluso hay *parásitos gourmet*, como *Fascioloides magna* (parásito del hígado del ciervo), que en Wisconsin, Estados Unidos, es considerado un manjar exótico (Johnson et al., 2010).

A pesar de lo anterior, y para su desgracia, se ha llegado al extremo de querer eliminar a los parásitos del ecosistema; pero ¿qué pasaría si desaparecieran del planeta? La respuesta más probable podría ser: ¡nada! Algunos incluso pensarían que el mundo estaría mejor sin ellos, pero la realidad es muy diferente.

Su ausencia desencadenaría un caos ecológico, debido a que cumplen una función relevante en la naturaleza. Por ejemplo, algunas poblaciones de huéspedes crecerían sin control, mientras que otras colapsarían. Los depredadores perderían una ventaja, ya que muchos parásitos manipulan el comportamiento de sus huéspedes, lo que facilita su captura (Tomas et al., 2010).

Los humanos tampoco saldríamos ilesos, ya que nuestro sistema inmunitario evolucionó junto a los parásitos; su ausencia podría aumentar la aparición de enfermedades autoinmunes. De hecho, en Estados Unidos, individuos con afecciones como la enfermedad de Crohn se infectan voluntariamente con lombrices intestinales con el fin de equilibrar su microbiota, aunque esto no siempre da resultados.

Por lo tanto, los parásitos son mucho más que invasores: sirven como reguladores clave de los ecosistemas y, en algunos casos, han sido aliados de la medicina. Por ello su conservación es esencial para mantener el equilibrio natural y la salud humana.

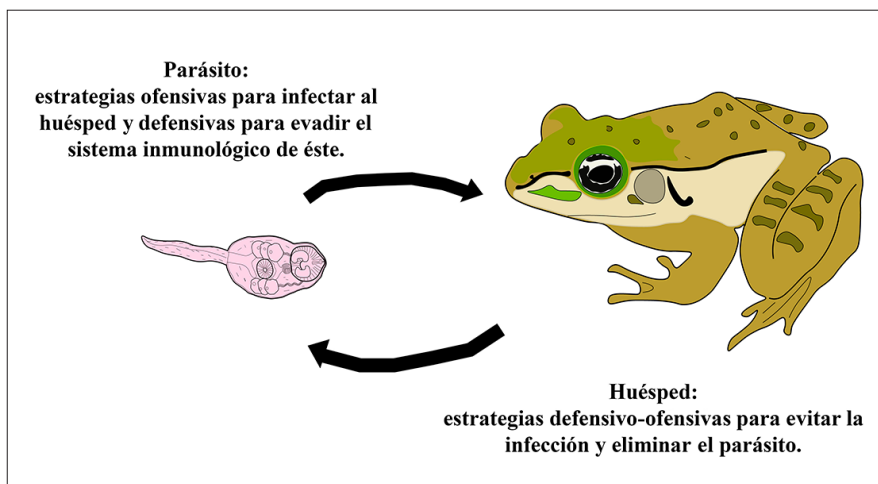
Los parásitos también se extinguen

A medida que el cambio climático, la deforestación, la contaminación y la sobreexplotación empujan a muchas especies al borde de la extinción, el grupo olvidado de los parásitos sufre en silencio. A diferencia de los animales carismáticos que acaparan la atención conservacionista, estos pequeños organismos rara vez son tenidos en cuenta, a pesar de enfrentar una crisis aún más grave.

Los parásitos desempeñan funciones esenciales en los ecosistemas: regulan poblaciones, mantienen el equilibrio natural y, en muchos casos, actúan como indicadores de la salud ambiental. Sin embargo, su destino está ligado al de sus huéspedes, por lo que con cada especie de vertebrado que desaparece se estima que hasta diez especies de parásitos podrían extinguirse, lo que los convierte en las víctimas invisibles de la crisis ecológica.

Ante este panorama, las colecciones científicas emergen como un tesoro oculto. Éstas no sólo preservan ejemplares de especies extintas o en peligro, sino que también funcionan

Figura 2
Interacción parásito-huésped



Fuente: elaboración propia.

como una ventana al pasado. Al estudiar los parásitos presentes en especímenes conservados en museos o colecciones biológicas, los científicos pueden rastrear qué especies infectaron a esos huéspedes, dónde habitaron, cómo se desplazaron e incluso identificar posibles extinciones. Así, estos archivos biológicos permiten rescatar datos invaluable sobre los *patitos feos* de la biodiversidad, esenciales para comprender su papel en la naturaleza.

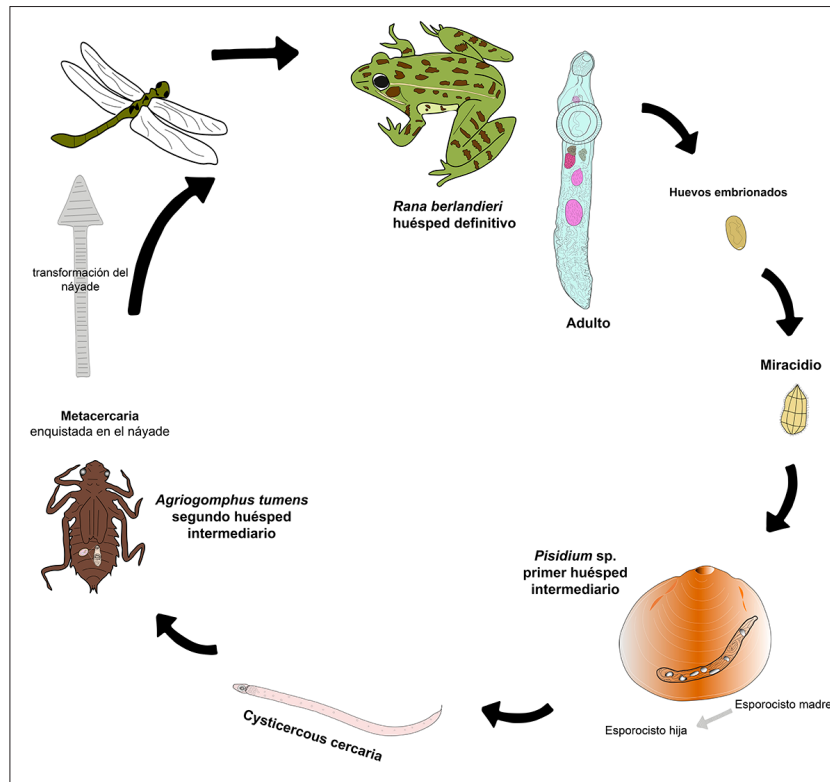
De esta forma, ignorar a los parásitos podría tener consecuencias en la biología de la conservación, ya que esto distorsiona nuestra visión de la crisis ambiental y debilita los esfuerzos de conservación. Para protegerlos es urgente incluirlos en políticas de biodiversidad, fortalecer las colecciones científicas como fuentes de conocimiento histórico y, sobre todo, combatir el sesgo hacia lo *carismático* en la ciencia y la divulgación.

No estaría de más que, la próxima vez que pensemos en salvar especies, recordáramos que hasta los organismos más pequeños y menos glamorosos son piezas irremplazables en el rompecabezas de la vida terrestre.

La interacción parásito-huésped

Si crees que las relaciones humanas son complejas y a veces tormentosas, espera a conocer la relación parásito-huésped. Esta dinámica de interacciones se ha moldeado durante miles de millones de años de evolución. Los parásitos, aunque pequeños, enfrentan desafíos titánicos al interactuar con sus huéspedes, puesto que todos los animales, incluidos los humanos, cuentan con un poderoso sistema inmunológico que actúa como guardián contra agentes extraños, que es el rival más formidable para cualquier parásito.

Figura 3
El complejo ciclo de vida de parásitos:
ciclo biológico de trematodos parásitos de anfibios

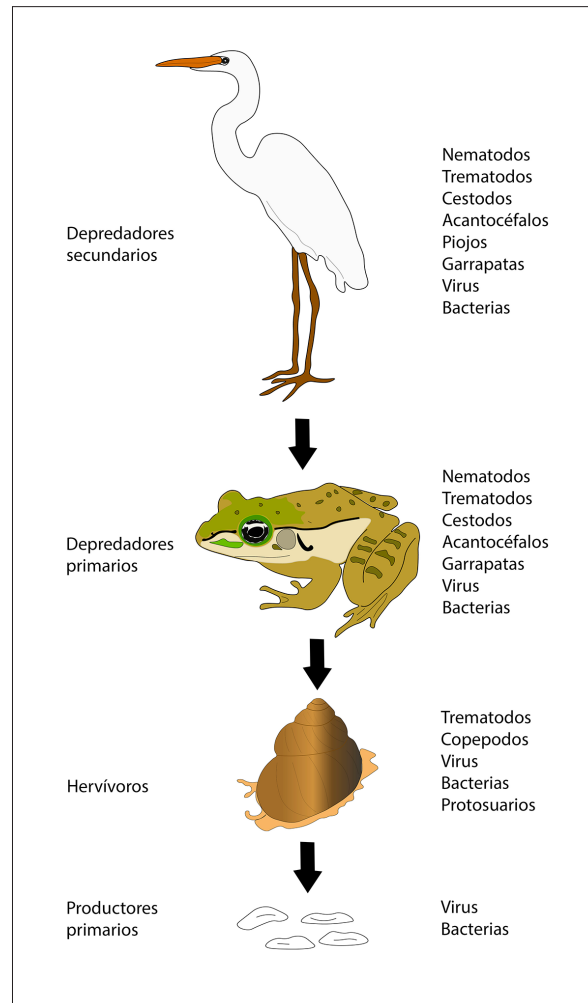


Fuente: Velázquez Urrieta (2022).

Sin embargo, los parásitos han desarrollado estrategias ingeniosas para superar las defensas de sus huéspedes (figura 2, p. 5). Algunos optan por el sigilo: evaden el sistema inmune escondiéndose en sus *puntos ciegos*, como el tejido ocular o el adiposo, donde la vigilancia inmunológica es menor. Otros, más audaces, adoptan tácticas ofensivas liberando sustancias que bloquean o debilitan las respuestas específicas del huésped (Schmid-Hempel, 2009). Así, parásito y huésped libran una guerra armamentista: mientras uno despliega mecanismos de defensa, el otro contraataca con adaptaciones para sobrevivir.

A veces el huésped gana y elimina al invasor; otras, el parásito triunfa, con lo cual asegura que sus descendientes infecten al huésped con mayor facilidad. Este fenómeno, llamado *coevolución*, explica por qué sólo ciertos parásitos logran colonizar huéspedes específicos. Este fenómeno es la esencia de la *hipótesis de la Reina Roja*, que compara la evolución con una carrera constante: *correr para permanecer en el mismo lugar*, lo que la Reina Roja le decía a Alicia en el cuento del País de las Maravillas.

Figura 4
El papel de los parásitos en las redes tróficas



Fuente: elaboración propia.

Así, los parásitos pueden ser expulsados rápidamente, establecer una relación estable o desatar batallas épicas con sus huéspedes, por lo que, la próxima vez que pienses que tu vida es complicada, recuerda el desafío que enfrentan estos maestros de la supervivencia.

Los parásitos en las redes tróficas

Algunos parásitos tienen vidas fascinantes: interactúan con animales de todo tipo y en los ambientes más diversos: lagos, mares y bosques. Su supervivencia depende de saltar de un huésped a otro, muchas veces a través de la cadena alimenticia. Un ejemplo son los trematodos, parásitos que inician su ciclo en pequeños caracoles de agua dulce, pasan a peces

Figura 5
Cercaria, larva de vida libre de trematodos



Fuente: elaboración propia.

cuando éstos los ingieren, continúan en anfibios o peces y terminan en las aves o mamíferos que se alimentan de sus huéspedes anteriores (figura 3, p. 6).

Así, un mismo parásito puede vivir en ecosistemas acuáticos, terrestres y aéreos a lo largo de su vida. Estos pequeños aventureros no sólo demuestran una asombrosa capacidad de adaptación, sino que también cuentan historias sobre las conexiones ocultas entre especies y ambientes. Su travesía revela cómo la naturaleza teje redes complejas, donde hasta el organismo más pequeño puede influir en el equilibrio de un ecosistema (Hudson et al., 2006).

A veces, el parásito no logra pasar de un huésped a otro y muere en el intento, pero en otras ocasiones despliega estrategias de manipulación sorprendentes, como alterar el comportamiento, el color e incluso la movilidad de su víctima para facilitar su transmisión (Thomas et al., 2010), con el fin de mantenerse en el flujo de energía de la red alimenticia.

Un ejemplo fascinante es el trematodo *Dicrocoelium dendriticum*, que infecta el cerebro de las hormigas. Este parásito las obliga a trepar hasta la punta de los pastos y quedarse inmóviles, lo que convierte en un *bocadillo* fácil para los herbívoros, que serán sus próximos huéspedes. Así pues, los parásitos están en todos los niveles de la cadena trófica (figura 4, p. 7), ya que son clave en el equilibrio de los ecosistemas (McLaughlin et al., 2020).

El parásito bioindicador

En esta historia, los protagonistas son los parásitos, pero también los científicos que revelaron uno de los secretos mejor guardados de la naturaleza: que los parásitos, lejos de ser villanos, son piezas clave en los ecosistemas. Uno de esos investigadores fue Harold Manter, parasitólogo de la Universidad de Nebraska, quien en 1966 desafió el rechazo social hacia estas criaturas y demostró algo revolucionario: su papel esencial en el equilibrio del planeta (Manter, 1966).

Aunque muchos ignoraron sus hallazgos, algunos científicos comenzaron a prestarles atención a estos animales y descubrieron que ciertos parásitos funcionan como indicadores contemporáneos de biodiversidad. Esto es particularmente cierto para aquellos con ciclos de vida complejos, que incluyen fases larvarias de vida libre y parasitarias, además de requerir de distintas especies animales para completar su desarrollo.

La presencia o ausencia de estos parásitos en un huésped específico ofrece pistas sobre la ecología de los animales involucrados en su ciclo biológico. Además, algunos son excelentes bioindicadores ambientales. Un ejemplo son las larvas de trematodos, conocidas como *cercarias* (figura 5, p. 8), que tienen un periodo de vida muy corto, de dieciséis a veinticuatro horas en ambientes acuáticos, y que son muy susceptibles a los cambios en el pH y la temperatura del agua, por lo que cualquier cambio en el ambiente puede afectar su supervivencia en el medio natural. De esta forma, la ausencia de estos parásitos puede indicar alteraciones en el ambiente.

Por estas razones, estos pequeños patitos feos se han ganado un título honorífico: el de centinelas de la biodiversidad.

El futuro de los parásitos en la conservación

El sexto evento de extinción masiva nos ha hecho conscientes de que nuestro bienestar personal, social y económico está intrínsecamente ligado al medio ambiente (Brooks et al., 2001), y nuestra existencia depende de éste. Sin embargo, la humanidad suele proteger sólo aquello que considera valioso e ignora e incluso rechaza lo que parece carecer de importancia.

Los parásitos, uno de los grupos más abundantes en los ecosistemas merecen, por su mera presencia, ser incluidos en las agendas de conservación de la biodiversidad. En la actualidad, frente a la acelerada pérdida de flora y fauna, es crucial evaluar la salud de los ecosistemas y la capacidad de las especies para adaptarse a futuros cambios ambientales.

En este sentido, la diversidad de los parásitos y su estrecha relación con distintos huéspedes los convierten en herramientas valiosas para los científicos ambientales. Además, la interacción parásito-huésped es un fenómeno ecológico aún poco explorado que ofrece oportunidades para colaboraciones multidisciplinarias que reúnan a expertos de diversas áreas con el fin de preservar la mayor cantidad de biodiversidad posible. Por ello, es momento de

trabajar juntos para entender, proteger y conservar nuestros ecosistemas, con todos sus habitantes, incluso aquellos que, como los parásitos, han sido tradicionalmente menospreciados.

Conclusión

Los parásitos son un elemento fundamental de la biodiversidad y del ecosistema. Además, pueden brindar información no solo sobre ellos mismos, sino sobre su huésped y sobre el ambiente donde viven. Por lo tanto, son una valiosa herramienta para la conservación que hasta ahora ha sido menospreciada. Es momento de ver la verdadera belleza de los *patitos feos* de la conservación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la M. en C. Gisela Martínez Flores por sus valiosos comentarios al manuscrito.

Referencias

- Brooks, D. R., León-Regagnon, V. y Pérez-Ponce de León, G. (2001). Los parásitos y la biodiversidad. En H. M. Hernández, A. N. García Aldrete, N. Álvarez y M. Ulloa (comps.), *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad* (pp. 245-288). UNAM/FCE. https://books.google.com.mx/books?id=5O1jpX-NoK8C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=o#v=onepage&q&f=false
- Hudson, P. J., Dobson, A. P. y Lafferty, K. D. (2006). Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites? *Trend in Ecology and Evolution*, 21(7), 381-385. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.04.007>
- Johnson, P. T. J., Dobson, A., Lafferty, K. D., Marcogliese, D. J., Memmott, J., Orlofske, S. A., Poulin, R. y Thieltges, D. W. (2010). When parasites become prey: ecological and epidemiological significance of eating parasites. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 362-371. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.005>
- Manter, H. W. (1966). Parasites of fishes as biological indicators of recent and ancient conditions. En J. E. McCauley (ed.), *Host-parasite relationships* (pp. 59-71). Oregon State University Press.
- McLaughlin, J. P., Morton, D. N. y Lafferty, K. D. (2020). Parasites in marine food webs. En D. C. Behringer, B. R. Silliman y K. D. Lafferty (eds.), *Marine disease ecology* (pp. 45-60). Oxford University Press. <http://ebooks.tau.edu.ng:8083/read/3726/pdf>
- Schmid-Hempel, P. (2009). Immune defense, parasite evasion strategies and their relevance for "macroscopic phenomena" such as virulence. *The Royal Society*, 364(1513), 85-98. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0157>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (30 de diciembre de 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. *DOF, DCLXXXVII*(23), Segunda Sección, ed. mat., 1-77. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/1/nom-059-semarnat-2010_30-dic-2010.pdf
- Shaw, R. E., Farquharson, K. A., Bruford, M. W., Coates, D. J., Elliott, C. P., Mergeay, J., Ottewell, K. M., Segelbacher, G., Hoban, S., Hvilsom, C., Pérez-Espona, S., Ruñís, D., Aravanopoulos, F., Bertola, L., Cotrim, H., Cox, K., Cubric-Curik, V., Ekblom, R., Godoy, J. A., ... y Grueber, C. E. (2025). Global meta-analysis shows action is needed to halt genetic diversity loss. *Nature*, 638(8051), 704-710. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08458-x>
- Thomas, F., Poulin, R. y Brodeur, J. (2010). Host manipulation by parasites: a multidimensional phenomenon. *Oikos*, 119(8), 1217-1223. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.18077.x>
- Velázquez Urrieta, M. Y. (2022). *Caracterización del ciclo de vida de trematodos parásitos de anfibios en la selva tropical de Los Tuxtlas, a través de datos morfológicos, y secuencias de genes mitocondriales y nucleares*. [Tesis de doctorado, UNAM]. <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2022/agosto/0828748/Index.html>
- Windsor, D. A. (1997). Equal rights for parasites. *Perspectives in Biology and Medicine*, 40(2), 222-229. <https://doi.org/10.1353/pbm.1997.0011>

ARTÍCULOS

Platanillos: abundancia cultural de la zona tropical de México

Platanillos: cultural abundance of the tropical zone of Mexico

Ariadna Linares-Gabriel

ORCID: 0000-0002-3825-5450, alinares@uv.mx

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (UV)

Mario Alejandro Hernández Chontal

ORCID: 0000-0002-9711-7971, mariohernandez03@uv.mx

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (UV)

Nereida Rodríguez Orozco

ORCID: 0000-0001-8694-5870, nrodriguez@uv.mx

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (UV)

Recepción: 21/05/25. Aceptación: 17/09/25. Publicación: 11/09/26

RESUMEN

En México, la floricultura se puede realizar desde el punto de vista climatológico. Por ejemplo, una planta tropical refleja sus características a partir de la altitud, latitud, temperatura, precipitación, entre otras características. Esto nos lleva a situar al lector dentro de las particularidades emergentes de este tipo de clima, revisando con hincapié los platanillos. Estas plantas muestran valores en lo económico, social, cultural y ambiental, y su uso se observa en arreglos florales, religiosos, alimentos, terapéuticos e incluso como plantas capaces de limpiar aguas grises o contaminadas. Ante esto se invita a explorar sus valores como una nueva forma de realizar una cultura de las flores, considerando la salud humana y la salud de los sistemas productivos.

PALABRAS CLAVE

floricultura tropical, actores sociales, valores múltiples, platanillos

ABSTRACT

In Mexico, floriculture can be practiced based on climatic conditions. For example, a tropical plant's characteristics are shaped by altitude, latitude, temperature, precipitation, etc.; this allows us to introduce the reader to the distinctive features of this type of climate, with a particular focus on platanillos. These plants hold economic, social, cultural, and environmental value; they are used in floral arrangements, religious ceremonies, food, therapy, and even as plants capable of purifying graywater or contaminated water. Given this, we invite you to explore their value as a new way of cultivating a culture of flowers, taking into account both human health and the health of production systems.

KEYWORDS

tropical floriculture, social actors, multiple values, platanillos

Introducción

En las regiones tropicales de México habita, de manera natural, una planta exuberante con flores que ofrecen un uso biocultural. Esta planta brinda protección a la flora y fauna para la regulación del ambiente, así como ingresos a productores, intermediarios y floristas, además de que su uso farmacéutico se ha explorado recientemente: se trata de la heliconia, conocida comúnmente como *platanillos*.

Los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Quintana Roo, Oaxaca y Puebla se han identificado como zonas de cultivo, y su inflorescencia se comercializa como flor de corte, lo que promueve microeconomías en la mayoría de las zonas rurales de esos estados. Este producto florícola alcanza su distribución desde la Ciudad de México, Puebla y Veracruz hasta Guadalajara y Monterrey.

En los estados productores se les llama *platanillos*, *hawaianas*, *falsa ave de paraíso*, y algunos coleccionistas suelen referirse a ellas por su nombre científico. Estas plantas han logrado posicionarse en espacios decorativos, como hoteles, plazas, eventos culturales, floristerías, entre otros. El origen de estos usos radica en las particularidades de sus flores, como su color y su forma poco común.

Los reportes de investigación, que inician a partir del año 2000, han reportado nuevos avances en heliconias desde la parte agronómica, económica, ambiental y sociocultural, lo que supone una mayor exigencia para los futuros investigadores interesados en el tema, para que ésta sea información de impacto en las regiones tropicales de México interesadas en ello. Por lo anterior, el objetivo del presente artículo es mostrar los valores implícitos en la producción y comercialización de los platanillos y validar su importancia en la floricultura mexicana.

Descripción de los platanillos

En terreno, los platanillos se desarrollan de forma invasiva, pues les nacen muchos hijuelos; sus hojas están superpuestas unas en otras, por lo que le dan forma al tallo, y dado que no poseen tallo leñoso se consideran plantas herbáceas.

Las hojas varían de tamaño: desde 0.20 cm de ancho y 0.50 cm de largo en promedio, hasta 0.40 cm de ancho y 1.60 m de largo en promedio. Sus tonalidades varían de acuerdo con las condiciones nutricionales, por ejemplo, las hojas abarcan desde color amarillo hasta el verde oscuro, lo cual significa que se trata de una planta vigorosa y de buena salud. La mayoría de las plantas cuenta con cinco hojas en promedio.

Las heliconias tienen tres tipos de apariencia según su altura: porte alto (hasta diez metros), porte medio (de dos a cinco metros) y porte bajo (de 0.45 cm hasta dos metros); dependiendo de la altura variará el tamaño de los tallos florales, el diámetro del tallo y el tamaño de las flores.

Figura 1

***Heliconia bihai* de porte medio y de forma erecta en un solo plano**



Fuente: elaboración propia (17 de diciembre de 2024), Coapichapan, Fortín, Veracruz.

Las flores de estas plantas en realidad son pequeñas; lo que visualizamos en colores y formas se denomina *brácteas*. Por la forma de las flores (brácteas) se dice que las hay erectas en espiral, erectas en un solo plano, colgantes, colgantes en espiral y colgantes en un solo plano. Otra característica son las vellosidades, que se expresan en tallos, hojas y flores. En cuanto a la supervivencia, las heliconias brindan protección y retención de humedad (figura 1).

Las condiciones distinguen a estos sistemas con climas tropicales por una temperatura promedio anual superior a los 18 °C, generalmente altas precipitaciones anuales y, por ende, alta humedad, las cuales producen ejemplares con formas muy particulares en flores y follaje (Paiva y Beckmann-Cavalcante, 2023). El color y la forma de las inflorescencias son los principales atractivos para una amplia variedad de visitantes florales, como abejas, moscas, murciélagos, escarabajos y colibríes (Méndez-Rojas et al., 2024).

Algo muy curioso de los platanillos es que sus principales polinizadores son los colibríes, debido a que se trata de su principal fuente de alimento, lo cual se debe a la coincidencia entre el pico de estas aves y la forma de las flores. Esta asociación mutualista favorece la reproducción

sexual de las heliconias y satisface los requerimientos energéticos de los colibríes (Méndez-Rojas et al., 2024). Otros polinizadores son los murciélagos, los cuales se alimentan por las noches para asegurar su alimento. Juntos, estos polinizadores garantizan la fertilización y emisión de semillas de las heliconias.

Los platanillos tienen la capacidad de hospedar insectos benefactores para el equilibrio del ambiente en el que se desarrollan. Algunos de ellos son las hormigas, las cuales extraen el jugo de los tallos con secreciones dulces. Mariquitas, abejas, mantis y algunos escarabajos también se encargan de mantener la salud del ecosistema. Sin embargo, aún se desconocen ciertos aspectos de las funciones que estas especies desempeñan y por qué es crucial priorizar esfuerzos de conservación en los hábitats para garantizar su supervivencia.

Algunos insectos herbívoros, que se conocen como detritívoros, consumen partes frescas de estas plantas, como flores, brácteas y hojas, mientras que otros se alimentan de las partes más viejas y descompuestas. Asimismo, algunos invertebrados, como las arañas, actúan como depredadores, al cazar otras especies de insectos y crear así un ambiente complejo de interacciones en la planta (Méndez-Rojas et al., 2024).

Propagación

Existen tres formas de reproducción en heliconias: por semilla, por hijuelo (mata o bulbo) y por cultivo de tejidos vegetales. La reproducción por semilla es la más tardada, ya que puede requerir hasta cinco años después de la siembra, lo cual se debe a la dureza de la capa de las semillas. Por ello, la mayoría de los productores no recurre a este método.

La reproducción por medio de matas es más fácil para productores y viveristas, debido a que el tiempo de la emisión del brote oscila entre treinta y 45 días como máximo. Lo anterior justifica que éste sea el método de reproducción más adecuado y utilizado.

En cuanto a los medios biotecnológicos, se han desarrollado protocolos para la germinación, así como para la obtención de organogénesis directa y embriogénesis somática (Gómez-Merino et al., 2018; Hernández-Meneses et al., 2018; Hernández-Meneses et al., 2022). En cultivo de tejidos, el tiempo aproximado es de hasta once semanas para obtener una plántula en buen estado; después de esta etapa, las plántulas se trasladan a condiciones de aclimatación, donde se logra hasta un 70% de sobrevivencia. No obstante, la investigación es muy incipiente, además de que la propagación por este medio resulta muy costosa.

Cuidados en el cultivo de platanillos

En condiciones agroforestales, las heliconias tienen un mejor crecimiento y desarrollo cuando están en convivencia con otras especies, por ejemplo, árboles forestales, café, frutales, plantas comestibles, entre otros. Esto se traduce en una buena salud del sistema, ya que en estos ambientes cuentan con sombra apropiada.

Figura 2
***Heliconia wagneriana* en sistema agroforestal**



Fuente: elaboración propia (26 de abril de 2025), Coapichapan, Fortín, Veracruz.

La mayoría de los productores no las fertilizan ni les aplican insumos tóxicos para el control de plagas o enfermedades. En cambio, se realizan labores culturales para controlar el crecimiento, como limpieza y poda. Las dimensiones del lugar donde se localizan es de aproximadamente 150 m², en conjunto con las demás flores y follajes tropicales (figura 2).

Además de los sistemas agroforestales, los sembradíos a campo abierto o en viveros son otra forma de producción de los platanillos. Por lo tanto, el manejo productivo cambia.

En campo abierto se cultiva un máximo de cinco hectáreas. El manejo del cultivo implica labores culturales de limpieza de terreno, labranza, siembra de matas —de tres a cinco hijuelos/bulbo—, y en algunos casos se realizan labores de desinfección, fertilización, riego y control de plagas y enfermedades. Las plagas que más afectan los cultivos son las hormigas y los saltamontes, cuya aparición ocurre cuando los platanillos se siembran sin ninguna interacción con otras especies. Como consecuencia, aumenta la cantidad de fertilizante nitrogenado requerido.

Figura 3
Tallos florales de *Heliconia bihai* para su venta en la central de abasto de la Ciudad de México



Fuente: fotografía de Aram Trujillo Terrazas, productor y comercializador en Coapichapan, Fortín, Veracruz (9 de julio de 2024).

En condiciones de vivero, las dimensiones de los cultivos abarcan hasta 250 m² y, a diferencia del sistema anterior, hay un mayor control. Para la siembra se utiliza tierra rica en materia orgánica. En algunos casos se planta uno o dos hijuelos previamente desinfectados en macetas o bolsas, y el riego se lleva a cabo por aspersión manual, con frecuencias de cinco veces por semana en temporada de calor.

En cuanto a la fertilización, se requieren desde cien hasta cuatrocientos gramos de fertilizantes nitrogenados por maceta al mes, y algunos productores han implementado el uso de fertilizantes orgánicos para aplicarlos por vía foliar o directamente al suelo. La cantidad de sombra que requieren estas plantas es de aproximadamente 40%, por lo que se utiliza malla-sombra con ese porcentaje, lo cual mejora la producción. En este tipo de manejo se recurre a insumos para el control de plagas y enfermedades sólo si el daño es grave. La tendencia entre los viveristas que producen heliconias es reducir el uso de estos productos.

Importancia comercial

Los floristas agregan como elemento adicional una o dos flores de platanillos en arreglos florales, por lo cual se sugiere retomar el potencial de los follajes y crear conceptos de arreglos florales tropicales con heliconias, ya que esto incrementaría su precio e incide en la segmentación del mercado.

Para su uso en florerías, el tamaño del tallo comercial es de aproximadamente 1.50 m, independientemente del tamaño y el tipo de heliconia. En cuanto al transporte, se sugiere que las medidas específicas de la caja a utilizar sean de 152 x 30 x 30 cm (largo, ancho y alto).

Para conservar la vida de anaquel (florero) se recomienda maquillar los tallos florales con aceite mineral y realizar un manejo en seco, es decir, no utilizar agua. Esto permite asegurar la vida útil de los ejemplares hasta treinta días con aspecto comercial.

Los precios de este producto varían si se trata de un tallo floral, un arreglo o un camote (planta pequeña o hijuelo). Por ejemplo, una planta puede costar hasta quinientos pesos, cantidad que varía de acuerdo con el tipo de heliconia; un hijuelo, hasta tres pesos, y un tallo floral en campo va de tres a diez pesos, si bien este mismo en la florería puede tener un precio de hasta treinta pesos. Los precios de los arreglos florales pueden alcanzar hasta \$1,500 pesos (figura 3, p. 6).

En ocasiones una sola flor de heliconia logra embellecer los espacios, como en los hoteles, donde se usan para darle personalidad al concepto del lugar, además de que representan una atracción para los visitantes y turistas. Los municipios que son destinos de turismo rural pueden ofrecer experiencias en el corte de flores, la elaboración de diseños florales o recorridos por los cultivos para el disfrute de la naturaleza, además de la posibilidad de adquirir las flores directamente en el lugar y llevarlas consigo en su viaje de regreso, lo que contribuye a la promoción de las regiones tropicales donde se producen estas plantas (Baltazar-Bernal et al., 2018).

Las formas de comercialización más comunes de las heliconias son en campo y en las centrales de abasto, desde donde se distribuyen hacia las florerías, mediante el envío por paquetería o a través de intermediarios; en este caso, el precio por unidad puede abarcar desde quince hasta veinte pesos. Este último sistema de venta requiere el lavado y la desinfección de los tallos florales. Los medios de publicidad más utilizados por los vendedores son las publicaciones en redes sociales —facebook, instagram—, así como a través de mensajería directa instantánea —whatsapp— con contactos personales.

Por lo anterior, se han identificado diferentes actores comercializadores de los platanillos: productores, coleccionistas-productores e intermediarios-productores. No obstante, se enfatiza la ausencia de información oficial y la incipiente información científica sobre el cultivo y comercialización de heliconias, a pesar de que existe un mercado que demanda este tipo de flores y que el cultivo es utilizado por los productores como una alternativa para la

obtención de ingresos, los cuales complementan los que obtienen por sus cultivos principales (Linares-Gabriel et al., 2023).

Uso biocultural

El cultivo de plantas ornamentales implica la ciencia y el arte de criar, propagar y mantener plantas para mejorar el entorno humano y natural (Cardoso y Vendrame, 2022). En ese sentido, la riqueza natural de estas flores es aprovechada en comunidades rurales, donde los conocimientos tradicionales permean y se visualizan en las actividades religiosas, por ejemplo, en la decoración de los arcos a la entrada de las localidades. Asimismo, son utilizadas para otras festividades, como el Día de los Fieles Difuntos, la Navidad, así como en eventos sociales.

Lo anterior fomenta la participación de personas externas a esas localidades y regiones, lo que atrae el turismo a través de esta identidad tropical. Así se difunde la existencia y los usos de estas flores, que casi siempre son desconocidas fuera de estos lugares. Adicionalmente, en estas comunidades, los conocedores de los platanillos utilizan las hojas de la planta para la elaboración de platillos regionales, por ejemplo, como envoltorio para tamales (muy utilizado en México) y quesos, o para la cocción de algunos platillos (huevos).

Otros usos pocos mencionados se dan en la medicina tradicional donde, por ejemplo, se utiliza el jugo del tallo como inhibidor para la mordedura de serpiente. Las personas conocedoras de estas plantas cuentan con conocimientos ancestrales de estos usos, sin embargo, desde la ciencia sólo se dispone de estudios preliminares. De esta forma, el entorno social va acompañado del potencial natural de estas flores, lo que hace que la actividad florícola tropical con heliconas fomente la conservación de la biodiversidad de estas plantas y de la flora y fauna que las acompaña, así como el desarrollo sustentable y la capacidad de adaptación de los sistemas socioecológicos.

El uso de heliconias nativas en el paisajismo es crucial para garantizar su conservación. En México, ocho de las veintún heliconias endémicas, junto con veinte especies introducidas de plantas pequeñas y medianas, se utilizan con este propósito (Baltazar-Bernal, 2024). Es así como la floricultura tropical se convierte en un excelente complemento del turismo rural, lo que la convierte en una fuente adicional de ingresos económicos en el medio (Baltazar-Bernal, 2018). Por ello se hace énfasis en el papel que desempeñan los actores sociales involucrados, pues demuestran que no hay una linealidad en la comercialización de heliconias; más bien existe una diversidad de conocimientos y estrategias, generadores a su vez de una cadena de negociaciones que impacta en diferentes territorios (Linares-Gabriel et al., 2022).

Tendencias

Algo interesante de las heliconias es que protegen las fuentes de agua, ya que actúan como limpiadoras de aguas contaminadas, proceso al que se le denomina *fitorremediación*. Se trata de una tecnología sustentable que utiliza el potencial de las plantas para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos, el cual involucra diversas tecnologías para la descontaminación, según el tipo de contaminante en los sistemas y la capacidad de las plantas utilizadas (Mendarte-Alquisira et al., 2021).

Algunos estudios previos han identificado el potencial de las heliconias en comunidades rurales, cuya ventaja no sólo radica en la producción de flores sino también en que constituye una alternativa económica para las familias que recurren a soluciones basadas en la naturaleza frente a los desafíos ambientales. Por ejemplo, el uso de *Heliconia latispatha* como vegetación favorece la eliminación de contaminantes en humedales construidos (de flujo vertical), así como el tratamiento de aguas residuales municipales y aquellas provenientes de las granjas porcinas (Fernández Viveros et al., 2022).

Otros usos de los platanillos son su apreciación en jardines con fines terapéuticos y de relajación, actividades en las que también se potencializa el turismo, el paisajismo y la enseñanza ambiental. Un ejemplo de ello es el proyecto socioecológico Heliconias, cuya misión consiste en restaurar casas comunes desde una perspectiva antropoecológica. Los ejes transversales de esta propuesta son la ecología y la humanización, y se inspira en la belleza de esta especie y en sus beneficios ecoamigables (Rivas, 2019). Lo anterior demuestra que, con este tipo de propuestas, la floricultura tropical aporta otros conceptos de floricultura, frente a los cuestionamientos a la industria florícola por sus impactos negativos en el ambiente y la salud humana (Linares-Gabriel et al., 2025).

Conclusiones

La estética basada en heliconias genera un atractivo para los espectadores, pero además aporta ventajas para los polinizadores; colores, formas y tamaños; capacidad de fitorremediación; conservación de micro y macrofauna; ventajas medicinales, así como el uso simbólico que ofrece una identidad a los actores sociales y que favorecen la dinámica económica de las regiones tropicales. Los usos de la naturaleza transformada en mercancía dan pauta para repensar el posicionamiento de este tipo de plantas dentro de la floricultura nacional, si bien en México aún falta mucho por hacer en este rubro desde los ámbitos de la ciencia, los territorios y las políticas públicas.

Referencias

- Baltazar-Bernal, O. (2024). Heliconias (Heliconiaceae) in rural landscapes. *Agro Productividad*, (VII), 105-114. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i7.2745>
- Baltazar-Bernal, O., Zavala-Ruiz, J., Gaytán-Acuña, E. A., Caamal-Velázquez, J. H. y Humberto, J. (2018). La floricultura tropical: un complemento del turismo rural en la zona centro del estado de Veracruz, México. *Agro Productividad*, 11(8), 27-32. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1093>
- Cardoso, J. C. y Vendrame, W. A. (2022). Innovation in propagation and cultivation of ornamental plants. *Horticulturae*, 8(3), 1-4. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030229>
- Fernández Viveros, J. A., Martínez-Reséndiz, G., Zurita, F., Marín-Muñiz, J. L., López Méndez, M. C., Zamora, S. y Sandoval Herazo, L. C. (2022). Partially Saturated Vertical Constructed Wetlands and Free-Flow Vertical Constructed Wetlands for Pilot-Scale Municipal/ Swine Wastewater Treatment Using *Heliconia latispatha*. *Water*, 14(23), 1-23. <https://doi.org/10.3390/w14233860>
- Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., García-Albarado, J. C. y Pérez-Sato, J. A. (2018). Diversity, distribution and propagation of heliconias. *Agroproductividad*, 11(8), 33-40. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1094>
- Hernández-Meneses, E., López-Peralta, M. C. G. y Estrada-Luna, A. A. (2018). Micropropagación de tres especies de heliconia de interés comercial en México vía organogénesis directa. *Revista Bio Ciencias*, 5, 1-16. <https://doi.org/10.15741/revbio.05.e487>
- Hernández-Meneses, E., López-Peralta, M. C. G., Estrada-Luna, A. A. y Valdovinos-Ponce, G. (2022). Embriogénesis somática en *Heliconia collinsiana* Griggs. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 333-340. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.333>
- Linares-Gabriel, A., Gallardo-López, F., Villarreal, M. y Hernández-Chontal, M. A. (2022). Heliconias: un entramado de interpretaciones de valor entre gente y objetos. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 43, 1-29. <https://www.researchgate.net/publication/365682708>
- Linares-Gabriel, A., Hernández-Chontal, M. A. y Rodríguez-Orozco, N. (2025). *Heliconia* spp.: Breeding Impacts of Tropical Floriculture on Flower Industry. En J. M. Al-Khayri, S. Mohan Jain y M. Ahmad Wani (eds.), *Breeding of Ornamental Crops: Annuals and Cut Flowers* (pp. 573-590). Springer Nature. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-78653-2_18
- Linares-Gabriel, A., Orozco Rodríguez, N. y Hernández-Chontal, M. A. (2023). Scientific contributions in Heliconias cultivation in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4446>

- Mendarte-Alquisira, C., Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. (2021). Fitorremediación: alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-15. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.326>
- Méndez-Rojas, D. M., Lobato-García, J. M. y Malvido-Benítez, J. (2024). Heliconias: de plantas ornamentales a pequeños microhábitats dentro de las selvas tropicales. *Revista Digital Universitaria*, 25(2), 1-10. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2024.25.2.2>
- Paiva, P. y Beckmann-Cavalcante, M. Z. (2023). What does Tropical and Subtropical Plant mean? *Ornamental Horticulture*, 29(2), 122-123. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v29i2.2656>
- Rivas, R. A. (2019). Heliconias: un proyecto antropoecológico. *Revista de Museología "Kóot"*, 9(10), 16-29. <https://doi.org/10.5377/koot.voio.6697>

ARTÍCULOS

Comportamientos sustentables en estudiantes de primaria

Sustainable behaviors in elementary school students

María Guadalupe Martínez Treviño

ORCID: 0009-0009-8282-8576, mgmtrevino@docentes.uat.edu.mx

Unidad Académica Multidisciplinaria Matamoros,
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Luisa Porfiria Chávez Barrera

ORCID: 0009-0003-2690-2619, lpchavez@docentes.uat.edu.mx

Unidad Académica Multidisciplinaria Matamoros,
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Yolanda Velázquez Narváez

ORCID: 0000-0001-5591-8474, yovelazquez@docentes.uat.edu.mx

Unidad Académica Multidisciplinaria Matamoros,
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Recepción: 29/04/25. Aceptación: 23/09/25. Publicación: 06/07/26

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la prevalencia de los comportamientos sustentables en estudiantes de primaria alta (cuarto, quinto y sexto grado). La muestra se integró por 270 alumnos de una escuela primaria pública situada en la ciudad de Matamoros, Tamaulipas, México. Los resultados mostraron que los niños están interesados, dispuestos y atentos a lo que ocurre con el planeta; no obstante, esto no siempre se traduce en acciones concretas. Se concluye que un factor clave sobre las conductas ambientales de los niños es el profesor de aula, el cual debe recibir las herramientas adecuadas desde su formación profesional para transformar esa inquietud en un compromiso real.

PALABRAS CLAVE

comportamiento sustentable, educación ambiental,
estudiantes de primaria

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the prevalence of sustainable behaviors in upper elementary school students. The sample was made up of 270 students from fourth, fifth and sixth grade of a public elementary school located in the city of Matamoros, Tamaulipas, Mexico. The results showed that children are interested, willing and attentive to what is happening to the planet. However, this does not always translate into concrete actions. It is concluded that a key factor in children's environmental behaviors is the classroom teacher, who must receive the appropriate tools from their professional training to transform this concern into a real commitment.

KEYWORDS

sustainable behavior, environmental education,
elementary school students

Introducción

El presente estudio parte de la problemática que se vive a nivel mundial en cuanto a la carencia de comportamientos sustentables, ya que esto conlleva un impacto negativo en el ambiente ante el uso desmedido de los recursos naturales, de manera que repercute en la calidad de vida tanto del ser humano como de las diversas especies que habitan en el planeta.

En el informe *Rumbo a estilos de vida sostenibles: curso de acción para el desarrollo de un consumo responsable en México al 2030* se señala que, para México, debe haber una adopción de estilos de vida que sean amigables con el entorno como eje del bienestar. Para ello es imprescindible la orientación hacia el mismo objetivo de los diferentes sectores de la sociedad que pudieran influir en la toma de decisiones al momento de adquirir o utilizar algún servicio, por medio de la apertura de espacios de reflexión acerca del impacto de nuestras acciones sobre el medio ambiente (Arroyo-Currás, 2020). Por ello es que, a través de la Agenda 2030, el Gobierno de México adquiere el compromiso de cumplir con los objetivos específicos para el desarrollo sostenible establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) (*Diario Oficial de la Federación* [DOF], 2019).

El comportamiento sustentable se constituye de dimensiones que son indicadores observables, por lo cual se puede decir que se trata de un proceso que implica acciones específicas y explícitas sobre la gestión de los recursos naturales a través de servicios municipales y de la construcción de una comunidad sostenible (Bustos-Aguayo et al., 2019).

Debe entenderse, por lo tanto, que la conducta sustentable es el comportamiento de cuidado hacia el ambiente físico y social, que puede influir de manera positiva sobre el bienestar, la satisfacción y la felicidad de los seres humanos. No obstante, puede observarse aún resistencia por parte de los individuos para involucrarse en acciones para el cuidado ambiental (Corral Verdugo et al., 2020).

En este sentido, la forma más efectiva de lograr que los adultos se involucren en esas acciones es a través de la educación y concienciación desde la infancia. La conciencia mental en los niños constituye una base indispensable para que puedan desarrollar comportamientos sustentables, debido a que los niños que logran comprender la importancia de proteger el medio ambiente y que tienen la motivación de participar en actividades proambientales tienden a ser más propensos a adoptar prácticas que contribuyan a la sostenibilidad, por ejemplo, el reciclaje, el uso eficiente de recursos y la participación en actividades de conservación (Romero Collantes y Medina Corcuera, 2021).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2024) considera que la educación para el desarrollo sostenible (EDS) es clave para avanzar en los objetivos de desarrollo a nivel mundial, ya que su finalidad es dotar a las personas de todas las edades de las competencias, conocimientos y capacidades para hacer frente a distintos problemas, como el cambio climático, el uso excesivo de recursos y la desigualdad, lo

cual repercute en el bienestar tanto de las personas como del planeta. Por ello aboga por un aprendizaje cognitivo, socioemocional y conductual, como una estrategia en la educación que abarca lo que se aprende, cómo se aprende y el entorno en el que se aprende.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020) ha constatado que existe un aumento del estrés ambiental, en donde se encuentran presentes alteraciones ecosistémicas, y que el cambio climático se está manifestando antes de lo que se tenía previsto, por lo que se tiene que asumir de manera inevitable que el mundo está en un cambio profundo a una velocidad sin precedentes. Esto requiere de un proceso de reflexión y análisis, además de una investigación que respalde las mejores decisiones que se deban tomar y qué acciones se deben elegir para poder actuar de una manera efectiva. A partir de este panorama se hace necesario combatir la crisis latinoamericana a través de la modificación de la visión medioambiental desde las políticas culturales, económicas y sociales de las naciones.

En México, tanto la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como la Secretaría de Educación Pública (SEP) han apostado por la educación sobre el medio ambiente como impulsora de una conducta sustentable positiva, mediante la formación del individuo para que pueda lograr una relación armónica con el entorno natural, así como entender y conocer el papel que desempeña en la transformación de la sociedad para mejorar la calidad de vida (SEP, 2021). La educación ambiental se refiere al proceso educativo que busca aumentar el conocimiento y la comprensión sobre los procesos cognitivos, así como fomentar actitudes y comportamientos responsables hacia el entorno (Romero Collantes y Medina Corcuera, 2021).

Por lo tanto, la educación ambiental se ha convertido en una prioridad en diferentes modelos educativos, si se tiene en cuenta que uno de los objetivos a cumplir a nivel mundial es la preservación de la vida en el planeta. Por ello, en el marco de la EDS para el 2030, una de las metas planteadas es que todos los alumnos puedan adquirir los conocimientos necesarios, tanto teóricos como prácticos, para poder promover el desarrollo sostenible y estilos de vida también sostenibles (UNESCO, 2020).

De igual forma, otros países han adoptado propuestas de actividades que se añaden a las asignaturas, como la de ciencias naturales, con la finalidad de reforzar la educación ambiental en estudiantes de primaria, cuyo propósito es favorecer la formación y que los niños desarrollen sus capacidades y adquieran habilidades para proteger el medio ambiente (Rodríguez et al., 2020). Sin embargo en México, a partir de la actualización de contenidos para nivel primaria, los aspectos medioambientales y de desarrollo sostenible quedaron inmersos en cuatro campos formativos, de acuerdo con la Nueva Escuela Mexicana (NEM): Lenguajes; Saberes y Pensamiento Científico; Ética, Naturaleza y Sociedades, y De lo Humano y lo Comunitario (SEP, 2020). Estos campos comprenden el desarrollo de actividades y proyectos de aprendizaje donde se busca compaginar lo que se aprende en el aula con su aplicación en la vida cotidiana.

No obstante, es importante considerar que, para el desarrollo de esos proyectos, un factor importante es el docente, ya que puede determinar la profundidad y el alcance de las actividades. Esto probablemente sea influenciado por su perfil o el interés personal en la protección del ambiente, ya que la formación inicial del profesorado y su sensibilización ante los problemas ecológicos determinan en gran medida el enfoque y la efectividad de la enseñanza ambiental en el aula (López-Fernández y Oller Freixa, 2019).

Los niños tienen una percepción sobre el medio ambiente en el entorno en el que viven que está relacionada con el interés y la sensibilidad del profesor hacia los problemas ambientales, por lo que se vuelve necesario apoyar a los profesores para que puedan realizar una planeación, así como la revisión de los programas de estudio que estén enfocados en las necesidades de su entorno (Pineda Jiménez et al., 2018).

Las últimas investigaciones han explorado la profundidad del concepto que se tiene sobre los comportamientos sustentables en los niños, abarcando dimensiones cognitivas, afectivas y conductuales que influyen en la manera en que los menores se relacionan con su entorno (Barrera-Hernández et al., 2020). Estas conductas no sólo se basan en el conocimiento ambiental adquirido, sino que también dependen del vínculo emocional con la naturaleza y de la percepción de autoeficacia para actuar de forma proambiental. Por lo tanto, la educación en la materia a nivel primaria ha demostrado ser crucial para fomentar hábitos sostenibles, específicamente cuando se aplica a través de metodologías activas y experiencias prácticas con el entorno (Ardoín et al., 2020).

No obstante, la discrepancia entre lo que los alumnos conocen y lo que realmente llevan a cabo sigue siendo un reto mundial que pone de manifiesto la urgencia de realizar intervenciones educativas más integrales y adaptadas al contexto (Monroe et al., 2019). En este escenario, el papel del docente como mediador es clave, ya que puede potenciar o restringir la adopción de prácticas sostenibles, de acuerdo con su formación, motivación y acceso a recursos pedagógicos especializados (Özden, 2008).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación es identificar la prevalencia de los comportamientos sustentables en niños de primaria alta, comprendida por cuarto, quinto y sexto grado, y si existen diferencias por grado escolar. Con esto se pretende contar con información que sirva de punto de partida para proponer estrategias enfocadas a incidir en el desarrollo de las conductas sustentables en este nivel educativo.

Metodología

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, transversal y descriptivo. La muestra estuvo conformada por un total de 270 alumnos del turno matutino, pertenecientes a una escuela primaria del sector público ubicada al sur de la ciudad de Matamoros, en el estado de Tamaulipas, México. Los participantes fueron

seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que la investigación se centró en una población accesible y dispuesta a participar en el estudio. Se incluyeron estudiantes de los grados cuarto, quinto y sexto, correspondientes al nivel de primaria alta.

Para la medición de las dimensiones que conforman los comportamientos sustentables en los niños se utilizó el instrumento de Mazadiego Infante (2012), el cual consta de veintitrés ítems estructurados bajo una escala tipo Likert de cuatro puntos (1 = No, 2 = Un poco, 3 = Más o menos, 4 = Sí). Este cuestionario evalúa prácticas relacionadas con el cuidado del medio ambiente, como el ahorro de agua y energía, la separación de residuos, la participación en actividades de protección ambiental y la percepción sobre problemas ecológicos globales. Se validó en quince estudios más sobre comportamiento sustentable con estudiantes de educación básica y educación media superior en escuelas de Poza Rica, Gutiérrez Zamora y Cazones, todas entidades de Veracruz, así como una comunidad denominada Venustiano Carranza, en Puebla.

El proceso de recolección de datos se realizó de manera presencial en las instalaciones de la escuela primaria. Inicialmente se dio una explicación grupal a los niños para ejemplificar la selección de respuestas, donde se puso énfasis en que no había respuestas correctas o incorrectas, para promover la confianza y honestidad al responder. Posteriormente, se distribuyeron los cuestionarios y los estudiantes dispusieron de un tiempo estimado de quince a veinte minutos para completarlo. Durante la aplicación se dio apoyo directo a los estudiantes que lo requerían.

Además, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas a nueve profesores que dan clases en los grados que se incluyeron en la muestra. El perfil de los docentes entrevistados abarcó edades que iban de los treinta a los 54 años, con un mínimo de cinco años de servicio docente. En cuanto a su formación académica, todos contaban con licenciatura en educación primaria. Las entrevistas abordaron tres ejes: 1) percepciones sobre los resultados de los estudiantes; 2) factores que consideran que influyen en la adopción de comportamientos sustentables, y 3) sugerencias para fortalecer las prácticas ambientales escolares. Estos datos cualitativos facilitaron la identificación de posibles variables contextuales y pedagógicas que influyen en los comportamientos observados (Álvarez-García et al., 2015).

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el programa estadístico SPSS, versión 24. Se realizaron análisis descriptivos para determinar la media, desviación estándar, asimetría y curtosis de los puntajes obtenidos en cada grupo escolar. Además, se hizo una exploración de las frecuencias y distribuciones de respuestas con la finalidad de identificar patrones en las dimensiones de los comportamientos sustentables y verificar la existencia de posibles sesgos en la distribución de los datos. Los análisis tuvieron un enfoque en cuatro dimensiones principales: 1) conocimiento sobre el cambio climático; 2) reutilización de recursos; 3) cultura ambiental, y 4) prevención y protección del ambiente. Los resultados obtenidos nos permitieron

Tabla 1
Caracterización de la muestra

Caracterización	Frecuencia (f)	Porcentaje (%)
<i>Edad</i>		
8	41	15.7
9	82	31.4
10	83	31.8
11	53	20.3
12	1	.4
<i>Grado</i>		
Cuarto	102	39.1
Quinto	80	30.7
Sexto	78	29.9
<i>Genero</i>		
Niño	136	52.1
Niña	123	47.1

Fuente: elaboración propia.

identificar tendencias en la percepción y aplicación de prácticas sustentables en los estudiantes de cuarto, quinto y sexto grado de primaria.

Para evaluar diferencias significativas entre los grados escolares se utilizó la prueba M de Huber, un método de pruebas robusto que ayudó a estimar las medias de cada dimensión del comportamiento ambiental, minimizando el impacto de valores atípicos y posibles desviaciones de la normalidad en la distribución de los datos. Esta prueba se seleccionó por su capacidad para proporcionar estimaciones más estables en presencia de datos no paramétricos o distribuciones con colas pesadas.

Tras confirmar la existencia de diferencias significativas mediante la prueba M de Huber, se aplicaron pruebas *post hoc* para identificar en qué pares de grupos se presentaban esas diferencias. En los casos en los que se cumplió la homogeneidad de variaciones (verificada mediante la prueba de Levene), se utilizó la prueba HSD de Tukey. Para los casos donde esta suposición no se cumplió, se aplicó la prueba de Games-Howell, que es más adecuada para grupos con variaciones desiguales.

Resultados

Los estudiantes de nivel primaria se caracterizaron de la siguiente manera: la mayoría tenía entre nueve y diez años, con una edad promedio concentrada entre los ocho y once años. En cuanto al grado escolar, participaron principalmente alumnos de cuarto grado (39.1%), seguidos de los de quinto (30.7%) y sexto (29.9%). Respecto al género, la distribución fue equilibrada: 52.1% niños y 47.1% niñas (tabla 1).

Tabla 2
Comportamientos sustentables por nivel

Nivel de comportamientos sustentables	Frecuencia (f)	Porcentaje (%)
Alto	5	1.9
Medio	38	14.6
Bajo	175	67.0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3
Análisis por ítems temáticos:
Comportamientos ambientales positivos (acciones concretas)

ítem	Media	Mediana	Frecuencia del comportamiento
Participo en la prevención y protección del ambiente	2.93	3.00	Moderado
Cuido el agua	3.53	4.00	Alto
Soy respetuoso con el medio ambiente	3.53	4.00	Alto
Separo la basura orgánica e inorgánica	2.80	3.00	Medio-bajo
Apago la luz cuando no la ocupo	3.53	4.00	Alto
Contribuyo a juntar botellas de plástico	3.08	4.00	Medio-alto
Contribuyo a reunir aceite usado	2.54	3.00	Medio-bajo
Oriento a mis amistades sobre el ambiente	3.16	4.00	Alto
Me siento parte del cuidado ambiental	3.18	4.00	Alto
Cuido el ambiente con mi familia	3.07	4.00	Alto
Participo por una cultura ambiental en mi comunidad	2.91	3.00	Medio

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la clasificación de los comportamientos sustentables en los alumnos para conocer cómo practican acciones relacionadas con el cuidado del medio ambiente, se obtuvieron tres niveles: nivel bajo, nivel medio y nivel alto. Los resultados se muestran en la tabla 2.

- Nivel bajo: Sólo un pequeño grupo de estudiantes, el 1.9%, tiene un comportamiento sustentable bajo. Esto significa que pocos alumnos están haciendo pocas o casi ninguna acción relacionada con el cuidado del medio ambiente.
- Nivel medio: Un grupo más grande, el 14.6%, tiene un comportamiento sustentable medio. Esto indica que algunos alumnos están aprendiendo y haciendo cosas para cuidar el ambiente, pero no de manera constante o completa.
- Nivel alto: La mayor parte de los estudiantes, el 67%, tiene un comportamiento sustentable alto. Esto quiere decir que la mayoría de los alumnos están comprometidos con el cuidado del medio ambiente y realizan muchas acciones responsables.

Tabla 4
Análisis por ítems temáticos:
Comportamientos negativos o indiferencia

ítem	Media	Mediana	Frecuencia del comportamiento
En casa tiran el aceite usado	2.46	2.00	Leve
Dejo la basura donde sea	1.58	1.00	Muy bajo (positivo)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5
Análisis por ítems temáticos:
Creencias sobre problemas ambientales globales

ítem	Media	Mediana	Frecuencia del comportamiento
El cambio climático será un problema para todos	2.60	3.00	Moderado
El cambio climático afectará plantas y animales	3.20	4.00	Alto
La pérdida de bosques será un problema	3.18	4.00	Alto
La contaminación por tóxicos será un problema	3.49	4.00	Alto

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6
Análisis por ítems temáticos:
Sentido de responsabilidad personal

ítem	Media	Mediana	Frecuencia del comportamiento
Me siento obligado a prevenir el cambio climático	2.65	3.00	Moderado
Me siento obligado a detener las sustancias tóxicas	2.93	3.50	Moderado
Me siento obligado a prevenir la pérdida de especies	2.98	4.00	Moderado-alto
Me siento obligado a detener el deterioro del suelo	2.62	3.00	Moderado

Fuente: elaboración propia.

En total, el 81.6% de los estudiantes tiene un comportamiento sustentable de nivel medio o alto, lo que demuestra que, aunque aún están aprendiendo, la mayoría ya está adoptando buenas prácticas para cuidar el planeta (tabla 4).

Posteriormente se realizó un análisis por ítems para conocer de manera concreta las respuestas de los estudiantes, lo que nos permitió valorar el grado de interiorización y práctica de comportamientos sustentables, así como conocer lo que piensan, sienten y hacen.

Los estudiantes muestran comportamientos proambientales que van de moderados a altos. Las prácticas más comunes son el cuidado del agua y el uso responsable de la luz, mientras que reunir aceite usado y elaborar composta son menos frecuentes (tabla 3, p. 7).

Tabla 7
Análisis por ítems temáticos:
Conocimiento práctico

ítem	Media	Mediana	Frecuencia del comportamiento
Sé elaborar composta	2.41	2.00	Bajo
Sé reutilizar botellas	3.31	4.00	Alto

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8
Resultados de la prueba M de Huber por dimensión

Dimensión	Grado	Estimador de M de Huber	Intervalo de confianza al 95%
<i>Conocimiento sobre el cambio climático</i>	Cuarto	16.5590	16.5590
	Quinto	15.0105	15.0105
	Sexto	16.6246	16.6246
<i>Reutilización de recursos</i>	Cuarto	14.9764	14.0387-15.9482
	Quinto	13.5625	12.7765-14.1976
	Sexto	13.9489	13.1176-14.6599
<i>Cultura ambiental</i>	Cuarto	20.7373	19.8654-21.5380
	Quinto	18.4314	7.8269-18.9880
	Sexto	19.3870	18.8614-19.9764
<i>Prevención y protección del ambiente</i>	Cuarto	21.3477	20.4318-22.2380
	Quinto	18.4908	17.5798-19.3554
	Sexto	19.9595	19.2554-20.5949

Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los estudiantes no deja basura en cualquier lugar, lo cual es positivo. Sin embargo, el manejo del aceite doméstico parece un área débil (tabla 4, p. 8).

Por otro lado, hay alta conciencia sobre el impacto ambiental global, aunque la percepción del cambio climático como amenaza general podría reforzarse (tabla 5, p. 8).

Asimismo, hay una moderada sensación de responsabilidad individual, que puede reforzarse con estrategias educativas más experienciales o emocionales (tabla 6, p. 8).

Los estudiantes saben cómo reutilizar materiales pero conocen poco sobre composta, lo cual representa un área de oportunidad (tabla 7).

Para el análisis comparativo entre los diferentes grados escolares en relación con el conocimiento sobre el cambio climático, la reutilización de recursos, la cultura ambiental y la prevención y protección del ambiente, se realizaron pruebas de significancia estadística que permitieron determinar en qué dimensiones existen variaciones significativas en los puntajes obtenidos por los estudiantes de cuarto, quinto y sexto grado (tabla 8).

Tabla 9
Diferencias entre los grupos por dimensión

Dimensión	Grados	Diferencia de medias	Nivel de significancia
Conocimiento sobre el cambio climático	Cuarto y quinto	1.29	p=0.097
	Quinto y sexto	-1.72	p=0.011
Reutilización de recursos	Cuarto y quinto	1.76	p=0.012
Cultura ambiental	Cuarto y quinto	2.40	p=0.000
	Quinto y sexto	4.55	p=0.022
Prevención y protección del ambiente	Cuarto y quinto	3.03	p=0.000
	Quinto y sexto	-1.77	p=0.036

Fuente: elaboración propia.

Los resultados indican que existen diferencias significativas en varias dimensiones, especialmente entre los grados cuarto y quinto, y entre los grados quinto y sexto. En algunos casos, los estudiantes de cuarto grado mostraron un mayor nivel de conocimiento o práctica en comparación con sus compañeros de grados superiores. En otros casos, los estudiantes de sexto grado obtuvieron resultados más altos que los de quinto grado, lo que sugiere una posible recuperación en ciertas áreas del comportamiento sustentable.

A continuación se detallan los valores obtenidos en cada dimensión, junto con los niveles de significancia estadística (p), que permiten identificar qué diferencias entre los grupos son estadísticamente relevantes (tabla 9).

Por último, se entrevistó a los docentes para conocer su percepción sobre los resultados y factores que consideran que han influido en ellos. La respuesta generalizada fue el enfoque con que cada docente trabaja los proyectos sobre estos temas en el aula. Si bien hay una guía unificada, el maestro tiene la libertad de utilizar los recursos de apoyo que considere pertinentes y llevar a cabo las actividades de inmersión dentro de las diferentes temáticas, por lo cual puede ser un factor que fortalezca o debilite el comportamiento sustentable del estudiante.

Estos descubrimientos se alinean con investigaciones recientes que indican que, aunque existan guías curriculares unificadas, la autonomía de los docentes y su interpretación del currículo tienen un impacto notable en la calidad y profundidad de las oportunidades de educación ambiental que reciben los alumnos (Olsson et al., 2015). Asimismo, estudios en entornos semejantes evidencian que la motivación intrínseca del profesorado, su capacitación en temas de sostenibilidad y su percepción acerca del apoyo institucional son factores clave que influyen en el éxito de las iniciativas llevadas a cabo en el aula (Álvarez-García et al., 2015). Esto implica que, a pesar de la existencia de guías generales, es fundamental tener en cuenta el perfil y las habilidades del docente como un elemento estructural que afecta de manera directa la formación de prácticas sostenibles en los niños (Özden, 2008).

Discusión

Los resultados de esta investigación revelan aspectos valiosos sobre cómo piensan, sienten y actúan los alumnos de cuarto, quinto y sexto grado de primaria en relación con el medio ambiente. En general, se observan comportamientos favorables y una conciencia creciente sobre los problemas ambientales, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación. Los estudiantes muestran niveles altos de acuerdo con afirmaciones relacionadas con el respeto al medio ambiente, el cuidado del agua y el uso responsable de la energía, lo cual es alentador.

No obstante, estos comportamientos positivos no siempre se traducen en acciones concretas o prácticas sostenidas en su vida diaria. Actividades como la separación de residuos, la elaboración de composta o la recolección de aceite usado presentan niveles bajos o moderados de participación, lo que sugiere una brecha entre el conocimiento, la actitud y el comportamiento. Este contraste nos lleva a reflexionar sobre qué factores están limitando que ese pensamiento se convierta en una práctica cotidiana.

Al comparar estos hallazgos con estudios internacionales se puede observar un esquema análogo en la reducción de la implicación en ciertas prácticas ecológicas a medida que los niños van avanzando en su educación básica. Por ejemplo, Olsson et al. (2015) detectaron que la conciencia sobre el medio ambiente suele permanecer constante, aunque las acciones efectivas disminuyen en los grados intermedios, lo que podría estar vinculado con transformaciones en la motivación y en las dinámicas que se tienen en la escuela.

En el ámbito latinoamericano, Nay-Valero y Febres Cordero-Briceño (2019) destacan cómo ha cambiado la educación ambiental y la formación en sostenibilidad a través del tiempo, poniendo énfasis en que los principios pedagógicos actuales también señalan la necesidad de enfoques más integrales, éticos y participativos que puedan impactar más que la mera entrega de información. Estas similitudes respaldan la suposición de que la distancia entre el comportamiento y el conocimiento es un fenómeno observable en diversos sistemas educativos y que se necesitan ciertas estrategias para superarla.

Esta desconexión entre lo que se piensa y lo que se hace no es nueva; ha sido documentada en estudios como el de Romero Collantes y Medina Corcuera (2021), pero sigue siendo un reto importante en la educación ambiental. Es posible que los niños tengan la intención de actuar de forma responsable, pero también que algunos factores como la falta de apoyo en casa, la poca disponibilidad de recursos e incluso la ausencia de una cultura ambiental sólida en su entorno limiten sus posibilidades de actuar de manera congruente.

Otro punto importante que surge de los resultados es el nivel de comportamientos sustentables que los estudiantes tienen sobre el medio ambiente. Aunque muchos de ellos muestran un comportamiento positivo hacia la sustentabilidad, su conocimiento sobre temas clave, como el cambio climático y la reutilización de recursos, no siempre es muy profundo. Los

resultados indican que los estudiantes tienen una comprensión básica de los conceptos relacionados con el cuidado del medio ambiente, pero esta comprensión suele quedarse en un nivel superficial. Por ejemplo, en el caso específico del conocimiento sobre el cambio climático, los estudiantes de cuarto y quinto grado tienen un promedio bajo, con una media de 1.29 ($p=0.097$). Esto muestra que, aunque los estudiantes tienen comportamientos sustentables, su conocimiento sobre temas como el cambio climático no es tan detallado como podría ser. Este hallazgo destaca la necesidad de realizar más esfuerzos educativos que les ayuden a entender, de manera más profunda y clara, los conceptos ambientales y cómo éstos impactan su vida cotidiana.

Como señalan Pineda Jiménez et al. (2018), aprender sobre el medio ambiente no debe limitarse a memorizar conceptos; es fundamental que los niños vivan experiencias que construyan un vínculo emocional y significativo con la naturaleza.

En este sentido, el papel del maestro resulta crucial, porque la manera en que aborda los temas ambientales puede hacer la diferencia entre una clase olvidable y una experiencia transformadora. No basta con incluir la educación ambiental como un contenido transversal: es necesario que los docentes se encuentren formados, motivados y preparados para integrar este enfoque en su práctica cotidiana. Aquí es donde entra en juego la NEM, cuyo modelo plantea una renovación profunda de la educación básica.

La NEM propone cuatro campos formativos: Lenguajes; Saberes y Pensamiento Científico; Ética, Naturaleza y Sociedades, y De lo Humano y lo Comunitario. Este enfoque, en teoría, ofrece una gran oportunidad para tratar los temas ambientales desde distintas perspectivas: científica, ética, social y emocional. Sin embargo, en la práctica, la implementación aún presenta muchas confusiones. Algunos maestros siguen sin tener claro cómo traducir estos núcleos en estrategias didácticas concretas y mucho menos cómo articularlos con la educación ambiental de forma crítica, situada y transformadora.

Por ejemplo, el campo de Ética, Naturaleza y Sociedades ofrece un marco ideal para cuestionar las relaciones entre el ser humano y su entorno natural, al mismo tiempo que promueve una mirada crítica hacia el consumo, la contaminación y el deterioro ambiental. Pero si los maestros no cuentan con una formación sólida en estos temas, o si no se sienten respaldados institucionalmente, estas posibilidades quedan desaprovechadas.

En conjunto, estos hallazgos invitan a reflexionar sobre la urgencia de fortalecer la formación inicial y continua del magisterio en temas ambientales, de manera que no sólo maneje el contenido, sino que pueda facilitar procesos educativos integrales, reflexivos y críticos. Sólo así será posible que los alumnos no solo *sepan* qué es la educación ambiental, sino que se apropien de este conocimiento desde sus emociones, su entorno y su vida diaria.

Por lo tanto, este estudio muestra que las semillas del cambio ya existen: los niños están interesados, dispuestos y atentos a lo que ocurre con el planeta. Lo que necesitan ahora son

guías bien preparadas, espacios escolares coherentes y programas educativos que les permitan transformar esa inquietud en compromiso real.

Conclusiones

Los resultados de este estudio ofrecen evidencia empírica pertinente con respecto a la relación entre la educación ambiental y la adopción de comportamientos sustentables en estudiantes de primaria. Esta evidencia se obtuvo a partir del análisis de datos mediante el estimador M de Huber y pruebas de significancia estadística, permiten conclusiones con respecto a las disparidades entre el conocimiento educativo y los hábitos ecológicos en los distintos grados escolares.

Inicialmente, parecía que el conocimiento sobre el cambio climático no mostraba variaciones significativas entre los diferentes grados, con valores relativamente constantes en la prueba de estimación robusta. Sin embargo, el análisis de significancia estadística reveló que los estudiantes de quinto grado poseen un nivel de conocimiento significativamente menor en comparación con los de sexto grado, lo que sugiere una posible brecha en la asimilación de información clave sobre este fenómeno. Ésta quizá sea atribuible a la profundidad con que se tratan los contenidos ambientales en los diferentes grados por parte de los maestros.

En cuanto a la reutilización de recursos, los resultados reflejan una disminución a medida que los alumnos progresan a través de los niveles escolares, con una diferencia significativa entre cuarto y quinto grado. Esto sugiere que, a pesar de una enseñanza inicial que favorece este tipo de prácticas, los estudiantes podrían estar perdiendo el hábito o la conciencia sobre su importancia conforme avanzan en su formación académica.

La cultura ambiental mostró un descenso marcado entre cuarto y quinto grado, con diferencias significativas en las puntuaciones. Este hallazgo es preocupante, ya que indica una disminución en la interiorización de valores y actitudes proambientales a medida que los niños avanzan en su educación primaria. No obstante, se observó una ligera recuperación en sexto grado, lo que sugiere que ciertos elementos del currículo o experiencias externas pueden estar contribuyendo a una revitalización de la conciencia sobre el medio ambiente en los últimos años de primaria.

En contraste, la dimensión de prevención y protección del ambiente sigue una tendencia similar a la cultura ambiental, con un descenso significativo entre cuarto y quinto grado. Este hallazgo resalta la necesidad de reforzar los programas educativos dirigidos a la conservación y el cuidado del medio ambiente en los años intermedios de la educación primaria, asegurando que estos valores no se diluyan con el tiempo.

De manera general, estos resultados indican que los programas de educación ambiental en nivel primaria podrían ser más efectivos en los primeros años de escolaridad, pero enfrentan desafíos en su continuidad y consolidación en los grados superiores. La disminución

en las puntuaciones de varias dimensiones entre cuarto y quinto grado, seguida de una ligera recuperación en sexto, podría estar asociada a factores curriculares, metodológicos o psicosociales que afectan la percepción y aplicación de prácticas sustentables en esta etapa de desarrollo.

Por otro lado, los resultados tienen implicaciones clave para el diseño y mejora de estos programas educativos. Es crucial fortalecer las estrategias pedagógicas que permitan mantener y reforzar las actitudes y conocimientos ambientales en toda la trayectoria de educación primaria. Además, se recomienda la integración de enfoques interdisciplinarios y metodologías activas que fomenten la participación, el aprendizaje experiencial y la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos, con el fin de consolidar comportamientos sustentables de manera progresiva y sostenida.

En última instancia, esta investigación aporta evidencias sobre la necesidad de evaluar periódicamente el impacto de los programas de educación ambiental y el poder adaptar sus contenidos a las necesidades evolutivas de los estudiantes. Cabe recalcar que la incorporación de estrategias de refuerzo en los grados intermedios y superiores podría contribuir significativamente a la formación de ciudadanos más comprometidos con la sostenibilidad y la protección del medio ambiente. No obstante, para que estas estrategias tengan un impacto significativo, es indispensable fortalecer la formación de los maestros en la materia, ya que mucho depende del enfoque que le otorguen a los proyectos educativos relacionados con este tema.

En conjunto con lo que se señaló anteriormente, mientras en otros países se han integrado actividades específicas en asignaturas como ciencias naturales para fomentar el desarrollo de habilidades en los estudiantes, en México los contenidos se encuentran distribuidos en campos formativos más amplios, según la NEM. Esto refuerza la necesidad de que los maestros no sólo cuenten con herramientas educativas adecuadas, sino también con una conciencia holística que les permita abordar con profundidad y sentido crítico los contenidos relacionados con el entorno natural. En este sentido, el maestro se convierte en un agente de cambio que puede influir de manera positiva en los comportamientos de los alumnos, al ser capaz de integrar de manera significativa la educación ambiental en su práctica día a día.

Referencias

- Álvarez-García, O., Sureda-Negre, J. y Comas-Forgas, R. (2015). Environmental education in pre-service teacher training: a literature review of existing evidence. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 17(1), 72-85. <https://doi.org/10.1515/jtes-2015-0006>
- Ardoín, N. M., Bowers, A. W. y Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: a systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108224>
- Arroyo-Currás, T., (2020). *Rumbo a estilos de vida sostenibles. Curso de acción para el desarrollo de un consumo responsable en México al 2030. Informe técnico*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/625280/Hoja_de_ruta_EVS.pdf
- Barrera-Hernández, L. F., Sotelo-Castillo, M. A., Echeverría-Castro, S. B. y Tapia-Fonllem, C. O. (2020). Connectedness to nature: its impact on sustainable behaviors and happiness in children. *Frontiers in Psychology*, 11, 276. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00276>
- Bustos-Aguayo, J. M., Juárez-Nájera, M. y García-Lirios, C. (2019). Discusión de una revisión teórica alusiva al comportamiento sustentable y la gobernanza de los bienes comunes. *Revista Gestión de las Personas y Tecnología*, 12(34), 39-52. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7836889>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020). *La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46101-la-tragedia-ambiental-america-latina-caribe>
- Corral Verdugo, V., Robles Pacheco, K., Corral-Frías, N. S., Hernández Ruiz, B. y Suárez Rodríguez, E. J. (2020). Variables que afectan la relación entre las conductas sustentables y sus consecuencias psicológicas positivas: rasgos de personalidad y costos conductuales. *PSICUMEX*, 10(1), 1-20. <https://doi.org/10.36793/psicumex.v10i1.336>
- Diario Oficial de la Federación (12 de julio de 2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. DOF, (12), ed. mat. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gsc.tab=0
- López-Fernández, J. A. y Oller Freixa, M. (2019). Los problemas medioambientales en la formación del profesorado de educación primaria. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, (4), 93-109. <https://doi.org/10.17398/2531-0968.04.93>
- Mazadiego Infante, T. J. (2012). *Comportamiento sustentable. Psicología y sustentabilidad en espacios comunitarios*. Editorial Académica Española.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A. y Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791-812. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1360842>

- Nay-Valero, M. y Febres Cordero-Briceño, M. E. (2019). Educación ambiental y educación para la sostenibilidad: historia, fundamentos y tendencias. *Encuentros*, 17(2), 24-45. <https://doi.org/10.15665/encuent.v17i02.661>
- Olsson, D., Gericke, N. M. y Chang Rundgren, S. N. (2015). The effect of implementation of education for sustainable development in Swedish compulsory schools—assessing pupils' sustainability consciousness. *Environmental Education Research*, 22(2), 176-202. <https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1005057>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2020). *Educación para el desarrollo sostenible: hoja de ruta*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374896>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2024). *Qué debe saber acerca de la Educación para el Desarrollo Sostenible*. UNESCO, sp, <https://www.unesco.org/es/sustainable-development/education/need-know>
- Özden, M. (2008). Environmental awareness and attitudes of student teachers: an empirical research. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 17(1), 40-55. <https://doi.org/10.2167/irgee227.0>
- Pineda Jiménez, C., López Medellín, X., Wehncke, E. V. y Maldonado Almanza, B. (2018). Construir sociedades comprometidas con el entorno natural: educación ambiental en niños del sur de Morelos, México. *Región y Sociedad*, xxx(72), 1-25. <http://dx.doi.org/10.22198/rys.2018.72.a896>
- Rodríguez Torres, R., Fonseca Benítez, F. y Rodríguez Rondón, E. O. (2020). La educación ambiental en estudiantes de la educación primaria: preámbulo para la protección del planeta. *Revista de Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, 2(9), 1-13. <https://www.eumed.net/rev/rilcoDS/09/educacion-ambiental.html>
- Romero Collantes, M. J. y Medina Corcuera, G. A. (2021). Ecoeficiencia y actitudes ambientales en estudiantes de educación primaria. *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 14819-14838. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1438
- Secretaría de Educación Pública (2020). *La Nueva Escuela Mexicana y su impacto en la sociedad*. SEP. <https://educacionbasica.sep.gob.mx/wp-content/uploads/2024/05/La-NEM-y-su-impacto-en-la-sociedad.pdf>
- Secretaría de Educación Pública (2021). *¿Qué es la Educación Ambiental?*, Gobierno de México, sp. <https://educacionambiental.sep.gob.mx/>

ARTÍCULOS

El papel del docente y la escuela en la construcción de la educación inclusiva

The role of teachers and schools in building inclusive education

Israel Delgado Risquet

ORCID: 0009-0008-8122-8707, israel.delgado@uaem.edu.mx

Facultad de Comunicación Humana,

Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Gloria Rosario Vergara Salinas

ORCID: 0009-0000-2962-4659

Facultad de Comunicación Humana,

Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Recepción: 16/05/25. Aceptación: 06/10/25. Publicación: 24/09/26

RESUMEN

La educación del presente siglo demanda instituciones educativas y docentes que se ajusten a los tiempos que corren, que puedan contribuir a consolidar escuelas inclusivas desde una perspectiva crítica, práctica y política, que respondan a la diversidad del alumnado y que garanticen la equidad y la calidad en el aprendizaje. Aquí se analiza la importancia de modelos como el *diseño universal para el aprendizaje* (DUA), la enseñanza multinivel y los ajustes razonables como estrategias clave para atender a la heterogeneidad del aula. Asimismo, se destacan los retos en la formación docente, como la falta de capacitación y de recursos, y la persistencia de actitudes negativas hacia la inclusión.

PALABRAS CLAVE

educación inclusiva, docentes inclusivos, diversidad, equidad educativa, prácticas pedagógicas

ABSTRACT

Education in this century demands that educational institutions and teachers adapt to the current times, contribute to consolidating inclusive schools from a critical, practical, and political perspective, respond to student diversity and ensure equity and quality in learning. The article analyzes the importance of models such as *universal design for learning* (UDL), multilevel teaching, and reasonable adjustments as key strategies for addressing classroom heterogeneity. It also highlights challenges in teacher training, such as a lack of training, resources, and negative attitudes toward inclusion.

KEYWORDS

inclusive education, inclusive teachers, diversity, educational equity, pedagogical practices

Introducción

Con la llegada del siglo XXI son notables los avances científicos y los cambios que se han ido suscitando en todas las esferas sociales. Las escuelas, a pesar de ser lo más tradicional y una de las instituciones más antiguas que han acompañado a la sociedad durante su desarrollo, han sufrido cambios, aunque éstos no siempre han ido al ritmo deseado ni alcanzan los estándares que puedan dar respuesta a las necesidades educativas del alumnado.

La educación enfrenta hoy situaciones educativas disímiles que, en ocasiones, llegan a vulnerar los derechos del alumnado que asiste a las instituciones educativas. Al referirnos a la vulneración de estos derechos nos referimos a que la educación no es capaz de satisfacer las necesidades del educando, lo cual es contrario a lo que plantea la Declaración Universal de los Derechos Humanos cuando refiere que la educación debe tener el objetivo de contribuir al desarrollo de la personalidad humana (Naciones Unidas, 1948).

En este siglo, la educación tiene que adecuarse a las necesidades del alumnado. Debe estar preparada para dar respuesta certera a los problemas educativos de quienes llegan a las instituciones educativas. Al referirnos al contexto áulico, se debe tener presente que desterrar la idea del aula tradicional de años pasados es una tarea impostergable.

La experiencia en la práctica demuestra que el aula es cada vez más heterogénea. En ella converge un alumnado que profesa distintas religiones y tiene gustos culturales diversos; diversidad de ideas y opiniones o alguna discapacidad; diversidad de género y preferencias sexuales; origen afrodescendiente o étnico diverso, y cualquier condición de salud.

El presente manuscrito tiene el propósito de analizar el papel del profesorado y las instituciones educativas en la construcción de una educación inclusiva, a partir de referentes teóricos, normativos y pedagógicos contemporáneos. Se centra en examinar estrategias como el *diseño universal para el aprendizaje* (DUA), la enseñanza multinivel y los ajustes razonables, así como en señalar los retos de la formación y la práctica docente en el marco de políticas educativas inclusivas.

Su alcance es teórico y formativo, en tanto busca aportar elementos de discusión crítica y orientar la transformación de las prácticas educativas hacia escenarios más democráticos y equitativos. El texto está dirigido principalmente a docentes en ejercicio y en formación, así como a directivos escolares, responsables de políticas educativas e investigadores en ciencias de la educación, interesados en fortalecer enfoques y prácticas que promuevan la justicia social y la atención a la diversidad en el sistema educativo.

Educación inclusiva: modelo de atención a la diversidad

En las últimas décadas, la educación inclusiva ha sobresalido como un modelo que incluye entre sus objetivos garantizar que el estudiantado tenga derecho a una educación equitativa y de calidad.

Cuando hablamos de equidad en la educación inclusiva nos estamos refiriendo, entre otras cosas, al reconocimiento de las diferentes necesidades del alumnado y a la respuesta que se le brinda desde el profesorado y las instituciones educativas, a partir de sus condiciones y contexto, y que permita asegurar que los estudiantes encuentren las mismas oportunidades de aprendizaje y desarrollo pleno en el entorno educativo. La equidad, en pocas palabras, es brindar a cada escolar, según sus necesidades y potencialidades, lo necesario para alcanzar los objetivos propuestos en las escuelas.

Por otra parte, al referirnos a la educación de calidad debemos destacar que se trata de garantizar que el estudiantado aprenda y participe en su formación, independientemente de sus características personales, culturales o sociales. Podemos decir, entonces, que la educación es de calidad si, entre otras cosas, es capaz de lograr que el estudiantado aprenda, participe y se desarrolle en igualdad de condiciones, donde se reconozca y valore la diversidad presente en ellas y ellos.

El modelo de la educación inclusiva no sólo considera y aprecia la heterogeneidad y diversidad presente en el alumnado; también impulsa la necesidad de transformar las prácticas escolares para favorecer entornos equitativos y accesibles (Dignath et al., 2022). Para Pérez Pedregosa (2023) se trata de un enfoque que pretende suprimir las barreras del entorno para acceder al aprendizaje e incentivar así una cultura escolar que tenga en cuenta la diversidad como recurso para enriquecer el entorno educativo.

La educación inclusiva se basa en observar el derecho de todos y todas a un aprendizaje conjunto, donde se respete la heterogeneidad del entorno áulico, sin discriminación, y donde se responda a las necesidades diversas e individuales del alumnado. Por ese motivo, Fernández Delgado y Martínez Chairez (2022) indican que el modelo de la educación inclusiva trae consigo la necesidad de adaptar las prácticas pedagógicas, los contenidos del currículo, entre otros aspectos, para atender la diversidad del alumnado.

Es importante tener en cuenta que no se trata sólo de que el alumnado esté presente en la institución educativa, sino de que participe, se desarrolle y pueda tener las mismas oportunidades que el colectivo que lo acompaña en la escuela. Se precisa, entonces, que el sistema educativo pueda dar respuesta certera a las necesidades educativas del colectivo estudiantil.

Importancia de la educación inclusiva

Una sociedad más justa, equitativa y mejor cohesionada puede beneficiarse si educamos en la diversidad. Fomentar el acceso, la participación y la implicación del estudiantado en su propia formación promueve el respeto por la diversidad y el combate a la discriminación.

Según Villalba Pacheco (2023), la educación inclusiva colabora en desarrollar habilidades socioemocionales en el alumnado, lo cual se traduce en el beneficio y la preparación del colectivo estudiantil para una ciudadanía más empática y comprometida con la justicia

social, que a su vez pueda colaborar y también se encuentre preparada para vivir en sociedades plurales y justas.

Desde la perspectiva educativa, la educación inclusiva debe ser vista como el modelo que garantiza el derecho a una educación integral; que transforma y desafía la idea de la educación tradicional, y que pone a disposición del personal educativo una nueva concepción para entender y atender la diversidad presente en el colectivo estudiantil. Es un modelo que, como expresan Amaro Agudo y Martínez Heredia (2020), contempla el derecho a que todas y todos puedan participar activamente, de forma significativa y satisfactoria.

Algunas vías para la atención educativa en diversidad

Bajo el paradigma de la educación inclusiva encontramos distintas vías para atender a la diversidad de forma más eficiente, donde se tengan en cuenta las características del alumnado presente en el contexto áulico.

El *diseño universal para el aprendizaje* (DUA) es un enfoque pedagógico que tiene como objetivo la atención a la diversidad del alumnado, a partir de la creación de un nuevo entorno que sea más propicio y adecuado a las necesidades de aprendizaje del colectivo estudiantil. El DUA nos presenta estrategias flexibles que, al ser implementadas, permiten que el aprendizaje sea significativo y desarrollador en el alumnado.

Según Muñoz Murillo et al. (2024), está fundamentado en tres principios: múltiples formas de representación, múltiples formas de acción y expresión, y múltiples formas de compromiso. En la práctica pedagógica, la aplicación del DUA a través de sus principios ha evidenciado el mejoramiento de la participación y el rendimiento académico del estudiantado. Se trata de un enfoque que propicia un entorno educativo respetuoso, donde se valora la heterogeneidad y el cual contribuye a la mejora educativa.

La enseñanza multinivel constituye otra de las vías para atender la diversidad en las instituciones educativas. Es una estrategia educativa que se basa en organizar la enseñanza en el aula de una manera diferente y accesible a todos y todas.

Al aplicarla, se debe tener en cuenta el nivel de competencias curriculares con que cuenta cada estudiante. Esta información le permite al colectivo de docentes crear un perfil curricular del grupo a partir del diagnóstico realizado, donde se conciben pequeños grupos de escolares que realicen actividades en correspondencia con sus necesidades educativas (Villagrán Olivares y Martínez Ponce, 2018).

A través de la enseñanza multinivel se puede facilitar la inclusión del alumnado en las actividades diarias en el contexto áulico, independientemente de sus necesidades educativas. Al respecto, Arnaiz Sánchez (1999) destaca que este tipo de enseñanza forma parte de una planificación que permite atender la diversidad en el aula, ya que favorece que el alumnado encuentre los contenidos y las actividades accesibles de manera personalizada.

Los ajustes razonables constituyen otra de las vías para atender la heterogeneidad en el aula. Según Naciones Unidas, son modificaciones o adaptaciones que se realizan partiendo de las necesidades del alumnado y que no representan una carga desproporcionada o indebida, y son implementadas para que las personas con discapacidad puedan coexistir en igualdad de condiciones con sus coterráneos y disfrutar de los derechos humanos y libertades fundamentales (Naciones Unidas, 2006).

Al hablar de ajustes razonables en el ámbito educativo se hace referencia, entonces, a las modificaciones que se pueden realizar en el currículo, al empleo de distintos métodos de enseñanza, evaluaciones, materiales didácticos e infraestructura, así como de otros aspectos que sea necesario modificar en el entorno educativo.

Gutiérrez Rodríguez y Hernández Rodiño (2025) señalan que los ajustes razonables son esenciales para asegurar que se logre la inclusión de manera efectiva, ya que permiten el desarrollo del potencial académico en entornos que observan y valoran la diversidad.

Escuela inclusiva

Se ha hecho referencia a la educación inclusiva como ese paradigma que busca solventar los sesgos educativos de la educación de antaño. Se pretende que este modelo rompa con esos sesgos que hoy afectan a los sistemas educativos; sin embargo, aún falta mucho camino por andar.

No siempre contamos con instituciones educativas que brinden las oportunidades necesarias para que el colectivo estudiantil sea capaz de superar los obstáculos que la educación representa, debido a las características individuales que hacen únicos a los estudiantes, con sus propias formas de adquirir conocimientos.

Las instituciones educativas demandan currículos flexibles y evaluaciones que contemplen las necesidades del alumnado, para colabrar con la atención a las individualidades de cada escolar. Rajashekar (2021) refiere la importancia de contar con una institución que colabore activamente con el derecho fundamental de la educación para, de esta forma, eliminar las diversas barreras que siguen afectando el logro de la educación inclusiva desde la misma institución educativa.

La falta de infraestructura adecuada en los centros educativos, como baños accesibles para personas con alguna discapacidad, rampas, recursos humanos especializados y personal de apoyo, terapeutas, entre otros, constituyen un desafío y ponen a la educación en desventaja para asegurar trayectorias exitosas en el alumnado.

Las actitudes discriminatorias y los prejuicios asociados al estudiantado con discapacidad o por motivos de raza, religión u orientación sexual, entre otros, siguen siendo una regularidad en muchas comunidades educativas. Estas percepciones negativas constituyen barreras en la educación que limitan el aprendizaje y el desarrollo de quienes asisten a las instituciones educativas.

De igual modo, los equipos de dirección de los centros escolares no siempre están enfocados en la promoción de una cultura inclusiva; en muchas ocasiones sólo se centran en dar cumplimiento a los aspectos administrativos, lo que se evidencia en la implementación de prácticas pedagógicas limitadas a favor de la educación inclusiva (Valdés, 2025).

Docente inclusivo

Para que la educación inclusiva sea efectiva y logre sus metas debe contar con docentes que puedan dar respuesta adecuada al alumnado que asiste a las instituciones educativas. Las y los docentes, como transmisores de conocimientos, deben estar a la altura de la educación del siglo XXI: tener capacidad para afrontar los retos que el alumnado les impone en el contexto educativo y ser capaces de aprovechar las oportunidades que el entorno les brinda en aras de favorecer el aprendizaje. El profesorado inclusivo debe sentirse identificado con la labor que realiza, pues desempeña un papel crucial al adaptar sus prácticas pedagógicas para atender la diversidad del alumnado.

Autores como López Valdez y García Pineda (2024), Muñoz Rey (2021) y Traver Albalat y Sahanuja Ribés (2022) han coincidido al señalar que las y los docentes inclusivos deben tener actitudes positivas hacia la educación inclusiva. Por su parte, Corral Joza (2019) destaca que la formación de docentes debe incluir un enfoque que contemple la equidad, la justicia social y el compromiso ético, y que garantice el derecho a la educación de todo el estudiantado.

El profesorado inclusivo debe tener la capacidad para reconocer la diversidad en el aula y, partiendo de este reconocimiento, adaptar sus estrategias de enseñanza para dar respuesta a las particularidades individuales que presenta el alumnado. Según Collado-Sanchis et al. (2020), las actitudes positivas hacia la inclusión y la autoeficacia son esenciales para implementar prácticas inclusivas en el entorno educativo. Por otra parte, autores como Ayala de la Peña et al. (2023), De Haro Rodríguez et al. (2020), González de Molina (2020) y Sánchez Gutiérrez et al. (2023) han puesto de manifiesto la necesidad de que el profesorado domine herramientas prácticas, como el DUA, la enseñanza multinivel y los ajustes razonables.

Es válido destacar que, en el marco de la educación inclusiva, la colaboración entre docentes es relevante ya que, a partir de ella, el cuerpo de docentes puede compartir las experiencias adquiridas en su práctica profesional y poner en común con sus pares el conocimiento que puede servir como estrategia para colaborar en la creación de espacios inclusivos. Leiva Guerrero et al. (2024) hacen referencia a que el trabajo que se realiza entre pares donde se comparte la responsabilidad de planificar, enseñar y evaluar fomenta el apoyo entre profesionales, lo cual contribuye al favorecimiento de buenas prácticas inclusivas. Asimismo, Ossa-Cornejo et al. (2023) destacan que la metacognición institucional y la gestión participativa son herramientas que contribuyen al fortalecimiento del liderazgo inclusivo en el profesorado en las escuelas.

Retos en la formación del docente y su práctica

A pesar de los avances en políticas educativas que se promueven desde la educación inclusiva, el profesorado enfrenta desafíos disímiles en su formación y práctica profesional. La falta de formación especializada en educación inclusiva es uno de los principales retos que debe encarar en el día a día. Al respecto, Manrique Añazgo (2025) señala que muchos docentes no han recibido la formación que les permita atender la diversidad que se presenta en el aula, lo que limita su capacidad para implementar prácticas inclusivas efectivas en el contexto escolar.

Por otra parte, las actitudes negativas asumidas hacia la inclusión, así como la falta de confianza en las propias destrezas para transmitir el conocimiento en el aula, pueden constituir barreras que impidan la implementación de prácticas inclusivas. Al respecto, García-Ramos et al. (2025) plantean que la falta de recursos y materiales adaptados para la educación, fundamentalmente en zonas rurales o marginales, también constituyen una desventaja para la atención a la diversidad.

Para vencer estos desafíos es primordial que el profesorado adopte prácticas pedagógicas que favorezcan la inclusión. La utilización de medios de enseñanza multisensoriales y tecnológicos puede facilitar la atención a la diversidad y permitir que el alumnado tenga acceso a los contenidos escolares de forma que estos contenidos se adecúen a sus intereses y necesidades individuales. El establecimiento de proyectos escolares que fomenten la cooperación, el respeto y la empatía también puede colaborar en la formación de un medio inclusivo (Ivanytska, 2024).

Inclusión en la Nueva Escuela Mexicana

La inclusión se consagró como principio constitucional y marco rector de la política educativa mexicana, tras la reforma del artículo 3 de la Constitución en 2019, que estableció de forma expresa que la educación pública será inclusiva y orientada por un enfoque de derechos humanos y de igualdad sustantiva (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2019). Esa garantía constitucional fue desarrollada normativamente a través de la Ley Reglamentaria del artículo 3, que instaure, entre otras cosas, el Sistema Integral de Formación, Capacitación y Actualización, con el objetivo de incorporar la perspectiva de inclusión educativa en la formación y actualización del profesorado (Ley reglamentaria del artículo 3º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de mejora continua de la educación, 2019).

A nivel curricular, la Nueva Escuela Mexicana (NEM) traduce el principio inclusivo en el Plan de Estudio 2022 y en los documentos del marco curricular. La propuesta coloca la atención a la diversidad, la equidad, la eliminación de barreras para el aprendizaje y la participación (BAP) como ejes transversales del currículo nacional; define responsabilidades institucionales para garantizar el derecho a la educación de grupos diversos, como los pueblos indíge-

nas, estudiantes con discapacidad, migrantes, entre otros, y orienta a las escuelas hacia diagnósticos contextuales y ajustes curriculares. En la práctica, la Secretaría de Educación Pública (SEP) incorpora instrumentos operativos, como la guía del *Index for Inclusion*, y la organización de servicios de apoyo para que los Consejos Técnicos Escolares y los colectivos docentes identifiquen y reduzcan la BAP mediante planes de trabajo y ajustes razonables (SEP, 2022).

En la formación inicial y continua del profesorado, la NEM impulsa cambios concretos, como el Acuerdo 2022, que reglamenta los planes y programas de las licenciaturas para la formación docente, incluye anexos específicos, como la Licenciatura en Inclusión Educativa, y exige a los planes de formación profesionalizar la capacidad de identificar la BAP, diseñar adaptaciones, aplicar pedagogías diferenciadas y trabajar en equipo con servicios de apoyo.

Paralelamente, la Ley Reglamentaria del artículo 3 ordena la evaluación del mencionado Sistema Integral de Formación, y que éste incorpore la perspectiva de inclusión en los itinerarios formativos y en la capacitación continua del magisterio (Ley reglamentaria del artículo 3º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de mejora continua de la educación, 2019; Secretaría de Educación Pública y Dirección General de Educación Superior para el Magisterio, 2022).

Los análisis académicos y los comunicados institucionales coinciden en algo central: la inclusión está incorporada en el lenguaje legal y curricular y en instrumentos técnicos; sin embargo, su conversión en prácticas escolares efectivas enfrenta retos importantes, como la insuficiencia de recursos, brechas en la formación práctica del profesorado, desigualdad en la dotación de apoyos especializados e infraestructura accesible, y dificultad para articular diagnósticos, seguimiento y evaluación local. Estudios críticos que analizan los textos de política señalan que la política inclusiva de la NEM ha avanzado normativamente, pero persisten brechas entre el diseño y la implementación en contextos escolares diversos. Por ello se enfatiza la necesidad de monitoreo, recursos orientados y formación práctica situada para que las disposiciones se traduzcan en resultados verificables en el aula (Solís del Moral y Tinajero Villavicencio, 2022).

A modo de conclusión

Para colaborar en la construcción de escuelas que sean verdaderamente inclusivas no se puede depender sólo de discursos o marcos normativos; se requieren acciones concretas llevadas a cabo por docentes y personal involucrado en el aprendizaje del alumnado en el entorno educativo. El papel de las escuelas y el profesorado inclusivo trasciende la mera aplicación de estrategias didácticas diferenciadas: exige una transformación profunda en todos los aspectos de la vida escolar, en la postura ética, en la mirada sobre la diversidad que exista en las escuelas y sus actores, y en el compromiso con la justicia educativa.

El análisis aquí desarrollado pone de manifiesto que la educación inclusiva no es un añadido ni una categoría aislada, sino un modelo rector que interpela todas las dimensiones de la práctica docente en aras de su mejora. En este sentido, el profesorado inclusivo y los diferentes actores educativos asumen la responsabilidad de distinguir y eliminar las barreras que impiden el aprendizaje y la participación del alumnado. De esta manera reconocen las desigualdades estructurales que afectan en especial a quienes, por sus características individuales, han sido históricamente marginados.

Asimismo, se reafirma que el profesorado no es un sujeto pasivo que implementa políticas impuestas desde arriba, sino un agente de cambio que puede y debe incidir en la construcción de entornos escolares equitativos, participativos y democráticos. En el aula, cada decisión pedagógica, cada interacción, cada acto de reconocimiento o exclusión, contribuye a la construcción de una cultura escolar que puede replicar o transformar las desigualdades.

En definitiva, avanzar hacia una educación inclusiva requiere el fortalecimiento de una docencia crítica, reflexiva y comprometida con el derecho de todo el alumnado a aprender en condiciones de dignidad y equidad. Este desafío interpela no sólo al profesorado individualmente, sino al sistema educativo en su totalidad: juntos deben garantizar las condiciones formativas, institucionales y éticas para que lo estipulado en leyes y normativas sobre la educación inclusiva sea una realidad palpable en el entorno educativo.

Referencias

- Amaro Agudo, A. y Martínez Heredia, N. (2020). Importancia de la educación inclusiva y justicia social en época de pandemia. *Revista Internacional de Apoyo a la Inclusión, Logopedia, Sociedad y Multiculturalidad*, 6(3), 135-144. <https://doi.org/10.17561/riai.v6.n3.10>
- Arnaiz Sánchez, P. (1999). Curriculum y atención a la diversidad. En J. Urriés Vega y M. A. Verdugo Alonso (coords.), *Hacia una nueva concepción de la discapacidad: actas de las III Jornadas Científicas de Investigación sobre personas con discapacidad* (pp. 39-62). Amarú, 39-62. <https://campus.usal.es/~inico/investigacion/jornadas/jornada3/actas/conf2.pdf>
- Ayala de la Peña, A., De Haro Rodríguez, R. y Serna Belmonte, R. (2023). Barreras que menoscaban la inclusión en las culturas y políticas educativas del centro escolar. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 26(2), 179-191. <https://doi.org/10.6018/reifop.560121>
- Collado-Sanchis, A., Tárraga-Mínguez, R., Lacruz-Pérez, I. y Sanz-Cervera, P. (2020). Análisis de actitudes y autoeficacia percibida del profesorado ante la educación inclusiva. *EDUCAR*, 56(2), 509-523. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1117>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (15 de mayo de 2019). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. SCJN. https://www.scjn.gob.mx/sites/default/files/pagina/documentos/2019-05/CPEUM_15052019.pdf
- Corral Joza, K. (2019). Educación inclusiva: Concepciones del profesorado ante el alumnado con necesidades educativas especiales asociadas a discapacidad. *Revista Nacional e Internacional de Educación Inclusiva*, 12(2), 171-186. <https://revistaeducacioninclusiva.es/index.php/REI/article/view/439>
- De Haro Rodríguez, R. de, Ayala, A. y Del Rey, M. V. (2020). Promoviendo la equidad en los centros educativos: identificar las barreras al aprendizaje y a la participación para promover una educación más inclusiva. *Revista Complutense de Educación*, 31(3), 341-352. <https://revistas.ucm.es/index.php/RCED/article/view/63381>
- Dignath, C., Rimm-Kaufman, S., Ewijk, R. van y Kunter, M. (2022). Teachers' beliefs about inclusive education and insights on what contributes to those beliefs: a meta-analytical study. *Educational Psychology Review*, 34(4), 2609-2660. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09695-0>
- Fernández Delgado, L. B. y Martínez Chairez, G. I. (2022). Enseñanza inclusiva y atención a la diversidad en escenarios digitales. *Revista Dilemas Contemporáneos. Educación, Política y Valores*, IX(2), 1-17. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v9i2.3139>
- García-Ramos, G., Jaramillo-Ayala, J. S., Santillán Molina de Valdivia, M. B. y Albino Acuña de Cadema, M. S. (2025). Educación inclusiva en docentes de nivel secundaria: un análisis de la red bibliométrica. *Revista INVECOM*, 5(4), 1-11. <https://revistainvecom.org/index.php/invecom/article/view/3648>

- González de Molina, J. M. (2020). Enseñanza multinivel: mirada, formación y docencia. *Aula de Innovación Educativa*, (300), 51-56. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/563496>
- Gutiérrez Rodríguez, G. E. y Hernández Rodiño, Y. I. (2025). Plan individual de ajustes razonables para la inclusión de estudiantes con discapacidad. *Revista UNIMAR*, 43(1), 13-25. <https://doi.org/10.31948/ru.v43i1.4059>
- Ivanytska, N. (2024). El papel de los proyectos escolares en la interacción profesional de los docentes en la organización de la educación inclusiva de los estudiantes. *Revista Inclusiones. Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 11(3), 1-16. <https://doi.org/10.58210/fprc3553>
- Leiva-Guerrero, M. V., Vásquez-Herrera, C., Encalada Godoy, N., Huerta Escobar, J. y Pereira Arroyo, L. (2024). Liderar y trabajar colaborativamente para la inclusión educativa: facilitadores y barreras de la codocencia. *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 18(1), 65-87. <https://doi.org/10.4067/s0718-73782024000100065>
- Ley reglamentaria del artículo 3º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de mejora continua de la educación (30 de septiembre de 2019). *DOF*, (23), ed. mat., 94-107. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LRArt3_MMCE_300919.pdf
- López Valdez, J. M. y García Pineda, E. (2024). Educación inclusiva e integración en las escuelas normales públicas y privadas de México. *Vitalia. Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*, 5(1), 126-150. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i1.79>
- Manrique Añazgo, E. M. (2025). Efectos de un programa de educación inclusiva en el desempeño docente. *Revista INVECOM*, 5(4), 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14847715>
- Muñoz Murillo, P. J., Cesen Paccha, J. E., Guamán Fernández, R. M. y Cuenca Tinoco, Y. A. (2024). La importancia del diseño universal para el aprendizaje en la inclusión educativa. *Revista Imaginario Social*, 7(3), 225-237. <https://doi.org/10.59155/is.v7i3.216>
- Muñoz Rey, Y. (2021). Opiniones de los docentes sobre el tratamiento educativo de la diversidad en entornos inclusivos. *Revista de Educación Inclusiva*, 14(1), 265-283. <https://revistaeducacioninclusiva.es/index.php/REI/article/view/669>
- Naciones Unidas (1948). La declaración Universal de Derechos Humanos. *Naciones Unidas. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano*, sp. <https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights>
- Naciones Unidas (2006). *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y Protocolo Facultativo*. ONU. <https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-s.pdf>
- Ossa-Cornejo, C. J., Balbontín-Alvarado, R. y Castro-Rubilar, J. I. (2023). Metacognición institucional: herramienta de gestión participativa para el liderazgo inclusivo en educación. *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 17(2), 103-117. <https://doi.org/10.4067/s0718-73782023000200103>

- Pérez Pedregosa, A. B. (2023). La educación inclusiva y la atención a la diversidad. *Revista RETOS XXI*, 7(1), 1-6. <https://doi.org/10.30827/retosxxi.7.2023.28152>
- Rajashekar, N. (2021). Inclusive education: barriers and challenges in inclusion. *International Journal of Early Childhood Special Education*, 13(2), 3188-3193. https://www.int-jecse.net/article/Inclusive%2BEducation%2B%253A%2BBarriers%2BAnd%2BChallenges%2BIn%2BInclusion_6667/
- Sánchez Gutiérrez, I., Fernández Cerero, J., Montenegro Rueda, M. y Alcalá del Olmo Fernández, M. J. (2023). Enseñanza multinivel como estrategia para una educación inclusiva. En I. Aznar Díaz, N. Campos Soto, J.-C. de la Cruz-Campos y L. Hinojo Cirre (coords.). *Hacia nuevos estándares educativos para una educación de calidad* (pp. 73-78). Dykinson. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=933928>
- Secretaría de Educación Pública (2022). *Plan de Estudio para la Educación Preescolar, Primaria y Secundaria 2022*. SEP. https://educacionbasica.sep.gob.mx/wp-content/uploads/2025/Plan_y_programas_de_estudio_2025/Plan%20de%20Estudio%202025%20-WEB-.pdf
- Secretaría de Educación Pública y Dirección General de Educación Superior para el Magisterio (2022). Acuerdo número 16/o8/22. *Gobierno de México*, sp. <https://dgesum.sep.gob.mx/acuerdo16o822>
- Solís del Moral, S. S. y Tinajero Villavicencio, M. G. (2022). La reforma educativa inclusiva en México. Análisis de sus textos de política. *Perfiles Educativos*, 44(176), 120-136. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2022.176.60534>
- Traver Albalat, S. y Sanahuja Ribés, A. (2022). Acompañamiento y orientación educativa: hacia procesos de asesoramiento orientados a generar prácticas más inclusivas. *Revista Nacional e Internacional de Educación Inclusiva*, 15(2), 237-252. <https://revistaeducacioninclusiva.es/index.php/REI/article/view/779>
- Valdés, R. (2025). Barreras y facilitadores para liderar una escuela inclusiva: el caso de Chile. *Revista de Investigación Educativa*, (43), 1-21. <https://doi.org/10.6018/rie.560271>
- Villagrán Olivares, S. y Martínez Ponce, M. S. (2018). Acercando horizontes en el contexto de escuelas inclusivas: planificación multinivel y diversificación curricular. *Revista RUEDES. Red Universitaria de Educación Especial*, (8), 195-205. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/ruedes/article/view/2156>
- Villalba Pacheco, S. S. (2023). Reflexionar la escuela desde la diversidad: la atención a la población con discapacidad en el marco de la educación inclusiva. *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 321-337. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8689

ARTÍCULOS

Biorremediación fúngica: una estrategia para sitios contaminados con petróleo

Fungal bioremediation: a strategy for crude oil-contaminated sites

Diana Laura Peraza-Liñan

ORCID: 0000-0002-0389-3794, dianaperaza29@gmail.com

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Benjamín Abraham Ayil-Gutiérrez

ORCID: 0000-0003-3350-4056, bayil@ipn.mx

Centro de Biotecnología Genómica (CBG), Instituto Politécnico Nacional, Reynosa (IPN)

José Alberto López-Santillán

ORCID: 0000-0002-6923-3684, jalopez@docentes.uat.edu.mx

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Benigno Estrada-Drouaillet

ORCID: 0000-0002-0332-5658, benestrada@docentes.uat.edu.mx

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Ma. Teresa de Jesús Segura-Martínez

ORCID: 0000-0001-8559-3885, tsegura@docentes.uat.edu.mx

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Wilberth Alfredo Poot-Poot

ORCID: 0000-0002-2973-3289, wpoot@docentes.uat.edu.mx

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Recepción: 09/04/25. Aceptación: 06/10/25. Publicación: 12/08/26

RESUMEN

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos alifáticos y aromáticos, y son estos últimos los que pueden ocasionar mutaciones en el ADN, cáncer e incluso la muerte. De acuerdo con su composición química, el petróleo puede ser de difícil remoción en el ambiente, por lo que es necesario buscar alternativas viables que disminuyan su impacto en el entorno. La biorremediación es una técnica que emplea la capacidad metabólica de plantas y microorganismos para utilizar al petróleo como una fuente de carbono hasta transformarlo en CO_2 , H_2O , CH_4 y ácidos grasos. Los hongos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* destacan por la producción de enzimas degradadoras de petróleo y biosurfactantes, por lo que son de gran importancia en este trabajo.

PALABRAS CLAVE

biosurfactantes, degradación, enzimas, hidrocarburos, hongos filamentosos, metabolismo

ABSTRACT

Petroleum is a complex mixture of aliphatic and aromatic hydrocarbons, the latter being capable of causing DNA mutations, cancer and even death. Based on its chemical composition, petroleum can be difficult to remove from the environment; therefore, it is necessary to explore viable alternatives to reduce its ecological impact. Bioremediation is a technique that harnesses the metabolic capacity of plants and microorganisms to utilize petroleum as a carbon source, ultimately transforming it into CO_2 , H_2O , CH_4 and fatty acids. Fungi from the genera *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium* are notable for their production of petroleum-degrading enzymes and biosurfactants, making them highly relevant to this study.

KEYWORDS

biosurfactants, degradation, enzymes, hydrocarbons, filamentous fungi, metabolism

Introducción

El petróleo o crudo es una mezcla de compuestos orgánicos conocidos como hidrocarburos y algunos otros elementos, como el oxígeno, azufre y nitrógeno, los cuales son el resultado de la acumulación en el subsuelo de restos fosilizados de animales y plantas. Como resultado de la urbanización y consecuente demanda energética, las actividades de la industria petrolera han aumentado con la finalidad de abastecer las necesidades de la población (Al-Hawash et al., 2018a). Sin embargo, en las actividades de exploración de yacimientos y en la distribución del petróleo ocurren derrames debido a fugas en oleoductos, combustión incompleta, transporte y vandalismo en tomas clandestinas (Ławniczak et al., 2020), lo que representa aproximadamente 110,000 barriles de petróleo vertidos por año en el suelo y el agua (International Tanker Owners Pollution Federation [ITOPF], 2022).

Los derrames de petróleo terminan siendo perjudiciales para el ambiente, debido a que está compuesto por una mezcla de hidrocarburos que, dependiendo de su estructura química y complejidad, persisten en el ambiente y ocasionan daños en la flora y fauna (Farrington, 2014). Estos hidrocarburos se pueden clasificar en cuatro grupos: alcanos, que son compuestos con un enlace sencillo y fácilmente biodegradables (Sayed et al., 2021); aromáticos, con uno o más anillos de benceno y baja solubilidad en el ambiente (Molnárné Guricza y Schrader, 2015), y asfaltenos y resinas, compuestos polares con radicales alquilo (C_nH_{2n+1}) y anillos de benceno que persisten en el sitio afectado (Cho et al., 2012), es decir, los hidrocarburos son compuestos tóxicos que pueden tener efectos perjudiciales en la salud humana y el entorno.

En el ser humano, el consumo de organismos intoxicados con petróleo, como los mariscos, puede ocasionar afectaciones a nivel celular, que dan lugar a malformaciones y al desarrollo de tumores debido a una alteración en el ADN genómico (Zhang et al., 2019). Los compuestos aromáticos son los contaminantes más difíciles de remover y más peligrosos por ser considerados cancerígenos, mutagénicos y recalcitrantes en el ambiente (Czarny et al., 2020). Además, el petróleo permanece en el ambiente por un tiempo prolongado, ya que su degradación es lenta e impide la rápida recuperación del sitio (Barrios San Martín, 2011).

Aunque existen técnicas para la remoción del petróleo de sitios contaminados, como el uso de barreras de contención, dispersantes químicos, incineración y oxidación UV, su eficiencia es baja, ya que requieren una aplicación constante que eleva los costos de operación (Sayed et al., 2021). En la búsqueda de mejores estrategias surgió la biorremediación como alternativa, la cual utiliza la capacidad metabólica de plantas y microorganismos, como bacterias, levaduras y hongos para la degradación de los hidrocarburos en moléculas menos tóxicas, como el dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y ácidos grasos ($C_nH_{2n+1}COOH$). Además, se ha mencionado que esta técnica puede ser de bajo costo y realizarse en condiciones controladas y con pocos insumos que no generan contaminación secundaria (Czarny et al., 2020).

Entre los microorganismos degradadores, aquellos que se encuentran en los sitios contaminados representan un potencial para la degradación de los compuestos tóxicos en el ambiente, en donde destacan los hongos filamentosos por su morfología hidrofóbica, que les permite adherirse a compuestos hidrófobos, como los hidrocarburos, y tolerar altas concentraciones de contaminantes por la producción de enzimas capaces de catalizar reacciones de degradación (Espinosa-Ortiz et al., 2022).

En el ambiente, los hongos son los principales degradadores de la materia orgánica, capaces de utilizar como fuente de energía (carbono) los compuestos químicos con estructuras similares a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) (Haritash y Kaushik, 2009). Esta capacidad se debe a la producción de enzimas (catalizadores biológicos) con baja especificidad de sustrato que degradan hidrocarburos, así como la producción de biosurfactantes (tensoactivos), que disminuyen la tensión superficial entre el agua y el petróleo y facilitan la degradación de los hidrocarburos (Arregui et al., 2019; Yuniati, 2018).

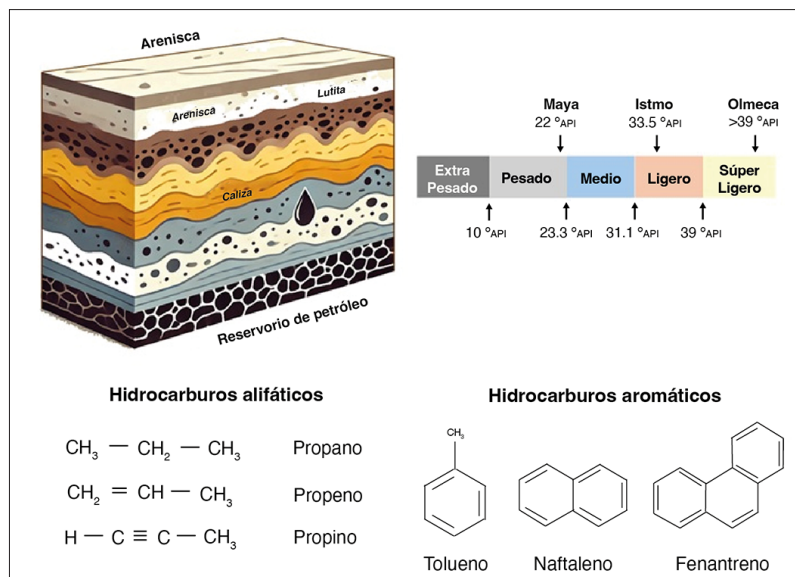
Dicho lo anterior, en este trabajo se describe el uso de hongos filamentosos como mecanismo para la biorremediación y se resalta su capacidad para elaborar enzimas y productos metabólicos que aceleran el proceso.

Hidrocarburos del petróleo

El petróleo tuvo su origen a partir de la descomposición de la materia orgánica del subsuelo, la cual duró varios millones de años. Esta materia provenía del plancton marino acumulado en el fondo de las plataformas costeras o cuencas poco profundas, las cuales se cubrieron de manera sucesiva por capas de sedimentos inorgánicos, como arenas y arcillas. Éstas formaron estratos en los que la elevada presión de las capas de la tierra, las altas temperaturas y la actividad de bacterias anaerobias transformaron lentamente la materia orgánica en una mezcla de compuestos denominados hidrocarburos, que dieron lugar a lo que se conoce como petróleo crudo (Varjani et al., 2014).

Por lo anterior, el petróleo crudo se define como una mezcla compleja de hidrocarburos cuya composición química está constituida en su mayoría por carbono (83-87%) e hidrógeno (11-14%), así como por compuestos orgánicos de oxígeno, nitrógeno, azufre, mercaptanos, dióxido de azufre y, en menor proporción, sales minerales, como cloruros, sulfatos de calcio, magnesio, hierro, níquel, vanadio y plomo (Barois et al., 2018). Los hidrocarburos se clasifican en dos tipos: los alifáticos (alcanos, alquenos y alquinos), los cuales presentan cadenas de carbono lineales o ramificadas que pueden ser abiertas o cíclicas, y los aromáticos; entre éstos se encuentran aquellos que presentan al menos una estructura de carbono monocíclica, denominados hidrocarburos aromáticos monocíclicos (HAM), como el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTX), y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), que contienen más de un anillo bencénico, como el naftaleno (dos anillos), fenantreno y antraceno (tres anillos) (Varjani, 2017).

Figura 1
Composición del petróleo crudo y clasificación de los hidrocarburos



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los hidrocarburos volátiles son compuestos de cadena corta (C_6 - C_{10}), y dentro de este grupo se encuentran el metano, etano, propano, acetileno y butano, mientras que los compuestos de cadena larga (C_{10} - C_{40}) son de baja volatilidad, como los HAP. Dependiendo del tipo y de la abundancia de los hidrocarburos, las propiedades físicas y químicas del petróleo pueden cambiar, es decir, su densidad o viscosidad, el color (verde, amarillo, marrón o negro) y los productos derivados que se pueden obtener de él (Varjani et al., 2014).

La composición del petróleo crudo varía dependiendo de la ubicación, la geología del yacimiento y el pozo; asimismo, se clasifica en función de su peso molecular en superligero, ligero y pesado. De acuerdo con el Instituto Americano de Petróleo (API, por sus siglas en inglés), el petróleo se puede clasificar considerando su densidad en grados API (°API) para determinar qué tan ligero o pesado es con respecto a un mismo volumen de agua bajo condiciones específicas (Barois et al., 2018). En donde el petróleo es menor a 10 °API se considera extrapesado y valores superiores a 39 °API se considera superligero. En México, Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha clasificado al petróleo en tres tipos, considerando su densidad API: Olmeca (superligero), Istmo (ligero) y Maya (pesado), que en conjunto forman la Mezcla Mexicana (PEMEX, 2023) (figura 1).

Efectos del petróleo en los seres vivos

El uso del petróleo como combustible en las actividades diarias del ser humano ha sido constante, y con el crecimiento de la población también ha aumentado la actividad de la industria

petrolera, lo que ha ocasionado el incremento de derrames de petróleo en el suelo y los cuerpos de agua (Li et al., 2016). Según ITOPF (2022), la incidencia total de vertidos ha sido de más de 52.3 millones de barriles de petróleo en 140 incidentes.

De manera cotidiana, estos compuestos están presentes en productos que utilizamos; sin embargo, aquellos que se encuentran por vertidos de petróleo producen afectaciones graves en el sistema nervioso central y provocan la muerte si la exposición es alta y prolongada; algunos son volátiles a temperatura ambiente y otros se disuelven en el agua, pero aquellos con un alto peso molecular permanecen en el ambiente y son de difícil remoción (Todd et al., 1999).

En la fauna, el petróleo ingerido por el organismo ocasiona toxicidad directa, fallos en los sistemas reproductivos e incluso la muerte por asfixia (Zhang et al., 2019). En las aves marinas, el contacto con el petróleo dificulta el vuelo y no pueden sobrevivir, por lo que terminan muriendo (Farrington, 2014). Además, los organismos intoxicados por petróleo no son aptos para el mercado, lo cual ocasiona pérdidas económicas y restringe las actividades de pesquería (Sayed et al., 2021).

En los humanos, el contacto con el petróleo puede ser por la dermis, inhalación o ingestiva, y dependiendo del tiempo y la exposición ocasiona problemas de cáncer que pueden presentarse con efectos temporales o permanentes (Souza et al., 2014). Los derivados del petróleo, como el gasóleo, el queroseno y el diésel, al ser ingeridos dañan el sistema nervioso central, el sistema inmune e incluso afectan los órganos (riñones e hígado), así como el desarrollo de fetos (Souza et al., 2014; Todd et al., 1999).

Además, se ha reportado que los operadores encargados de atender los vertidos de petróleo se ven afectados al tener contacto directo con los compuestos durante el proceso de limpieza, por lo que presentan malestares que persisten por un periodo de doce meses, como dolores de cabeza, pérdida de visión, parálisis corporal, afectaciones en vías respiratorias, sarpullido en la piel y dolor de espalda (Na et al., 2012).

Biorremediación de sitios contaminados con petróleo

La biorremediación es un proceso que utiliza tratamientos para la restauración o limpieza del suelo, agua y aire contaminado por agentes tóxicos, mediante sistemas biológicos o una combinación de éstos con técnicas físicas y químicas. En general, este proceso emplea la capacidad metabólica de los microorganismos, como bacterias, hongos, levaduras y algas, así como algunas plantas, para acelerar el proceso de degradación natural hasta la obtención de moléculas de CO_2 , H_2O y ácidos grasos. En la biorremediación las técnicas pueden llevarse a cabo de manera *in situ* o *ex situ*. En la primera, el sitio contaminado es tratado directamente en el lugar, y de manera *ex situ*, los contaminantes son trasladados para su posterior análisis y tratamiento (Sayed et al., 2021).

Comparado con las técnicas físicas y químicas, la biorremediación no genera contaminación secundaria al utilizar organismos, ya que, al no emplear químicos, evita la alteración de las propiedades del sitio afectado y, como no utiliza barreras de contención, disminuye los costos de operación. Cabe mencionar que el uso de las técnicas físicas y químicas suele trasladar el contaminante pero no lo degradan. Por ello, la biorremediación es una alternativa para la degradación de compuestos orgánicos, como los hidrocarburos del petróleo presentes en los derrames (Barrios San Martín, 2011).

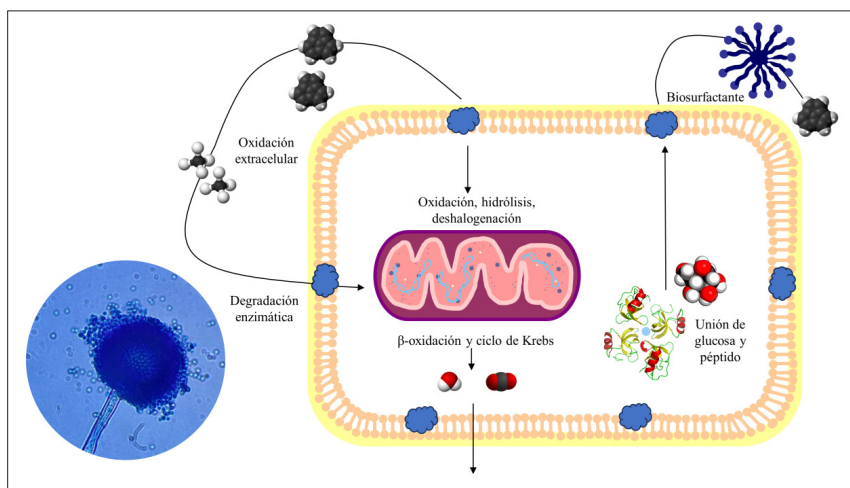
Metabolismo microbiano en la biorremediación de sitios con petróleo

Los microorganismos requieren fuentes de carbono para crecer y multiplicarse; en su metabolismo, las enzimas catalizan reacciones químicas para asimilar compuestos en formas más simples: primero metabolizan compuestos de fácil asimilación y después aquellos con estructuras más complejas (Sayed et al., 2021). En la degradación de petróleo ocurre un proceso similar: el microorganismo metaboliza compuestos orgánicos de cadena corta, que por lo general son hidrocarburos alifáticos, propensos a la oxidación (Varjani, 2017); al terminar, metabolizan compuestos más sencillos, como los hidrocarburos monocíclicos, y, una vez que los asimilan, utilizan como fuente de energía los policíclicos. De esta manera logran degradar diferentes hidrocarburos a través de su sistema enzimático para la obtención de energía (El Madhi et al., 2016). Cabe mencionar que los microorganismos sólo podrán metabolizar aquellos compuestos que puedan biodegradar (Sayed et al., 2021).

Uno de los procesos metabólicos que los microorganismos llevan a cabo es el de la cadena respiratoria, en la cual ocurre una serie de reacciones de óxido-reducción, donde los microorganismos utilizan como aceptor de electrones al oxígeno en condiciones aerobias y, en condiciones anaerobias, al nitrato, sulfato y dióxido de carbono, de los cuales este último no es tan común (Barrios San Martín, 2011). En el proceso aerobio, la oxidación se genera a través de oxigenasas o intermediarios que se incorporan al ciclo de Krebs, como el catecol y el gentisato, así como ácidos grasos; este proceso se desarrolla en dos etapas: primero se activa el sustrato mediante una carboxilación o hidroxilación para formar tioésteres; después, los intermediarios (reductasas) catalizan la reacción y rompen el anillo de los compuestos en metabolitos que puede utilizar el microorganismo (Barrios San Martín, 2011). Este proceso requiere de oxígeno molecular para convertir el hidrocarburo en CO_2 y H_2O (Al-Dhabaan, 2021).

En los hongos, el metabolismo depende de sustancias y metabolitos excretados extracelularmente, donde intervienen moléculas de naturaleza proteica (enzimas) que catalizan reacciones químicas dentro de las células (Li et al., 2020). Al metabolizar los hidrocarburos, los hongos oxidan los compuestos aromáticos, aminos y fenoles en compuestos simples o asimilados en la biomasa, utilizando enzimas como oxidasas, peroxidasas, hidrolasas y monooxigenasas (Gadd, 2004).

Figura 2
Diagrama de interacción de la membrana celular fúngica
con hidrocarburos del petróleo



Fuente: diagrama adaptado de Li et al. (2020).

Los hongos pueden degradar los hidrocarburos mediante dos formas: una, utilizando enzimas extracelulares (lignina, lacasa y manganeso peroxidasa) y, derivado de este proceso, produciendo metabolitos, como ácidos orgánicos, aminoácidos y proteínas (Liang y Gadd, 2017), y de manera intracelular, degradando los contaminantes orgánicos, los cuales, al ser permeables, entran por las membranas celulares del hongo y son catalizados por enzimas del citocromo P450, deshalogenasas reductoras y nitrorreductasas (Stella et al., 2017). Los hongos, después de obtener moléculas simples, las utilizan en los procesos metabólicos de β -oxidación y en el ciclo de Krebs (Varjani, 2017).

En los procesos metabólicos, la transformación del petróleo puede ser parcial al obtener compuestos menos tóxicos que los iniciales, mientras que de manera total se denomina *mineralización*, donde se obtienen moléculas de CO_2 y H_2O que, por lo general, resultan de un proceso aerobio, mientras que en condiciones anaerobias se obtienen moléculas de CH_4 y H_2O (Barrios San Martín, 2011) (figura 2).

El papel de los hongos en la biorremediación

Los hongos son organismos eucariontes, heterótrofos, que se alimentan de compuestos orgánicos, y son cosmopolitas, es decir, pueden distribuirse en todo el mundo y multiplicarse de forma independiente (Gadd, 2004). Son considerados como los principales degradadores de materia orgánica, ya que facilitan la disponibilidad de nutrientes para otros organismos (Durairaj et al., 2015).

Dentro de los compuestos que los hongos degradan se encuentra la lignina, un polímero que forma parte de la pared celular del tejido vegetal, el cual tiene una estructura aromática, como los HAP, por lo que estos organismos tienen la capacidad de degradar aquellos compuestos con estructuras similares y complejas (Haritash y Kaushik, 2009). Además, pueden crecer en presencia de compuestos tóxicos, como los hidrocarburos, los cuales están conformados por elementos de C, N, O y S, de manera que los pueden utilizar como energía (Espinosa-Ortiz et al., 2022).

Por otro lado, los hongos toleran ambientes extremos con baja disponibilidad de nutrientes y pueden crecer en ambientes que van desde ácidos hasta neutros (pH de 3 a 7) (Pinedo-Rivilla et al., 2009); además, producen proteínas hidrofóbicas, como las hidrofobinas, que les permiten adherirse a los compuestos del petróleo por su hidrofobicidad, lo que facilita la degradación en cuerpos de agua (Gadd, 2004). Asimismo, producen enzimas de manera extracelular con baja especificidad de sustrato, dentro de las cuales destacan la lacasa, la lignina y el manganoso peroxidasa, que metabolizan contaminantes orgánicos (Li et al., 2020).

El potencial de biorremediación de los hongos depende de la población microbiana presente, el tipo de hidrocarburo, así como la biodisponibilidad que tiene el organismo para el compuesto y la velocidad a la que ocurre la degradación (Sayed et al., 2021). Por sí solos, como un cultivo puro, pueden degradar los compuestos del petróleo, pero una convivencia de diferentes especies (co-cultivo) puede aumentar el potencial de biodegradación de estos organismos (Molnár Gúricza y Schrader, 2015). Un co-cultivo puede sintetizar diferentes enzimas debido a que, al estar presentes distintas especies, se producen enzimas afines a diversos sustratos, lo cual permite una degradación completa de los compuestos y facilita el crecimiento de los microorganismos cuando se suministran productos metabólicos en un co-metabolismo (Liang y Gadd, 2017).

Se ha reportado que los hongos filamentosos tienen la capacidad de degradar hidrocarburos del petróleo. Entre estos destacan los géneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucor* y *Pleurotus*, lo que los convierte en una alternativa para la remoción de estos compuestos contaminantes para el ambiente (Al-Hawash et al., 2018a; Al-Hawash et al., 2018b; Al-Dhabaan, 2021).

Factores que afectan la biorremediación fúngica

En la biorremediación es importante determinar la viabilidad del microorganismo para utilizar el compuesto, las condiciones de crecimiento, la disponibilidad de los nutrientes, el oxígeno, la temperatura y el pH durante la biodegradación (Varjani, 2017), ya que una concentración alta del hidrocarburo inhibe la actividad microbiana y la velocidad de degradación (Barrios San Martín, 2011). Asimismo, es necesario determinar si el microorganismo tiene biodisponibilidad para los compuestos de interés y si las especies provienen de sitios afectados

(autóctonas) o si son originarias de un sitio diferente (exógenas) pero tienen potencial en la biorremediación (Sayed et al., 2021).

Otro factor por considerar en la biorremediación mediada por microorganismos es la presencia de elementos como el nitrógeno y el fósforo, que permiten la síntesis de los aminoácidos y las enzimas que intervienen en los procesos metabólicos utilizados por el microorganismo en la degradación del petróleo (Barrios San Martín, 2011). Por lo general, los microorganismos trabajan con pH cercanos a la neutralidad, ya que en condiciones ácidas se dificulta la solubilización y la absorción de los contaminantes, lo que afecta la actividad microbiana (Li et al., 2020).

En el ambiente, la presencia de minerales en cantidades altas aumenta el intercambio catiónico y disminuye la disponibilidad de los compuestos orgánicos, lo cual dificulta su degradación (Carrillo-Chávez et al., 2014). Es importante conocer las condiciones en las que crece un microorganismo, ya que algún desajuste genera desequilibrio en las cargas netas de los iones, lo cual inhibe las enzimas y, por lo tanto, no permite la degradación de los compuestos (Ceci et al., 2019).

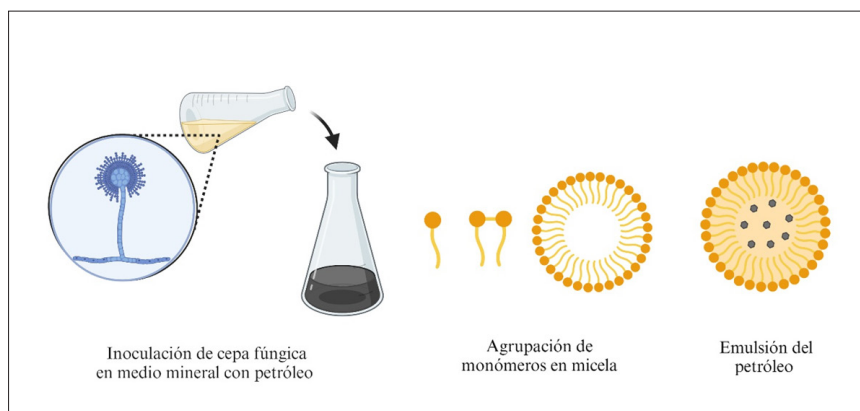
La temperatura también es un factor determinante en la actividad metabólica de los microorganismos, ya que cada especie trabaja en un rango óptimo, en donde, a temperaturas bajas, la actividad microbiana se detiene y los hidrocarburos aumentan su viscosidad; ocurre lo mismo a temperaturas por arriba de 40 °C, donde la actividad se detiene y las enzimas se desnaturalizan (Li et al., 2020; Rangel et al., 2018). Por lo general, la temperatura óptima para los microorganismos es entre 28 °C y 30 °C; en estas condiciones pueden realizar su metabolismo y biodegradar los compuestos (Ceci et al., 2019).

Importancia de los biosurfactantes en la degradación del petróleo

Los biosurfactantes son moléculas tensoactivas que permiten la interacción de dos sustancias inmiscibles mediante la disminución de la tensión superficial e interfacial, por ejemplo, el agua y el aceite (Alves Sanches et al., 2021; Becerra Gutiérrez y Horna Acevedo, 2016). La estructura química de estas moléculas es anfipática, es decir, uno de sus extremos es polar o hidrófilo (tiene afinidad con el agua) y el otro es no polar o hidrófobo (repele el agua y se une a compuestos lipídicos) (Nitschke y Pastore, 2002). Estas moléculas anfipáticas son producidas por plantas, animales y varios microorganismos, como las bacterias, hongos y levaduras (Becerra Gutiérrez y Horna Acevedo, 2016).

El biosurfactante, por sus propiedades anfipáticas, se caracteriza por presentar una concentración micelar crítica (CMC) y un equilibrio hidrófilo-lipofílico (EHL); ambas propiedades cumplen un papel muy importante en el agregado de estructuras micelares, que en entornos hidrófobos aumentan la solubilidad de los hidrocarburos y la biodisponibilidad entre las células del microorganismo y el petróleo. A través de estas propiedades, los biosurfactantes

Figura 3
Diagrama de producción de biosurfactantes por cepa fúngica
en medio mineral con petróleo



Fuente: elaboración propia utilizando BioRender.

reducen la tensión interfacial entre dos fases y permiten que ocurra la biodegradación de los compuestos (Bustamante et al., 2012).

La concentración del biosurfactante tiene un papel importante en la tensión interfacial, ya que, al aumentar la concentración del tensoactivo, disminuye la tensión entre el agua y el aceite, formando moléculas con una cabeza polar al exterior y una cola no polar al interior. Al aumentar la CMC, estos monómeros o moléculas individuales se juntan y forman agregados denominados micelas que pueden disolver a los compuestos hidrófobos como los hidrocarburos, debido a que presentan un núcleo que aumenta la solubilidad de los contaminantes. Por otro lado, el EHL describe la relación entre las partes hidrófilas e hidrófobas de la molécula del tensoactivo, indicando los tipos de aceites que puede emulsionar. Aquellos tensoactivos que mantienen un EHL bajo son lipofílicos, mientras que un alto EHL indica una mejor solubilidad en agua (Bustamante et al., 2012).

Algunos de los factores que influyen en el proceso de producción de los biosurfactantes son las condiciones del cultivo, así como el tipo de microorganismo y la fuente de carbono, en donde las necesidades de nutrición pueden favorecer la producción específica de un tipo de biosurfactante (Seghal Kiran et al., 2009). En los hongos, la composición de esta molécula también depende de las condiciones en que se aisló el hongo. Una cepa aislada de un sitio contaminado con petróleo puede utilizar compuestos derivados o una mezcla de éstos para inducir la producción de biosurfactantes y reducir la tensión superficial e interfacial (Alves Sanches et al., 2021).

Cabe mencionar que dentro de los biosurfactantes se encuentran los de tipo glicolípidos, conformados por carbohidratos (glucosa y galactosa) y ácidos grasos con grupos hidroxilo (OH)

Tabla 1
Especies de hongos filamentosos productores de biosurfactantes
en la degradación de hidrocarburos

Especie	Biosurfactante	Fuente	Degradación %	Referencia
<i>Aspergillus</i> sp. RFC-1	Lípido	n-hexadecano	86.3	Al-Hawash et al. (2018b)
<i>Penicillium</i> sp. RMA1	TS*	Petróleo crudo	57.0	Al-Hawash et al. (2018a)
<i>Penicillium citrinum</i>	Glicolípido	Hidrocarburos totales	40.0	Camargo-de-Morais et al. (2003)
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Lipopéptido	Diésel	43.0	Gautam et al. (2014)
<i>Aspergillus niger</i>	Glicolípido	Petróleo crudo	---	Kannahi y Sherley (2012)
<i>Scedosporium</i> sp. ZYY	---	Hidrocarburos totales	58.6	Atakpa et al. (2022)
<i>Aspergillus niger</i>	TS*	Petróleo crudo	58.0	Al-Dhabaan (2021)
<i>Aspergillus polyporicola</i>	TS*	Petróleo crudo	47.0	Al-Dhabaan (2021)
<i>Aspergillus spelaesus</i>	TS*	Petróleo crudo	51.0	Al-Dhabaan (2021)
<i>Irpex lacteus</i>	TS*	Antraceno	60.0	Drevinskas et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	TS*	Antraceno	56.0	Drevinskas et al. (2015)
<i>Ganoderma lucidum</i>	TS*	Pireno	99.0	Agrawal et al. (2018)

TS*: Reduce tensión superficial, pero no se ha caracterizado el tipo de biosurfactante; ---: no se ha reportado.

y radicales alquilo (Nitschke y Pastore, 2002); también producen lipopéptidos, que consisten en ácidos grasos con grupos carboxilo (-COOH) y OH unidos a aminoácidos (Shah et al., 2016). Por ser de origen biológico, presentan menor toxicidad al ambiente y se consideran biodegradables, además de que pueden tolerar temperaturas extremas, salinidad, pH ácido y alcalino (Alves Sanches et al., 2021). Estas características les dan el potencial para utilizarse en la biorremediación de suelos y aguas contaminadas con petróleo (Santos et al., 2016).

Conclusión

La biorremediación es una técnica que se usa en la restauración de ambientes contaminados con petróleo; sin embargo, se ha puesto poco énfasis en el metabolismo de los hongos y sus respuestas a los diferentes tipos de hidrocarburos. Los hongos filamentosos destacan por su capacidad para producir metabolitos extracelulares, como biosurfactantes y enzimas; dentro de este grupo se encuentran los hongos de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, con capacidad metabólica degradativa, por lo que se pueden considerar en los procesos de remediación de sitios contaminados. Sin embargo, es importante comprender las rutas metabólicas implicadas en la recuperación de estos sitios, así como la regulación de la expresión de los genes responsables de la síntesis de estos metabolitos, con el fin de entender de manera integral los procesos de remediación.

Referencias

- Agrawal, N., Verma, P. y Kumar Shahi, S. (2018). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (phenanthrene and pyrene) by the ligninolytic fungi *Ganoderma lucidum* isolated from the hardwood stump. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(1), 5-11. <http://dx.doi.org/10.1186/s40643-018-0197-5>
- Al-Dhabaan, F. A. (2021). Mycoremediation of crude oil contaminated soil by specific fungi isolated from Dhahran in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 73-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.033>
- Al-Hawash, A. B., Alkooranee, J. T., Abbood, H. A., Zhang, J., Sun, J., Zhang, X. y Ma, F. (2018a). Isolation and characterization of two crude oil-degrading fungi strains from Rumalia oil field, Iraq. *Biotechnology Reports*, 17, 104-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2017.12.006>
- Al-Hawash, A. B., Zhang, J., Li, S., Liu, J., Ghalib, H. B. y Ma, F. (2018b). Biodegradation of n-hexadecane by *Aspergillus* sp. RFC-1 and its mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 398-408. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.049>
- Alves Sanches, M., Galvão Luzeiro, I., Alves Cortez, A.C., Simplício de Souza, É., Melchionna Albuquerque, P., Kumar Chopra, H. y Braga de Souza, J. V. (2021). Production of biosurfactants by ascomycetes. *Hindawi International Journal of Microbiology*, 2021(1), 1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2021/6669263>
- Arregui, L., Ayala, M., Gómez-Gil, X., Gutiérrez-Soto, G., Hernández-Luna, C. E., Herrera de los Santos, M., Levin, L., Roja-Domínguez, A., Romero-Martínez, D., Saparrat, M. C. N., Trujillo-Roldán, M. A. y Valdez-Cruz, N. A. (2019). Laccases: structure, function, and potential application in water bioremediation. *Microbial Cell Factories*, 18(200), 1-33. <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1248-0>
- Atakpa, O. E., Zhou, H., Jiang, L., Ma, Y., Liang, Y., Li, Y., Zhang, D. y Zhang, C. (2022). Improved degradation of petroleum hydrocarbons by co-culture of fungi and biosurfactant-producing bacteria. *Chemosphere*, 290, 133337. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133337>
- Barois, I., Contreras Ramos, S. M., Hernández Castellanos, B., Santos, M., Martínez, F. y García, D. R. (2018). *El suelo y el petróleo: estudio de caso de biorremediación en pasivo ambiental de Papantla, México*. Instituto de Ecología AC.
- BarriosSanMartín, Y. (2011). Biorremediación: una herramienta para el saneamiento de ecosistemas marinos contaminados con petróleo. *Bioteecnología Aplicada*, 28(2), 60-68. <https://elfoscientiaecigb.edu.cu/PDFs/Biotechnol%20Apl/2011/28/2/BA002802RVo60-068.pdf>
- Becerra Gutiérrez, L. K. y Horna Acevedo, M. V. (2016). Aislamiento de microorganismos productores de biosurfactantes y lipasas a partir de efluentes residuales de camales y suelos contaminados con hidrocarburos. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), 23-31. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.01.03>

- Bustamante, M., Durán, N. y Diez, M. C. (2012). Biosurfactants are useful tools for the bioremediation of contaminated soil: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(4), 667-687. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000024>
- Camargo-de-Morais, M. M., Ramos, S. A. F., Pimentel, M. C. B., Morais Jr., M. A. y Lima Filho, J. L. (2003). Production of an extracellular polysaccharide with emulsifier properties by *Penicillium citrinum*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 19, 191-194. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1023299116663>
- Carrillo-Chávez, A., Salas-Megchún, E., Levresse, G. y Muñoz-Torres, C. (2014). Geochemistry and mineralogy of mine-waste material from a “skarn-type” deposit in Central Mexico: modeling geochemical controls of metals in the surface environment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, parte A, 28-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.017>
- Ceci, A., Pinzari, F., Russo, F., Persiani, A. M. y Gadd, G. M. (2019). Roles of saprotrophic fungi in biodegradation or transformation of organic and inorganic pollutants in co-contaminated sites. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 53-68. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fso0253-018-9451-1>
- Cho, Y., Na, J.-G., Nho, N.-S., Kim, S. H. y Kim, S. (2012). Application of saturates, aromatics, resins, and asphaltenes crude oil fractionation for detailed chemical characterization of heavy crude oils by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry equipped with atmospheric pressure photoionization. *Energy & Fuels*, 26(5), 2558-2565. <http://dx.doi.org/10.1021/ef201312m>
- Czarny, J., Staninska-Pięta, J., Piotrowska-Cyplik, A., Juzwa, W., Wolniewicz, A., Marecik, R., Ławniczak, Ł. y Chrzanowski, Ł. (2020). *Acinetobacter* sp. as the key player in diesel oil degrading community exposed to PAHs and heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 383(3), 121168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121168>
- Drevinskas, T., Mickienė, R., Maruška, A., Stankevičius, M., Tiso, N., Mikašauskaitė, J., Ragažinskienė, O., Levišauskas, D., Bartkuvienė, V., Snieškienė, V., Stankevičienė, A., Polcaro, C., Galli, E., Donati, E., Tekorius, T., Kornýšova, O. y Kaškonienė, V. (2015). Downscaling the *in vitro* test of fungal bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: methodological approach. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 408(4), 1043-1053. <http://dx.doi.org/10.1007/s00216-015-9191-3>
- Durairaj, P., Malla, S., Prabhu Nadarajan, S., Lee, P.-G., Jung, E., Park, H. H., Kim, B.-G. y Yun, H. (2015). Fungal cytochrome P450 monooxygenases of *Fusarium oxysporum* for the synthesis of ω -hydroxy fatty acids in engineered *Saccharomyces cerevisiae*. *Microbial Cell Factories*, 14(1), 45. <http://dx.doi.org/10.1186/s12934-015-0228-2>

- El Madhi, A. M., Abdul Aziz, H., Abu Amr, S. S., El-Gendy, N. S. y Nassar, H. N. (2016). Isolation and characterization of *Pseudomonas* sp. NAF1 and its application in biodegradation of crude oil. *Environmental Earth Sciences*, 75, 380. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5296-z>
- Espinosa-Ortiz, E. J., René, E. R. y Gerlach, R. (2022). Potential use of fungi-bacterial co-cultures for the removal of organic pollutants. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(3), 361-383. <http://dx.doi.org/10.1080/07388551.2021.1940831>
- Farrington, J. W. (2014). Oil pollution in the marine environment II: fates and effects of oil spills. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 56(4), 16-31. <https://doi.org/10.1080/00139157.2014.922382>
- Gadd, G. M. (2004). Mycotransformation of organic and inorganic substrates. *Mycologist*, 18(2), 60-70. [https://doi.org/10.1017/S0269-915X\(04\)00202-2](https://doi.org/10.1017/S0269-915X(04)00202-2)
- Gautam, G., Mishra, V., Verma, P., Kumar Pandey, P. y Negi, S. (2014). A cost effective strategy for production of bio-surfactant from locally isolated *Penicillium chrysogenum* SNPs and its applications. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 1-7. <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9821.1000177>
- Haritash, A. K. y Kaushik, C. P. (2009). Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1-3), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.137>
- International Tanker Owners Pollution Federation (2022). Data and statistics. ITOPF, sp. <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/>
- Kannahi, M. y Sherley, M. (2012). Biosurfactant production by *Pseudomonas putida* and *Aspergillus niger* from oil contaminated site. *International Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 3(4), 37-42. <https://www.ijcps.com/files/vol3issue4/6.pdf>
- Ławniczak, Ł., Wóznia-Karczewska, M., Loibner, A. P., Heipieper, H. J. y Chrzanowski, Ł. (2020). Microbial degradation of hydrocarbons-basic principles for bioremediation: a review. *Molecules*, 25(4), 856. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25040856>
- Li, P., Cai, Q., Lin, W., Chen, B. y Zhang, B. (2016). Offshore oil spill response practices and emerging challenges. *Marine Pollution Bulletin*, 110(1), 1-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.020>
- Li, Q., Liu J. y Gadd, G. M. (2020). Fungal bioremediation of soil co-contaminated with petroleum hydrocarbons and toxic metals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(21), 8999-9008. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-020-10854-y>
- Liang, X. y Gadd, G. M. (2017). Metal and metalloid biorecovery using fungi. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 1119-1205. <http://dx.doi.org/10.1111/1751-7915.12767>

- Molnárné Guricza, L. y Schrader, W. (2015). New separation approach for asphaltene investigation: argentation chromatography coupled with ultrahigh-resolution mass spectrometry. *Energy & Fuels*, 29(10), 6224-6230. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b01285>
- Na, J. U., Sim, M. S., Jo, I. J. y Song, H. G. (2012). The duration of acute health problems in people involved with the cleanup operation of the Hebei Spirit oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 64(6), 1246-1251. <http://dx.doi.org/10.1097/01.ede.0000362837.37333.cf>
- Nitschke, M. y Pastore, G. M. (2002). Biosurfactantes: propriedades e aplicações. *Quimica Nova*, 25(5), 772-776. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000500013>
- Petróleos Mexicanos (2023). Anuario estadístico. PEMEX, sp. <https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/AnuarioEstadistico.aspx>
- Pinedo-Rivilla, C., Aleu, J. y Collado, I. (2009). Pollutants biodegradation by fungi. *Current Organic Chemistry*, 13(12), 1194-1214. <http://dx.doi.org/10.2174/138527209788921774>
- Rangel, D. E. N., Finlay, R. D., Hallsworth, J. E., Dadachova, E. y Gadd, G. M. (2018). Fungal strategies for dealing with environment -and agriculture- induced stresses. *Fungal Biology*, 12(6), 602-612. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2018.02.002>
- Santos, F. D. K., Rufino, R. D., Luna, J. M., Santos, V. A. y Sarubbo, L. A. (2016). Biosurfactants: multifunctional biomolecules of the 21st century. *Molecular Sciences*, 17(3), 1-31. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms17030401>
- Sayed, K., Baloo, L. y Kumar Sharma, N. (2021). Bioremediation of total petroleum hydrocarbons (TPH) by bioaugmentation and biostimulation in water with floating oil spill containment booms as bioreactor basin. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 18(5), 2226. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18052226>
- Seghal Kiran, G., Hema, T. A., Gandhimathi, R., Selvin, J. Thomas, T. A., Rajeetha Ravji, T. y Natarajaseenivasan, K. (2009). Optimization and production of a biosurfactant from the sponge-associated marine fungus *Aspergillus ustus* MSF3. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 73(2), 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.05.025>
- Shah, N., Gaikwad, S., Sapre, V. y Kaur, J. (2016). Biosurfactant: types, detection methods, importance and applications. *Indian Journal Microbiology*, 3(1), 5-10. <http://dx.doi.org/10.5958/2394-5478.2016.00002.9>
- Souza, E. C., Vessoni-Penna, T. C. y Pinheiro de Souza Oliveira, R. (2014). Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: an overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 89, 88-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.007>
- Stella, T., Covino, S., Čvančarová, M., Filipová, A., Petruccioli, M., D'Annibale, A. y Cajthaml, T. (2017). Bioremediation of long-term PCB-contaminated soil by white-rot fungi. *Journal of Hazardous Materials*, 324, parte B, 701-710. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.044>

- Todd, G. D., Chessin, R. L. y Colman, J. (eds.) (1999). *Toxicological profile for petroleum hydrocarbons (TPH)*. Department of Health and Human Services. https://books.google.com.mx/books?id=QKh6S-xpmhoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Varjani, S. J. (2017). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, 223, 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>
- Varjani, S. J., Rana, D. P., Bateja, S., Sharma, M. C. y Upasani, V. N. (2014). Screening and identification of biosurfactant (bioemulsifier) producing bacteria from crude oil contaminated sites of Gujarat, India. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(2), 9205-9213. https://www.ijirset.com/upload/2014/february/31_Screening.pdf
- Yuniati, M. D. (2018). Bioremediation of petroleum-contaminated soil: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1), 012063. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012063>
- Zhang, B., Matchinski, E. J., Chen, B., Ye, X. D., Jing, L. y Lee, K. (2019). Marine oil spills-oil pollution sources and effects. En C. Sheppard (ed.), *World seas. An environmental evaluation. Volume III: Ecological issues and environmental impacts* (pp. 391-406). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00024-3>

ARTÍCULOS

Salvaguada de orquídeas silvestres: modelo de conservación sustentable en ecosistemas templados

Protecting wild orchids: a model for sustainable conservation in temperate ecosystems

Ernesto Castañeda Hidalgo

ORCID: 0000-0001-9296-1439, casta_h50@hotmail.com

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO),
Tecnológico Nacional de México (TECNM Oaxaca)

Flor López Olivera

ORCID: 0009-0003-9501-7015, LC19920001@voaxaca.tecnm.mx

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO),
Tecnológico Nacional de México (TECNM Oaxaca)

Laura Jiménez Bautista

ORCID: 0009-0008-3615-8279, naurajiba@gmail.com

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO),
Tecnológico Nacional de México (TECNM Oaxaca)

Rosario Aquino López

ORCID: 0000-0001-5911-9880, rousaquino@94gmail.com

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO),
Tecnológico Nacional de México (TECNM Oaxaca)

Gisela Margarita Santiago Martínez

ORCID: 0000-0002-0064-7010, gisela.sm@voaxaca.tecnm.mx

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO),
Tecnológico Nacional de México (TECNM Oaxaca)

Recepción: 08/04/25. Aceptación: 06/10/25. Publicación: 04/09/26

RESUMEN

El rescate de orquídeas silvestres combina la conservación con la gestión forestal sustentable, y promueve la biodiversidad y la salud de los ecosistemas. El objetivo de este trabajo es evaluar la diversidad de orquídeas epífitas salvaguardadas en las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) de las comunidades de Capulálpam y Xiacuí, ubicadas en la región Sierra de Juárez en Oaxaca, las cuales provienen de la colecta controlada del aprovechamiento forestal del año, con una clasificación taxonómica y una evaluación de índices de diversidad. Se realiza una clasificación taxonómica y el análisis de diversidad mediante los índices de Simpson, Shannon y Margalef. Los resultados revelaron diversidad baja y distribución desigual, dominada por pocas especies.

PALABRAS CLAVE

conservación, distribución, diversidad, orquideario, rescate

ABSTRACT

Rescuing wild orchids combines conservation with sustainable forest management and promotes biodiversity and ecosystem health. The objective of this work is to evaluate the diversity of epiphytic orchids safeguarded in the Wildlife Conservation Management Units of the communities of Capulálpam and Xiacuí, located in the Sierra de Juárez region in Oaxaca, originating from the controlled collection of forest harvesting of the year, including taxonomic classification and evaluation of diversity indices. A taxonomic classification and diversity analysis were performed using the Simpson, Shannon, and Margalef indices. The results revealed low diversity and uneven distribution, dominated by a few species.

KEYWORDS

conservation, distribution, diversity, orchidarium, rescue

Introducción

Las orquídeas son una de las familias de plantas más diversas y apreciadas en el mundo. Su belleza y singularidad tienen un gran valor ornamental, cultural y económico. En México, estas plantas se han utilizado con fines medicinales, ceremoniales, alimenticios y como fuente de ingresos. México alberga 168 géneros y 1,254 especies de orquídeas; de ellas, cerca de trescientas son endémicas, es decir, exclusivas de México (Emeterio-Lara et al., 2016).

Un lugar clave para la conservación de estas orquídeas son los bosques mesófilos de montaña (BMM). Aunque apenas cubren el 1% del territorio nacional, concentran cerca del 60% de las especies de orquídeas registradas en el país, lo que refleja su enorme importancia ecológica (Andrade y Contreras, 2023; Jiménez-López et al., 2019). Además, estas plantas desempeñan un papel esencial en los ecosistemas al ofrecer refugio y alimento a insectos, aves, reptiles y pequeños mamíferos, y son un indicador del estado de conservación de los bosques (Tejeda-Sartorius et al., 2017).

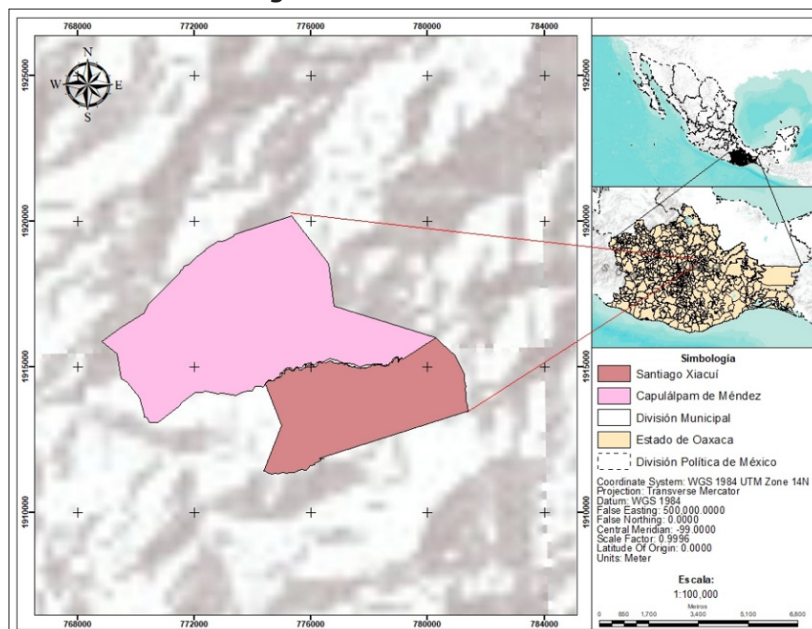
Sin embargo, la conservación de las orquídeas enfrenta múltiples desafíos. En México, el manejo forestal se realiza principalmente mediante dos métodos: el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). El primero se basa en la extracción selectiva de árboles con más edad, bifurcados o enfermos, mientras que el segundo busca transformar la estructura natural del bosque en masas más uniformes. Este último favorece la homogeneización del paisaje, lo que reduce la diversidad vegetal. Entre las plantas más vulnerables a estos cambios se encuentran las epífitas —como orquídeas y bromelias—, que dependen directamente de los árboles hospedantes para crecer y sobrevivir (Jiménez Bautista et al., 2014).

En el estado de Oaxaca, uno de los más ricos en biodiversidad del país, la familia Orchidaceae alcanza cerca de 750 especies agrupadas en 144 géneros (García-López et al., 2025). No obstante, su crecimiento es lento y su diversidad está estrechamente ligada a la edad y sucesión natural del bosque. Factores como la especie, el tamaño y la longevidad de los árboles hospedantes influyen directamente en la presencia de epífitas. Por ello, el aprovechamiento de árboles grandes reduce las oportunidades de establecimiento de estas plantas, impactando sus poblaciones (Jiménez Bautista et al., 2014).

Diversos estudios han demostrado que la abundancia y la diversidad de orquídeas epífitas disminuyen en bosques sometidos a aprovechamiento forestal, incendios, plagas, enfermedades o cambios de uso de suelo. Aunque algunos individuos logran sobrevivir en los árboles remanentes, cumplen un papel fundamental como fuente de propágulos que permiten la recolonización futura.

A pesar de los avances en el conocimiento de la orquideoflora mexicana y de los programas de conservación, aún persisten grandes retos, como conocer con mayor detalle la distribución de las especies, su estado de conservación y el fortalecimiento de proyectos de

Figura 1
Ubicación de Capulálpam de Méndez y Santiago Xiacuí
en la región Sierra de Juárez en Oaxaca



Fuente: elaboración propia.

investigación. También resulta esencial reconocer que la conservación *in situ* —en el hábitat natural— es prioritaria frente a la conservación *ex situ*, sin dejar de valorar la importancia de ambas estrategias (Tejeda-Sartorius et al., 2017).

Acorde con lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la diversidad de orquídeas epífitas presentes en las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) de las comunidades de Capulálpam y Xiacuí, ubicadas en la región Sierra de Juárez en Oaxaca, mediante la colecta controlada, clasificación taxonómica y evaluación de índices de diversidad, como parte de las actividades complementarias del Programa de Manejo Forestal (PMF) vigente.

Metodología

La investigación se realizó en las comunidades de Capulálpam de Méndez y Santiago Xiacuí, pertenecientes al distrito de Ixtlán en Oaxaca, México (figura 1). Capulálpam tiene una superficie de 3,799.78 ha y se ubica a una altitud media de 2,040 msnm, en las coordenadas geográficas 17°18'23" N y 96°26'46" O. Por su parte, Santiago Xiacuí cuenta con una superficie de 1,680 ha y se localiza a una altitud media de 2,160 msnm, en las coordenadas geográficas 17°16'08" N y 96°23'46" O (figura 1).

Figura 2
Separación de la orquídea del árbol huésped que se aprovechará
y recolección en cestas



Fuente: elaboración propia.

El clima en las dos comunidades colindantes es C(w2), catalogado como templado subhúmedo, con una temperatura promedio de 12 a 18 °C, con lluvias en verano en un rango de 200-1,800 mm al año. Ambas se caracterizan por albergar un bosque templado con diferentes estructuras vegetales de pino, pino-encino, encino y bosque mesófilo de montaña.

Procedimiento para la colecta

La presente investigación se desarrolló en 2024 como parte de las actividades complementarias del PMF en cada comunidad de estudio. Durante la anualidad correspondiente al PMF vigente, se inspeccionaron los troncos y ramas de los árboles marcados para derribo con el objetivo de identificar orquídeas que cumplieran con los criterios fenológicos y fitosanitarios establecidos en la Resolución 2135 de 2014 (Sierra-Giraldo et al., 2023). Es importante señalar que la colecta se realizó bajo los permisos correspondientes otorgados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la autorización de su PMF y con el consentimiento de las autoridades comunales.

Las epífitas que cumplieron con estas características, junto con aquellas que presentaban condiciones de abundancia, fueron retiradas cuidadosamente de las cortezas de los árboles. Este procedimiento se realizó de esta manera para evitar su maltrato. Posteriormente, fueron colocadas en canastas para su transportación, con el fin de reducir el estrés y el daño durante el traslado (figura 2a y b).

Figura 3
Amarre de orquídeas al nuevo hospedero y etiquetado



Fuente: elaboración propia.

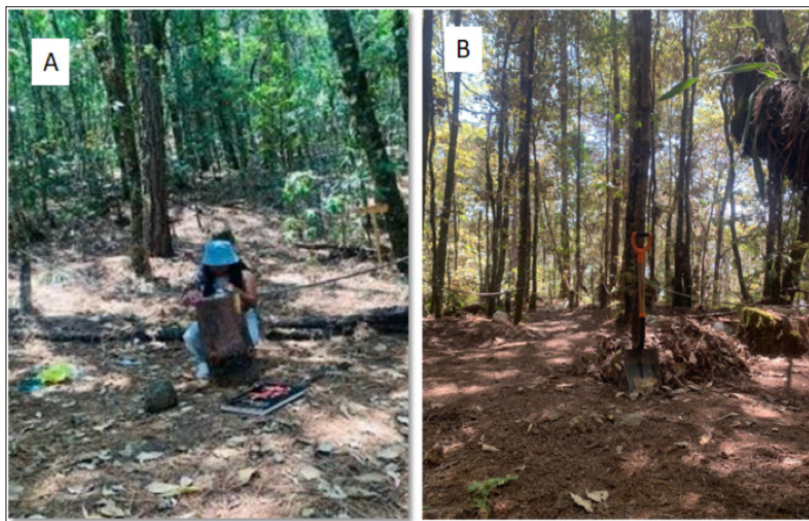
Traslado y reubicación para la salvaguarda

Las orquídeas rescatadas en las áreas de aprovechamiento de cada comunidad se trasladaron a los orquidearios de Capulálpam y Xiacuí, registrados como UMA en modalidad extensiva. Cada árbol (*Quercus* spp.) designado como nuevo hospedero en los orquidearios fue georreferenciado, identificado y evaluado en su estado fitosanitario mediante inspección visual de ramas, tronco y hojas, para detectar plagas, enfermedades o daños estructurales.

Esta evaluación incluyó la revisión de literatura sobre la especie hospedera (*Quercus* spp.) y observaciones en campo de otras epífitas presentes en el árbol. Se priorizaron aquellos individuos que no mostraban sobrecarga de epífitas establecidas previamente, con el fin de garantizar espacio y condiciones óptimas para la colonización de las orquídeas reubicadas. Para minimizar la alteración de su hábitat original, las epífitas rescatadas se ubicaron en estratos similares a los de los árboles de donde fueron retiradas. Las orquídeas reubicadas se ataron con rafia a los nuevos hospederos, lo que ayuda a reducir el daño a los tejidos de las plantas durante el proceso de sujeción (figura 3).

Las orquídeas y epífitas cumplen una función importante en el ciclo del agua y los nutrientes, y pueden influir de forma directa en la nutrición del árbol hospedero; además, desempeñan un papel valioso en la dinámica de las comunidades al estratificarse verticalmente, desde los troncos de los árboles hasta las copas del dosel, por lo que ofrecen una gran variedad de nichos y recursos que son aprovechados por distintos animales, con lo que contribuyen al incremento de la biodiversidad de las comunidades donde se encuentran. Es importante

Figura 4
Identificación taxonómica de las orquídeas ubicadas en las UMA
y acondicionamiento de senderos



Fuente: elaboración propia.

destacar que las orquídeas no causan daño alguno a sus hospederos, a diferencia de las especies parásitas (Ceja Romero et al., 2008).

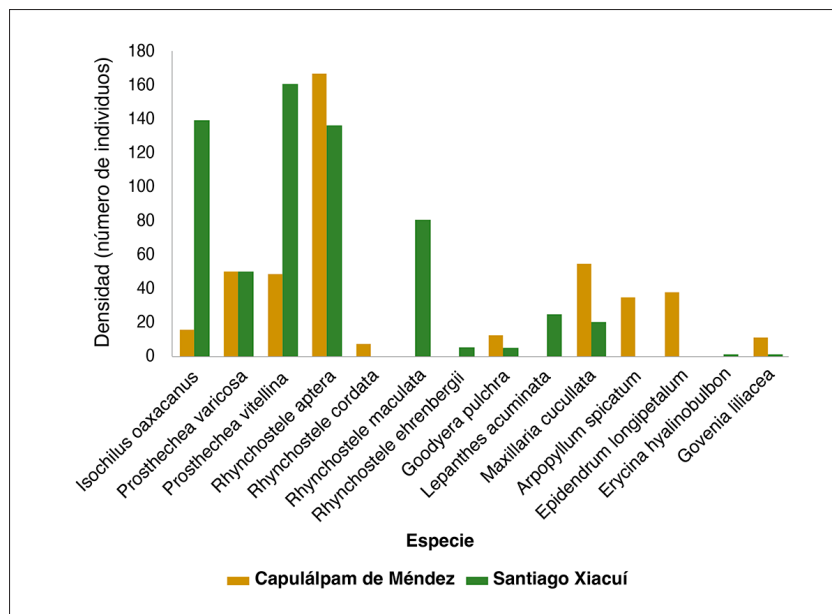
Posteriormente, se elaboró el inventario de todas las especies dentro de cada una de las UMA de Capulálpam y Xiacuí durante la anualidad de aprovechamiento. Luego se realizó su clasificación taxonómica y el análisis de diversidad mediante los índices de Simpson, Shannon y Margalef. Se excluyeron las plántulas pequeñas, aquellas que sólo contenían uno o dos pseudobulbos, debido a que su tamaño reducido y características poco desarrolladas dificultan su identificación precisa.

Esta exclusión se aplicó en especial a las plántulas ubicadas en la parte superior del hospedero, ya que presentan una alta vulnerabilidad y baja probabilidad de supervivencia, lo que las hace poco confiables para incluirlas en el inventario de individuos.

Para la identificación taxonómica se utilizaron claves dicotómicas basadas en el catálogo digital de la Asociación Mexicana de Orquideología AC. Esta herramienta permite realizar una clasificación sistemática de cada orquídea, lo cual asegura la correcta determinación de sus características botánicas.

Además, esta identificación fue corroborada de manera rigurosa por especialistas en Orchidaceae, quienes aportaron su conocimiento y experiencia para validar la identificación. A las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) se les asignó su estatus de riesgo, el cual se registró en una lámina de aluminio junto con las iniciales del género y la

Figura 5
Total de especies encontradas en la UMA de Capulálpam y Xiacuí



Fuente: elaboración propia.

especie como una herramienta de referencia visual, ya que esto facilita la identificación rápida y precisa de las orquídeas en futuras inspecciones. Durante cada fase del proceso se realizaron intervenciones de poda y riego para promover su crecimiento e hidratación.

Asimismo, se realizaron actividades de mantenimiento dentro de las UMA para garantizar que las orquídeas reciban los cuidados necesarios para su preservación a largo plazo. Estas actividades incluyeron riego periódico adaptado a las necesidades de la especie y a las condiciones ambientales; control de plagas y enfermedades mediante inspección visual; poda selectiva de ramas que pudieran obstaculizar el manejo y cuidado de las orquídeas, y mantenimiento de caminos y senderos internos mediante el retiro de hojarasca y obstáculos para facilitar el acceso seguro al personal. Se realizó un registro quincenal del estado de las plantas en el cual se documentó la sobrevivencia, el crecimiento, la floración y posibles incidencias (figura 4, p. 6).

Análisis de datos

A partir de la información obtenida en campo, los datos del inventario en cada UMA se registraron en Excel. Para estimar la diversidad de especies se calculó la diversidad alfa con los índices de Simpson (d), Shannon (h) (Melo-Cruz y Vargas-Ríos, 2003) y Margalef (Magurran, 1988), por medio del programa Past 3.21. Estos índices se utilizan frecuentemente como indicadores ambientales para evaluar la salud de los ecosistemas (Manzanilla Quijada et al., 2020).

Tabla 1
Especies identificadas de manera conjunta
en Capulálpam y Xiacuí

Género	Especie
<i>Isochilus</i>	<i>oaxacanus</i> Salazar y Soto Arenas
<i>Prosthechea</i>	<i>varicosa</i> (Lindl.) W. E. Higgins
<i>Prosthechea</i>	<i>vitellina</i> (Lindl.) W. E. Higgins
<i>Rhynchostele</i>	<i>aptera</i> (La Llave & Lex.) Soto Arenas & Salazar
<i>Rhynchostele</i>	<i>cordata</i> (Lindl.) Soto Arenas & Salazar
<i>Rhynchostele</i>	<i>maculata</i>
<i>Rhynchostele</i>	<i>ehrenbergii</i>
<i>Goodyera</i>	<i>pulchra</i> Salazar (inéd.)
<i>Lepanthes</i>	<i>acuminata</i> Salazar & Soto Arenas
<i>Maxillaria</i>	<i>cucullata</i> Lindl.
<i>Arpophyllum</i>	<i>spicatum</i> La Llave & Lex
<i>Epidendrum</i>	<i>longipetalum</i> A. Rich. & Galeotti
<i>Erycina</i>	<i>hyalinobulbon</i> (La Llave & Lex.) N. H. Williams & M. W. Chase
<i>Govenia</i>	<i>lilicea</i> (La Llave & Lex.) Lindl.

Fuente: elaboración propia.

Resultados y discusión

Densidad de orquídeas

En la UMA de Capulálpam se registró un total de 437 individuos, mientras que en la UMA de Xiacuí fue de 621 en total (figura 5, p. 7). Estas cifras corresponden a la suma de los individuos previamente establecidos en cada UMA y aquellos que fueron rescatados y reubicados recientemente durante el presente estudio. En total se identificaron catorce especies silvestres pertenecientes a la familia Orchidaceae, registradas de manera conjunta en las dos localidades estudiadas (tabla 1).

Resultados similares fueron reportados por Pérez (1999) en la comunidad de Xiacuí, quien identificó las mismas especies de orquídeas en su estudio en esta localidad.

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, se identificaron algunas especies de orquídeas que se encuentran incluidas en alguna categoría de riesgo: *Isochilus oaxacanus*, *Govenia lilicea* y *Rhynchostele ehrenbergii* se encuentran sujetas a protección especial (Pr) y *Prosthechea vitellina*, *Rhynchostele aptera* y *Rhynchostele cordata* se encuentran en categoría de riesgo amenazada (A).

En contraste, Baltazar y Solano (2020) reportaron una densidad mucho mayor, con 2,807 individuos pertenecientes a 39 especies de orquídeas terrestres y veinte géneros, en un área protegida de pino-encino y mesófilo de montaña. Esta comparación indica que las áreas protegidas pueden tener una mayor diversidad y densidad de orquídeas debido a la me-

nor perturbación y mejores condiciones de conservación. Para el caso de las UMA de Capulálpam y Xiacuí, aunque presentan cantidades menores, se considera que albergan un número significativo de individuos. Esto indica que, a pesar de la gestión forestal, estas áreas son muy importantes para la conservación de orquídeas en estas comunidades.

Índice de Shannon-Wiener

El índice de Shannon-Wiener mide la diversidad de especies en una comunidad ecológica, teniendo en cuenta tanto el número de especies como su distribución equitativa (Reyes Reyes et al., 2022). En los orquidearios de Capulálpam y Xiacuí, los valores obtenidos de la totalidad de especies previamente establecidas y rescatadas fueron 1.9 y 1.81, respectivamente, lo que indica una diversidad baja. Estos valores indican que, aunque hay varias especies presentes, algunas dominan sobre otras, lo que refleja una distribución desigual.

Este índice bajo podría ser el resultado de factores ecológicos locales, como las características del hábitat, la competencia entre especies o la intervención humana (Medrano Meraz et al., 2017).

Índice de Simpson (D)

El índice de Simpson evalúa la dominancia de los taxones más representativos en una comunidad, lo que significa que, a medida que el valor del índice aumenta, la diversidad disminuye (Manzanilla Quijada et al., 2020). En el orquideario de Capulálpam de Méndez, la especie predominante fue *Rhynchostele aptera*, con un valor del índice de 0.79, mientras que, en Santiago Xiacuí, la especie dominante fue *Prosthechea vitellina*, con un valor del índice de 0.80.

Estos valores indican que, en ambas localidades, la diversidad está influenciada por la alta dominancia de una o pocas especies, lo que indica una menor equidad en la distribución de los individuos entre las especies (Salmerón López et al., 2017). El resultado para el índice de Simpson revela que se tiene una comunidad vegetal con una diversidad baja, ya que estos valores se encuentran contemplados del 0 al 1, en donde, entre más cercano al uno, la diversidad será mayor (Valdez et al., 2018). Sin embargo, aunque la diversidad de especies es baja, el número de individuos por especie es significativo (Moreno et al., 2011).

Índice de Margalef

El índice de Margalef es una forma sencilla de medir la biodiversidad, ya que proporciona datos de riqueza de especies de la vegetación. Mide el número de especies por número de individuos especificados o la cantidad de especies por área en una muestra. Un valor más alto en este índice indica una mayor diversidad, mientras que en un valor más bajo existe una menor riqueza de especies (Guerrero et al., 2020).

En este caso, los valores obtenidos para Capulálpam (1.48) y Xiacuí (1.55) son relativamente bajos, lo que indica que ambas localidades presentan una diversidad de especies limitada en comparación con otras áreas. Este resultado indica que, aunque hay varias especies presentes en ambos orquidearios, la cantidad de especies distintas es moderada y podría estar influenciada por factores como la intervención humana en el hábitat. Las especies encontradas en los orquidearios provienen de las áreas de corta y no son una muestra representativa de la distribución de especies en el predio.

En las comunidades de Capulálpam y Xiacuí, el cuidado del bosque no sólo asegura bienes y servicios ambientales para las futuras generaciones; también permite conservar la gran riqueza de plantas que viven en él, como las orquídeas y otras epífitas. Se ha visto que cuando se aplica el método de corta de selección de árboles en la ejecución de un PMF estas plantas logran mantenerse, ya que siempre quedan árboles que sirven como soporte y refugio. En cambio, prácticas más agresivas, como la reforestación artificial con una sola especie o la matarrasa (corta total de árboles), reducen la diversidad y ponen en riesgo estas especies.

Por ello, es recomendable que, al momento de reforestar, no se planten únicamente pinos, sino que se incorporen también árboles nativos de la región, lo que ayuda a conservar la estructura original del bosque. Igualmente es importante mantener fragmentos de bosque natural, pues en ellos el clima es más fresco y húmedo, condiciones ideales para las orquídeas. Además, si los parches de bosque se mantienen conectados entre sí y con árboles aislados, se facilita el intercambio de semillas y la regeneración natural de estas especies.

Otro aspecto fundamental es conservar árboles de mayor edad, ya que las epífitas tardan muchos años en establecerse; los ejemplares jóvenes no pueden reemplazar fácilmente el papel de los árboles viejos. De la misma manera, conviene evitar la matarrasa, porque no sólo afecta las orquídeas, sino también el agua, el suelo y la vida de muchas otras especies.

Una alternativa positiva es rescatar las orquídeas de las zonas donde se realiza corta y trasladarlas al orquideario comunitario, lo que permite mantenerlas vivas y, al mismo tiempo, explorar formas de aprovechamiento sustentable y comercialización legal que beneficien económicamente a la comunidad. Por último, es importante que estas acciones no se limiten a una sola localidad: la conservación debe pensarse a nivel regional, ya que los bosques de toda la Sierra de Juárez están conectados y forman parte de un mismo patrimonio natural.

Conclusiones

Mediante el programa de rescate y salvaguarda operado en las zonas de aprovechamiento de ambas comunidades se logró salvaguardar, durante la anualidad de aprovechamiento, 1,058 plantas de orquídeas, 621 para Xiacuí y 437 para Capulálpam, lo que indica mejores condiciones ecológicas en la primera localidad.

Se identificaron catorce especies de orquídeas entre las dos comunidades. Aunque los índices de Shannon-Wiener (1.9 y 1.81) y Margalef (1.48 y 1.55) indican una diversidad baja, con una distribución desigual de las especies, dominada por unas pocas especies en cada orquideario; sin embargo, la abundancia de estos individuos por especie es significativa en los orquidearios y a nivel predio.

El empleo de índices de diversidad para evaluar la riqueza y abundancia de especies ofrece una base científica sólida para definir criterios de conservación; para el caso, aplicables para la guía de acciones para la conservación de la biodiversidad de los hábitats, con respaldo de información numérica de censos, los cuales son fundamentales para la toma de decisiones en el manejo forestal.

Referencias

- Andrade, C. P., y Contreras, M. P. (2023). Monitoreo sobre problemas ambientales y sustentabilidad en Twitter y portales digitales, Veracruz 2022. *UVSERVA. Revista Electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana*, (16), 59-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9154348>
- Baltazar, S. y Solano, R. (2020). Diversidad y rasgos funcionales de orquídeas terrestres en bosques de un área natural protegida del noreste de México. *Botanical Sciences. Formerly Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 98(4), 468-485. <https://doi.org/10.17129/botsci.2600>
- Ceja Romero, J., Espejo Serna, A., López Ferrari, A. R., García Cruz, J., Mendoza Ruiz, A. y Pérez García, B. (2008). Las plantas epífitas, su diversidad e importancia. *Ciencias*, 1(91), 34-41. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463006.pdf>
- Emeterio-Lara, A., Palma-Linares, V., Vásquez-García, L. M. y Mejía-Carranza, J. (2016). Usos y comercialización de orquídeas silvestres en la región sur del estado de México. *Polibotánica*, 42, 197-214. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.10>
- García-López, U. E., Ruiz-Santiago, M., Lagunez-Rivera, L. y Solano, R. (2025). Utilidad de los portales en línea de ciencia ciudadana para estudios florísticos: Orquídeas de Santa María Yucuhiti, Oaxaca, México. *Botanical Sciences. Formerly Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 103(1), 244-260. <https://doi.org/10.17129/botsci.3578>
- Guerrero Rubio, J. P., Tasambay Salazar, A. M., Cofre Santos, F., Jácome Segovia, C. S., Valverde Lara, C. R. y Jiménez Rojas, Y. (2020). Evaluación y restauración ecológica "Lisan Wasi" comunidad San Pedro, parroquia Tarqui, Cantón Pastaza. *Ciencia y Tecnología* 13(1), 17-25. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i1.344>
- Jiménez Bautista, L., Damon, A., Ochoa-Gaona, S. y Clark Tapia, R. (2014). Impact of silvicultural methods on vascular epiphytes (ferns, bromeliads and orchids) in a temperate forest in Oaxaca, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 329, 10-20, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.053>

- Jiménez-López, D. A., Pérez-García, E. A., Martínez-Meléndez, N. y Solano, R. (2019). Orquídeas silvestres comercializadas en un mercado tradicional de Chiapas, México. *Botanical Sciences. Formerly Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 97(4), 691-700. <https://doi.org/10.17129/botsci.2209>
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Manzanilla Quijada, G. E., Mata Balderas, J. M., Treviño Garza, E. J., Aguirre Calderón, O. A., Alanís Rodríguez, E. y Yarena Yamallel, J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 94-123. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/703>
- Medrano Meraz, M. J., Hernández, F. J., Corral Rivas, S. y Nájera Luna, J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57-68. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000200057
- Melo-Cruz, O. A. y Vargas-Ríos, R. (2003). *Evaluación ecológica y silvicultura de ecosistemas boscosos*. Universidad del Tolima. <https://es.scribd.com/document/11436235/Evaluacion-Ecologica-y-Silvicultural-de-Ecosistemas-Boscosos>
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249-1261. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v82n4/v82n4a19.pdf>
- Pérez, P. G. (1999). *Diversidad de orquídeas en los bosques pertenecientes a la uzachi, Sierra Juárez, Oaxaca*. Memoria de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23, Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, México.
- Reyes Reyes, J., Rodríguez Morales, J. A., Pimienta de la Torre, D. J., Fuentes Pérez, M. A., Marroquín Morales, P., Merino García, A. y Aguirre Medina, J. F. (2022). Diversidad y estructura de los árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1191>
- Salmerón López, A., Geada López, G. y Fagilde Espinoza, M. C. (2017). Propuesta de un índice de diversidad funcional: aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental. *Bosque (Valdivia)*, 38(3), 457-466. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000300003>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (30 de diciembre de 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. *DOF, DCLXXXVII*(23), Segunda Sección, ed. mat. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/1/nom-059-semarnat-2010_30-dic-2010.pdf

- Sierra-Giraldo, J. A., Giraldo-Pamplona, W. y Cuartas-Rescate, L. F. (2023). Rescate, traslado, reubicación y monitoreo de epífitas vasculares (Araceae, Bromeliaceae y Orchidaceae) en la región del Guavio (Cordillera Oriental colombiana). *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 27(1), 33-51. <https://doi.org/10.17151/bccm.2023.27.1.2>
- Tejeda-Sartorius, O., Téllez-Velasco, M. A. A. y Escobar-Aguayo, J. J. (2017). Estado de conservación de orquídeas silvestres (Orchidaceae). *Agroproductividad*, 10(6), 3-12. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/es/article/view/1031>
- Valdez, C. G. M., Guzmán, M. A. L., Valdés, A. G., Forougbakhch, R., Alvarado, M. A. V. y Rocha, A. E. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674-1682. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32135>

ARTÍCULOS

Género: una mirada desde la filosofía griega y las religiones

Gender: a view from greek philosophy and the religions

Maricela Guzmán Cáceres

ORCID: 0000-0003-1180-842X, maricela.guzman@enesmerida.unam.mx

Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Unidad Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Recepción: 22/01/25. Aceptación: 22/10/25. Publicación: 19/08/26

RESUMEN

Las teorías feministas y de género han demostrado que el género, como construcción cultural, influye en la vida cotidiana, social y política. La filosofía ha debatido sobre el conocimiento, la ética y los valores, y ha dado valor ontológico distinto a hombres y a mujeres, mientras que las religiones, a lo largo de la historia, han establecido el patriarcado como sistema social, con el hombre como cabeza de familia y dueño del patrimonio. Es hasta el siglo XX, con la formalización de los estudios feministas y de género, cuando se refutan las concepciones fundamentalistas de la filosofía y las religiones y se crean distintas teorías que explican la diferencias entre los géneros desde una perspectiva científica, partiendo de distintas ciencias sociales y naturales.

PALABRAS CLAVE

género, filosofía, religión, estudios de género

ABSTRACT

Feminist and gender theories have shown that gender, as a cultural construct, influences daily, social, and political life. Philosophy has debated knowledge, ethics, and values, and has assigned different ontological value to men and women, while religions, throughout history, have established patriarchy as a social system, with men as heads of households and owners of property. It was not until the 20th century, with the formalization of feminist and gender studies, that the fundamentalist conceptions of philosophy and religion were refuted and various theories were developed to explain gender differences from a scientific perspective, drawing on various social and natural sciences.

KEYWORDS

gender, philosophy, religion, gender studies

Introducción

El patriarcado surge progresivamente a partir de la revolución neolítica y el desarrollo de la agricultura, que dio lugar a la propiedad privada y la acumulación de riqueza en el plano económico. Con ello se estableció una división del trabajo en la que la mujer tiene como tarea principal la reproducción de la especie y el hombre la protección y el liderazgo de la comunidad, lo que consolidó la autoridad masculina en la familia y la sociedad. Este orden patriarcal se ha manifestado en los campos social y político.

Tanto la filosofía como las religiones están imbuidas en la organización social patriarcal y han naturalizado las inequidades de género. Es hasta el siglo xx, con la formalización de los estudios feministas y de género, cuando se refutan las concepciones fundamentalistas de la filosofía y las religiones y se crean distintas teorías que explican las diferencias entre los géneros desde una perspectiva científica, partiendo de distintas ciencias sociales y naturales.

En el plano de la sexualidad, en el marco de las sociedades líquidas posmodernas (Bauman, 2005), caracterizadas por la constante transformación y falta de estructuras estables, también los géneros se han desdibujado. Los individuos enfrentan incertidumbre y cambios rápidos en todos los aspectos de la vida, desde la identidad hasta las relaciones sociales y laborales.

La otrora clara división entre los papeles y formas de actuar y moverse en el mundo de hombres y mujeres se ha fragmentado. Respecto a la sexualidad, las sociedades han tenido distintas formas de vivenciarla y normarla: ha habido épocas, como en la sociedad griega, en las que la homosexualidad era aceptada, mientras que en los países cristianos se castigaba, lo cual no ha impedido que los individuos vivan su sexualidad como mejor les parezca. En el momento actual, sobre todo en los países del primer mundo, la heterosexualidad se ha convertido en una opción más entre muchas otras formas de vivir la sexualidad, en donde los *roles* (funciones) de género son intercambiables y ya no existe más un modelo o tipo ideal (en el sentido weberiano) de hombre o mujer. Los límites entre quién o qué es una mujer o un hombre no están claros.

Este ensayo hace una breve revisión, desde los filósofos griegos Platón y Aristóteles y de las religiones con más seguidores en el mundo —el cristianismo y el islam—, de las formas tradicionales de concebir y vivir el género, y finaliza con una conclusión en la que se discute cómo, en la actual sociedad líquida, la otrora división genérica está rebasada por los géneros difusos, esto es, que si bien la diversidad sexual ha existido históricamente en todas las sociedades, es en el momento actual cuando en el mundo occidental se da una apertura sin precedentes a las diversas formas de vivir la sexualidad y el género.

Antes de abordar los temas centrales cabe aclarar las distinciones entre conceptos tratados. Por *sexo* nos referimos al sexo biológico de las personas, que hace referencia a las características biológicas y fisiológicas que definen a hombres y mujeres. El *género* se refiere a los

papeles, conductas, actividades y atributos contruidos socialmente que una cultura determinada considera apropiados para hombres y mujeres.

La sexualidad la entendemos con Butler (2024) como una construcción social y performativa, no como una expresión natural o fija. Por lo tanto, la sexualidad no surge simplemente de una esencia biológica o interna, sino que se forma y se expresa a través de normas culturales, discursos sociales y prácticas repetidas que le dan sentido. En este orden de ideas, Butler (2024) sostiene que la sexualidad está regulada por estructuras de poder que determinan qué formas de deseo son aceptables y cuáles no. Finalmente, la identidad de género es la vivencia interna y personal del género, tal como cada persona la siente profundamente, lo que puede corresponder o no con el sexo asignado al nacer. En tal sentido, la identidad es interna y subjetiva y no depende de lo que otros perciban o digan, sino de cómo la propia persona se reconoce.

Concepciones de hombre y mujer desde el pensamiento griego

En la filosofía griega, fuente primordial del pensamiento occidental, se considera al hombre (masculino), como una entidad universal y eje de todas las cosas, en tanto las mujeres representan la imperfección, el subdesarrollo o la rareza (Biedma López, 2008). Ambos, con cualidades diferenciadas: los hombres representan el valor, la firmeza, el coraje o la valentía en tanto las mujeres los atributos opuestos.

Galeno, célebre médico griego, afirmaba que “lo mismo que la clase humana es la más perfecta entre los animales, dentro de la especie humana, el hombre es más perfecto que la mujer y la razón de esta perfección es su exceso de calor vital, porque el calor es el instrumento primario de la naturaleza” (Gómez Rodríguez, 2004, p. 51), argumento que justificaba el papel secundario de las mujeres en la sociedad. Para Galeno, los cuerpos masculino y femenino no eran distintos: la mujer era simplemente un hombre invertido; inclusive se pensaba que los órganos sexuales femeninos eran idénticos a los de los varones, sólo que ellas los tenían por dentro.

El pensamiento de los filósofos griegos Platón y Aristóteles refleja la percepción que se tenía de las mujeres en el mundo antiguo. Ambos filósofos comunicaron las observaciones que ellos hacían en su tiempo, cuando las mujeres no tenían mucho que demostrar a la sociedad de la época, encasilladas en el papel de *madresposas*, esclavas, sirvientas o ayudantes en el comercio. Es relevante tomar en cuenta que el papel de madres como reproductoras de la especie ha sido valorado como indispensable para la sociedad, al punto de que, en medio del panteón de dioses griegos masculinos, destaca Gea, la Diosa Madre, que los romanos adoptaron como Gaia. Cabe señalar que la diosa madre se encuentra en culturas como la azteca, inca, maya, y en casi todas las culturas de la antigüedad.

Platón, en su obra *Timeo*, compara a hombres y mujeres argumentando que las mujeres venían al mundo por una especie de mutación degenerativa: las almas de los varones

cobardes se encarnaban después de la muerte en mujeres. Las mujeres eran así, hombres disminuidos, degenerados; eran género humano *anthropoi* (ἄνθρωποι), pero imperfecto (citado por Gómez Rodríguez, 2004, p. 42). Por otra parte, aunque Platón no dudaba respecto a la inferioridad de las mujeres, pensaba que las facultades humanas eran comunes para ambos sexos; sin embargo, hay una diferencia de grado y las mujeres podrían desempeñar ciertas funciones tradicionalmente atribuidas a los hombres, siempre y cuando fueran educadas para ello (Guzmán Cáceres, 2022).

Platón argumenta implícitamente que hombres y mujeres tienen la misma naturaleza y que, por lo tanto, no hay diferencias en los tipos de tareas que se les pueden asignar. Para este filósofo, las mujeres se caracterizan por ser, en general, versiones más débiles de los hombres. Respecto a la condición de las mujeres en la *polis* (ciudad-Estado) en que vivió Platón, Horowitz (2010) destaca que las mujeres *libres* —es decir, aquellas que no eran esclavas— vivían en esa época en una situación de servidumbre doméstica, ya que no sólo se les negaba cualquier papel público en la vida de la *polis*, sino que se las mantenía recluidas en casa para gestionar las labores del hogar.

En Grecia, hombres y mujeres eran sancionados por la ley con un doble rasero. Por ejemplo, el adulterio, por definición, era el hecho de que una mujer casada tuviera relaciones sexuales con un hombre que no fuera su marido. Para los hombres no aplicaba esta definición, entendiéndose que ellos no cometían adulterio al practicar una conducta similar.

Platón abogó por la igualdad entre hombres y mujeres guardianes, que era la clase social más alta y selecta en la *polis*, encargada de gobernar con sabiduría y justicia. En el libro V de la *República*, Platón sostiene que las mujeres deben desempeñar las mismas tareas que los hombres y, por lo tanto, recibir la misma educación.

Para defender esta idea, Platón plantea la hipótesis de que las mujeres y los hombres son iguales en su naturaleza y origen. Sin embargo, también propone que todo lo que pertenece al *oikos*,¹ tanto los bienes como la familia, debe ser común (*koinós*), lo cual garantiza la cohesión social y la armonía política (Sonna, 2022). Este discurso de Platón en torno a las mujeres en el que, por una parte, las considera iguales a los hombres, otorgándoles derechos y liberándolas de la dominación masculina, mientras que, por otra, las sitúa aparentemente en calidad de propiedad de los hombres, ha propiciado profundos debates en torno a si Platón suscribió en realidad la igualdad de las mujeres —por lo cual es considerado por algunas teóricas como el primer feminista— o si las considera propiedad de los hombres (Horowitz, 2010).

¹ El *oikos* se refiere a la casa o unidad básica de la vida en la Grecia antigua, que incluía no sólo la vivienda sino también la familia extendida, personas libres y esclavos que trabajaban para el sustento del grupo, todo lo cual constituía una unidad económica y social anterior a la ciudad-Estado (*polis*).

Aristóteles, discípulo de Platón, se opone a las ideas expuestas por su maestro en la *República*. De acuerdo con Aristóteles, las mujeres se equiparan con los esclavos, por lo cual son una subespecie del ser humano; de ahí que se justifique el que no tengan capacidad de ciudadanía, ni sean capaces de tener derechos legales, ni siquiera para administrar sus propios bienes. Esto las ubica en el único campo en el que pueden estar, esto es, en los hogares, cuidando de los esclavos y de sus hijos (Gómez Rodríguez, 2004).

Para Aristóteles el mundo estaba formado de opuestos y, en ese sentido, las mujeres eran fundamentalmente más frías, húmedas y pasivas, mientras que los hombres eran cálidos, secos y activos. Aristóteles *descubrió* que las mujeres eran inferiores debido al hecho de que sus cuerpos estaban demasiado fríos para producir semillas (o semen); en cambio, los machos aportan a la generación la forma o el principio del movimiento, mientras que la hembra proporciona sólo el cuerpo, funcionando como un depósito de esperma y un receptáculo nutritivo para un feto en desarrollo (Huber, 2015). En el pensamiento de Aristóteles: "Parecen hombres, son casi hombres, pero son tan inferiores que ni siquiera son capaces de reproducir a la especie, quienes engendran los hijos son los varones [...] son meras vasijas vacías del recipiente del semen creador" (Galeote, 2017).

Las ideas de Aristóteles son las de una sociedad dual y jerárquica, donde las personas tienen distintas funciones de acuerdo con su condición social, y las mujeres son inferiores y dependientes de los hombres. Para Aristóteles, la mujer tiene

una disposición más suave, más compasiva, más inclinada al llanto, más impulsiva, más celosa, más desconfiada, más cobarde, más falsa, más inclinada a la murmuración y al enojo; posee menos vergüenza y dignidad, es menos activa y requiere menor cantidad de alimentos, pero es más cuidadosa con su prole y tiene mayor memoria. El hombre, en cambio, es más salvaje, más simple, pero superior espiritualmente a la mujer, más completo, más perfecto, más dispuesto a ayudar y más vigilante (Galeote, 2017).

En su biología del sexo, Aristóteles afirmó que ambos sexos tenían un alma capaz de razonar; sin embargo, debido a que las mujeres eran incapaces de controlarse a sí mismas física y psicológicamente, estaban condenadas a ser serviles a los hombres. Con base en esto, Aristóteles creyó que la forma racional, fuerte, activa y perfecta de la humanidad (el hombre) debería recibir una educación y ocupar posiciones de poder. Las mujeres, al estar dotadas de irracionalidad, debilidad, pasividad e imperfección, no eran capaces de razonamiento abstracto y estaban ligadas al ámbito doméstico. Hasta la Edad Media, esta fue la opinión que predominó en el mundo occidental (Huber, 2015), pero en el plano político y social todavía hoy sus ideas sobre la inferioridad de las mujeres están vigentes en religiones, sistemas educativos y gobiernos cuyas leyes discriminan a las mujeres.

Hombre y mujer en el cristianismo y el islam

El origen de las religiones se remonta a la prehistoria y está vinculado con la evolución de las sociedades humanas, en el afán de compartir emociones y pedir a los dioses por sus necesidades alimenticias, protección ante desastres naturales y el paso hacia otra vida después de la muerte. Las primeras religiones fueron politeístas y animistas, lo que dio lugar en épocas más recientes al monoteísmo.

En la antigüedad pocos sistemas sociales tuvieron el poder de influencia de las religiones, las cuales han contribuido en gran medida a expandir y legitimar la desigualdad social y, de manera importante, la desigualdad de género. En pleno siglo XXI, las religiones siguen siendo pilares del imaginario social sobre el género, a partir de una base patriarcal.

De acuerdo con estimaciones, cerca del 85% de la población mundial se identifica con alguna religión (World Population Review, 2022), y el cristianismo, con todas sus denominaciones, es la religión mayoritaria, con 2.38 billones de personas practicantes alrededor del mundo, en tanto que el islam, con todas sus ramas, constituye la segunda religión mayoritaria, con 1.91 billones de personas (World Population Review, 2022). Se estima que en 2050 existirán tantos adeptos musulmanes como cristianos (Pew Research Center, 2015).

Tanto el cristianismo como el islam son religiones monoteístas, derivadas de la tradición abrahámica, en tanto que la tercera religión con mayores adeptos en el mundo es el hinduismo, politeísta, el cual es practicado por aproximadamente 1.16 billones de personas (World Population Review, 2022). Se calcula que existen actualmente cerca de 4,300 religiones en el mundo (Juan, 2006); sin embargo, en este artículo se hará referencia a las dos religiones que tienen más adeptos en el mundo: el cristianismo y el islam.

La moral que dictan las religiones ha constituido, en el pasado como en el presente, una fuente fundamental para la conciencia colectiva, la cual Durkheim define como la “totalidad de creencias y sentimientos comunes a los ciudadanos promedio de una misma sociedad [que] forman un determinado sistema que tiene vida propia” (Durkheim, 1984, pp. 38-39). Así, la conciencia colectiva es el conjunto de características y conocimientos comunes de una sociedad; son las normas y prácticas, así como los códigos culturales que llevan a cabo los individuos y que son similares en una sociedad determinada.

Para Marx (1970), la religión ha sido y es el opio de los pueblos, el mecanismo mediante el cual se somete ideológicamente a los seres humanos con base en promesas infundadas de paraísos *post mortem*, por lo que a Marx le interesa la vuelta a la realidad *terrenal*, en donde los hombres y mujeres se debaten en la ignominia y sus posibilidades de emancipación.

La visión *externa* de Marx, desde su sociología materialista, contrasta con el significado que la religión tiene para los creyentes, para los cuales practicar una religión es una especie

² Todas las citas son traducciones de la autora.

de medicina que alivia el vacío existencial que la vida misma no puede llenar, que dicta además las maneras de conducirse en el mundo y de resolver la mayoría de los problemas derivados de la cotidianidad del vivir. Es posible afirmar que la influencia de los valores y principios religiosos permea en los individuos, así sea que pertenezcan a estados y sociedades laicas, pues la sociedad es una fuerza supraindividual que existe independientemente de los actores que la componen y está formada por hechos sociales, condiciones y circunstancias externas al individuo pero que, sin embargo, determinan el curso de acción de éste (Durkheim, 1984).

De esta manera, la religión ha sido a lo largo de la historia una institución social fundamental en la vida de los seres humanos, ya sea en sociedades seculares o en estados teocráticos, y ha ejercido y ejerce un papel fundamental en las creencias de los sujetos. Así, en este artículo la religión se aborda desde su condición de generadora de un conjunto de explicaciones de la realidad, valores y principios que permean toda la sociedad y que, en lo particular, definen una concepción diferenciada del ser hombre y el ser mujer, su origen, sus funciones sociales y su valor.

La Biblia, texto sagrado de los cristianos, fue escrito en diferentes regiones y épocas. En su primer libro, denominado Génesis, escrito por Moisés, según la tradición, entre los años 1491 y 1450 a. C (Fairchild, 2019), se afirma: “Así que Dios creó al hombre a su propia imagen; a imagen de Dios lo creó; varón y hembra los creó” (*Bible Hub*, Génesis 1:27), y “entonces el Señor Dios indujo un sueño profundo sobre Adán; y cuando estaba profundamente dormido, tomó una de sus costillas y la llenó de carne. Y de la costilla que tomó de Adán, Dios el Señor edificó una mujer, y la trajo a Adán” (*Bible Hub*, Génesis 2:21-22). Y el hombre dijo: “Esta es ahora hueso de mis huesos y carne de mi carne; ella será llamada ‘mujer’ porque del hombre fue tomada [...]” (*Bible Hub*, Génesis 2:23). Quien nombra a la mujer es el hombre, en tanto fue creada a partir de su cuerpo, lo cual simbólicamente es relevante: la mujer no fue creada de forma individual, sino a partir del hombre.

Siguiendo con el relato bíblico del Génesis, Dios le dijo a la mujer: “Aumentaré considerablemente tu dolor en el parto; con dolor darás a luz a los hijos. Tu deseo será para tu marido, y él se enseñoreará de ti” (*Bible Hub*, Génesis 3-16). En estos versículos bíblicos encontramos dos condiciones muy notables: por un lado, se plantea que a la mujer le corresponde padecer durante la gestación y en el parto, y por otro, se asevera que el hombre, por mandato divino, tiene poder sobre la mujer.

Creada inicialmente como una *ayuda* y un complemento para el hombre, las mujeres tienen una función muy clara: apoyar, ser compañía; nacen y viven en función del otro: “El Dios Señor también dijo: ‘No es bueno que el hombre esté solo. Le haré una ayuda idónea’” (*Bible hub*, Génesis, 20). Las mujeres son *lo otro*, que se define a través de la negación, de lo que no son. Simone de Beauvoir (2011) llama a las mujeres *el segundo sexo*, en una sociedad en la que el hombre es el sujeto y el absoluto y la mujer *lo otro*, lo que se define en función de lo

que no es y según el pasaje bíblico, cuya razón última de existir es servir al sujeto masculino, tal como en la división sexual del trabajo: la mujer tiene su lugar en su casa, atendiendo las necesidades biológicas del hombre y sus hijos, y en caso de que lleve a cabo alguna actividad laboral fuera de su hogar, la responsabilidad central de las labores domésticas y de cuidado siguen siendo de ella.

Un claro ejemplo de las características ideales de una mujer virtuosa se encuentra en el siguiente pasaje de proverbios:

¿Una esposa de noble personalidad quién puede hallar?
Ella es mucho más preciosa que los rubíes.
El corazón de su marido confía en ella,
y nada le falta de valor.
Ella le trae bien y no mal
todos los días de su vida (*Biblia hub*, Proverbs, 31:11).

Haciendo un salto del inicio de la creación que plantea la Biblia a los comienzos de la vida cristiana, el apóstol Pablo expresa lo siguiente a Timoteo, haciendo alusión al pasaje del Génesis en el que la serpiente engaña a Eva para que se coma el fruto prohibido del jardín del Edén, para posteriormente invitar a Adán a comer también del mismo fruto: “pero no permito que la mujer enseñe ni que ejerza autoridad sobre el hombre, sino que esté en quietud; porque Adán fue formado primero, luego Eva: y Adán no fue engañado; pero la mujer, habiendo sido engañada, estaba en transgresión” (1890 *Darby Bible*, Timoteo, 2:12-14).

En los pasajes bíblicos citados se afirma la superioridad del hombre sobre la mujer, la cual se evidencia en la subordinación simbólica de las mujeres a la autoridad masculina, así como en la prohibición del sacerdocio femenino en la mayoría de las religiones cristianas y en la sumisión de las monjas a la orden sacerdotal.

Dando paso al islam, la segunda religión con más adeptos en el mundo, su libro sagrado, el Corán, fue revelado por el ángel Gabriel al profeta Mahoma (Muhammad), según la tradición; constituye el texto que contiene los principales preceptos de la fe islámica y es reconocido por todas las ramas del islam. La religión islámica, al igual que la cristiana, ha sido muy cuestionada por el estatus que asigna a las mujeres; sin embargo, como se verá a continuación, existe en el Corán una visión adelantada de los derechos de las mujeres, que en occidente fueron conquistados muchos siglos después de que se enunciaran en el Corán.

El Corán, al igual que la Biblia, plantea que existe una relación asimétrica entre hombres y mujeres; ontológicamente son diferentes y se plantea que primero fue creado el hombre y después la mujer. En la sura de las mujeres se puede leer: “¡Oh humanidad! Sed conscientes de

vuestro Sustentador, que os ha creado a partir de una entidad viviente, y de ella creó a su pareja, y de las dos esparció una multitud de hombres y mujeres” (Islam Awakened, 2022, sura 4, aleya 1).

No obstante, el Corán afirma que existen derechos tanto para las mujeres como para los hombres, pero éstos tienen un grado mayor sobre ellas:

[...] conforme a la justicia, los derechos de las mujeres [respecto de sus maridos] son iguales a los derechos [de los maridos] respecto de ellos, aunque los hombres tienen precedencia sobre ellos [en este respecto]. Y Dios es todopoderoso, sabio” (Islam Awakened, 2022, sura 2, aleya 228).

El islam permite la poligamia, los musulmanes pueden tener hasta cuatro esposas, con la justificación de que de esa forma protegen a los huérfanos y a las viudas, brindándoles sustento económico y un hogar, sobre todo en caso de guerra; sin embargo, se recomienda a los hombres que tengan más de una esposa tratarlas con equidad, y los bienes que se le otorguen a una esposa deben ser los mismos para las otras esposas. Por otra parte, las mujeres no tienen permitida la poliandria.

En la sociedad esclavista de la época en la que se reveló el Corán (610 d. C.), como en los actuales estados capitalistas en los que prevalece una desigual distribución de la riqueza, el *privilegio* de tener más de una esposa será de quien tenga las posibilidades económicas de hacerlo:

Si temes no poder otorgarles a las mujeres huérfanas sus derechos debidos si te casaras con ellas, entonces cástate con otras mujeres de tu elección: dos, tres o cuatro. Pero si tienen miedo de no poder mantener la justicia, entonces conténtense con una o esas esclavas en su posesión. De esta manera es menos probable que cometas injusticias (Islam Awakened, 2022, sura 4, aleya 3).

Las mujeres en el islam tienen derecho a recibir una dote por parte del esposo al momento del matrimonio; sin embargo, si ellas lo desean, pueden compartirla con su esposo sin que esto sea considerado un abuso: “Dad a las mujeres que tomen en matrimonio sus debidas dotes graciosamente. Pero si ellas renuncian a algo voluntariamente, entonces puedes disfrutarlo libremente con una conciencia tranquila” (Islam Awakened, 2022, sura 4, aleya 4).

Respecto a la herencia se dice que tanto a mujeres como a hombres les corresponde recibirla: “Para los hombres hay una parte de lo que dejan sus padres y parientes cercanos, y para las mujeres hay una parte de lo que dejan sus padres y parientes cercanos, ya sea poco o mucho. Estas son acciones obligatorias” (Islam Awakened, 2022, sura 4, aleya 7).

En relación a la función de las mujeres, ellas son consideradas en alta estima, sobre todo las madres, de quienes el profeta Mahoma dijo que “el paraíso yace bajo sus pies” (Hussein y

Imtoul, 2013). Además, en uno de sus hadices señaló que la mujer es igual al hombre y que una mujer es una fuente de consuelo para su esposo, al igual que lo es él para ella.

La sura Al-Rum Ayat 21 dice: "Y de Sus señales es que Él creó para vosotros, de ustedes mismos, compañeras para que halléis tranquilidad en ellas; y puso entre vosotros cariño y misericordia. Ciertamente en eso hay señales para un pueblo que piensa" (My Islam, 2022). Como vemos, el islam engrandece el papel de las mujeres como madres y como esposas, y estas últimas tienen igual valor que los hombres en la función de proporcionar paz y sosiego en el matrimonio; de ahí que las mujeres solteras, viudas o divorciadas no sean bien vistas por la religión musulmana y se busque a toda costa su *normalización* mediante el matrimonio, inclusive como la segunda, tercera o cuarta esposa de un musulmán.

Como se pudo apreciar, del mismo modo que en otras religiones monoteístas, como el cristianismo, tradicionalmente en el islam la participación de las mujeres ha sido poco reconocida tanto en los escritos religiosos como en su interpretación. De esta forma, a las mujeres no se les ha dado el mismo valor que a los hombres, y su participación en los centros de culto es acotada, pues son ellos quienes ocupan los cargos y funciones más importantes en las mezquitas.

En el Corán se plantea el derecho de las mujeres a la independencia económica, la educación, la propiedad y el divorcio; sin embargo, son las interpretaciones políticas y culturales de las leyes islámicas las que oprimen a las mujeres. Esto ocurre en algunos países en los que se prohíbe la educación y el trabajo y hay imposición de códigos de vestimenta estrictos, así como del uso obligatorio del velo para evitar las miradas lascivas masculinas, cuyo incumplimiento puede acarrear multas o castigos físicos, además de la aplicación de leyes que restringen sus derechos en el ámbito familiar, como la tutela o el divorcio, la violencia de género y la impunidad de los agresores.

Conclusión

La revisión del pensamiento de Platón, Aristóteles y Galeno respecto a la diferencia entre hombres y mujeres da cuenta de que la cultura occidental tiene sus cimientos en una visión patriarcal, en donde la mujer es vista como un ser inferior, creado a partir del hombre y que carece de los atributos de fortaleza, inteligencia y calor vital que ellos disfrutaban. Recluidas en sus hogares, las mujeres griegas eran las reinas de su casa, de la cual no les era permitido salir, con excepción de las hetairas, acompañantes de hombres poderosos, quienes sí recibían educación, que se especializaba en atender y distraer con sus pláticas y artes a tales personajes.

Sin embargo, hubo excepciones a la regla en la Grecia clásica, como la oradora Aspacia de Mileto, la poeta Safo y la científica matemática, filósofa y astrónoma Hypatia de Alejandría, quienes con su vida dieron ejemplo de que las capacidades de mujeres y hombres son iguales y fueron ampliamente reconocidas en sus campos en el mundo helénico.

La Biblia y el Corán comparten el mito de la creación, en el que el hombre fue creado primero y la mujer después, por lo que el primero tiene autoridad sobre la segunda. En el islam, las mujeres tienen algunos derechos que no tenían en la misma época las mujeres cristianas, por ejemplo el derecho a la herencia; sin embargo, en ambas religiones se considera que las mujeres tienen su lugar en el hogar cuidando a sus hijos, en tanto que los hombres se dedican a las actividades productivas.

En tiempos posmodernos, una gran proporción de hombres y mujeres son ateos, agnósticos, o bien practican una religión que ya no sigue los preceptos originales, sobre todo en el caso del cristianismo y sus múltiples ramas. En el caso del islam se trata de una religión mucho más conservadora y los principios emanados del Corán se siguen manteniendo como parte de la cotidianidad. Para los occidentales, el uso del *hijab* o velo en las mujeres es un símbolo de sumisión, pero para la mayoría de las practicantes musulmanas representa humildad y total entrega a Alá.

Tanto el pensamiento clásico griego como las dos religiones monoteístas con más practicantes en el mundo sustentan una idea de división entre mujeres y hombres, que se desdibuja en tiempos posmodernos en los que el género va más allá de la construcción social de la diferencia sexual entre ambos. Esto se complejiza con los géneros no binarios y las diferentes identidades sexo-genéricas que se adoptan desde la edad temprana y que rompen los esquemas de la visión tradicional del género.

Las contradicciones respecto a la performatividad del género (Butler, 2007) en el mundo actual son evidentes: por un lado, en lugares como Estados Unidos y Europa existe una visibilidad cada vez mayor de la agenda lésbica, *gay*, bisexual, transexual, intersexual, *queer*, entre otras, y hay una aceptación social de los derechos de estas comunidades, mientras que, por otro lado, las mujeres musulmanas en Irán son atacadas y acosadas por no usar el velo o *hijab* en público y la mutilación genital femenina continúa siendo aceptada en algunas partes de África, Asia oriental y Asia occidental, o en otras partes del mundo donde viven comunidades inmigrantes que proceden de países donde esta práctica es común.

Finalmente, coincidimos con Butler (2007) en que la performatividad de género no se considera como una identidad interna, innata, sino una construcción cultural y social que se crea a través de la repetición de actos y discursos que hacen realidad la noción de género, en lugar de simplemente expresar un género preexistente. Por lo tanto, no hay un género natural original sino una constante imitación y *performance*, que al naturalizarse da la apariencia de una esencia, lo cual deja la puerta abierta a que exista una redefinición de género, al subvertir y desnaturalizar la heterosexualidad.

Referencias

- Bauman, Z. (2005). *Modernidad líquida*. FCE.
- Beauvoir, S. de (2011). *The second sex*. Vintage.
- Bible Hub (2021). *Biblie Hub*. <https://biblehub.com/genesis/1-27.htm>
- Biedma López, J. (2008). El pensamiento de la diferencia sexual. *Boletín Millares Carlo*, (27), 315-331. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2864447.pdf>
- Butler, J. (2007). *El género en disputa. El feminismo y la subversión de la identidad*. Paidós. https://www.stunam.org.mx/17accion/cideg/biliotecadig/o8el_genero_en_disputa.pdf
- Butler, J. (2024). *Who's afraid of gender?* Farrar, Straus and Giroux.
- Durkheim, E. (1984). *The division of labor in society*. The Free Press. https://books.google.com.mx/books?id=B955X3C-9E8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbv_r&cad=o#v=onepage&q=forms%20a%20specific%20system%20that%20has%20a%20life%20of%20its%20own&f=false
- 1890 Darby Bible (2022). 1 Timoteo 2:12-14. *1890 Darby Bible*. Biblia by logos, sp. <https://biblia.com/bible/darby/1-timothy/2/12-14>
- Fairchild, M. (20 de diciembre de 2019). Introduction to the book of Genesis. *Learn Religions*, sp. <https://www.learnreligions.com/book-of-genesis-701143>
- Galeote, T. (14 de junio de 2017). De filósofos que no amaban a las mujeres. *nuevatribuna.es*, sp. <https://www.nuevatribuna.es/opinion/teresa-galeote/filosofos-no-amaban-mujeres/20170614144411140852.html>
- Gómez Rodríguez, A. (2004). *La estirpe maldita. La construcción científica de lo femenino*. Minerva Ediciones.
- Guzmán Cáceres, M. (2022). *Teoría feminista. Teoría de género. Lecturas de iniciación*. UAS. https://www.researchgate.net/publication/369169752_Teoria_feministaTeoria_de_genero_Lecturas_de_iniciacion
- Horowitz, A. (2010). Plato on gender: three different views. *Perspectives on Politics*, 11. https://www.yorku.ca/horowitz/courses/lectures/07_plato_gender.html
- Huber, K. (25 de febrero de 2015). *Everybody's a little bit sexist: a re-evaluation of Aristotle's and Plato's philosophies on women*. Lake Forest College, sp. <https://www.lakeforest.edu/news/everybodys-a-little-bit-sexist-a-re-evaluation-of-aristotles-and-platos-philosophies-on-women>
- Hussein, S. y Imtoul, A. (13 de diciembre de 2013). Paradise beneath her feet: Islam and the politics of reproductive rights. *ABC Religion & Ethics*, sp. <https://www.abc.net.au/religion/paradise-beneath-her-feet-islam-and-the-politics-of-reproductive/10099480>
- Islam Awakened (2022). The Qur'an. *Islam Awakened*, sp. <https://www.islamawakened.com/quran/#gsc.tab=o>

- Juan, S. (6 de octubre de 2006). What are the most widely practiced religions of the world? *The Register*, sp. https://www.theregister.com/2006/10/06/the_odd_body_religion/
- Marx, C. (1970). *Critique of Hegel's philosophy of right*. Cambridge University Press.
- My Islam (2022). Sura Ar-Rum Ayat 21 (30:21 Quran) with tafsir. *My Islam*, sp. <https://myislam.org/surah-rum/ayat-21/>
- Pew Research Center (2 de abril de 2015). The future of world religions: population growth projections, 2010-2050. *Pew Research Center*, sp. <https://www.pewresearch.org/religion/2015/04/02/religious-projections-2010-2050/>
- Sonna, M. A. (2022). La comunidad de mujeres en República de Platón. *Revista Estudios Feministas*, 30(1), e75479. <https://doi.org/10.1590/1806-9584-2022v30n175479>
- World Population Review (2022). Religion by country 2022. *World Population Review*, sp. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/religion-by-country>

ARTÍCULOS

La fosa mesoamericana: frecuencia sísmica y caracterización geomorfológica básica

The mesoamerican trench: seismic activity and its basic geomorphological characterization

Fidel Martínez García

ORCID: 0000-0001-7567-7161, fmg1376@yahoo.com.mx

Centro de Anteproyectos del Pacífico Sur (CAPS), Comisión Federal de Electricidad (CFE)

Recepción: 25/03/25. Aceptación: 22/10/25. Publicación: 17/06/26

RESUMEN

Este manuscrito ofrece un panorama actual sobre las características geomorfológicas de la fosa mesoamericana y su posible relación con la sismicidad local. Se analizan los avances en tecnología de teledetección para mapear y estudiar los fondos marinos; la importancia de la cooperación internacional para generar bases batimétricas globales en el estudio de las zonas de subducción mediante la interpretación geomorfológica, y la interacción geomorfológica entre la placa de Cocos y la placa Norteamericana. Se subraya la necesidad de un compromiso global para el uso sostenible de los océanos e investigaciones científicas que exploren la relación entre la geomorfología marina y la actividad sísmica a partir del uso de bases batimétricas más detalladas.

PALABRAS CLAVE

caracterización geomorfológica, sismos interplaca, sismos intraplaca, fosa mesoamericana, placa de Cocos

ABSTRACT

This manuscript offers an overview of the current knowledge about the geomorphological characteristics of the Mesoamerican Trench and its possible relationship with local seismicity. Advances in remote sensing technology for mapping and studying the seabed, the importance of international cooperation in generating global bathymetric databases for the study of subduction zones through geomorphological interpretation, and the geomorphological interaction between the Cocos plate and the North American plate. The need for a global commitment to the sustainable use of the oceans and the development of scientific research exploring the relationship between marine geomorphology and seismic activity using more detailed bathymetric databases is underlined.

KEYWORDS

geomorphological characterization, interplate earthquakes, intraplate earthquakes, mesoamerican trench, Cocos plate

Introducción

En términos de riesgo sísmico, en un rango de 350 km a la redonda, la Ciudad de México (CDMX) es una de las megalópolis mexicanas que más efectos negativos ha tenido entre su población y construcciones por la actividad sísmica. Lo anterior se sustenta en el hecho de que, a lo largo de 2024 en el territorio nacional, ocurrieron 1,970 sismos significativos de magnitud superior a 4 Mw, y varios de ellos dejaron sentir sus efectos negativos en esta ciudad (EarthquakeList.org, sf). Por su cercanía a la CDMX, en ese rango de distancia también se encuentran involucradas las ciudades de Cuernavaca, Puebla y Toluca.

De acuerdo con las estadísticas de la Earthquake List, el territorio mexicano ocupa el segundo lugar a nivel mundial en lo referente a la frecuencia sísmica, sólo desplazado por Indonesia; el tercero y el cuarto lugar le corresponden a Chile y Filipinas (figura 1, p. 3). Estos países tienen en común su cercanía con una zona de subducción o región donde la placa oceánica se hunde bajo la placa continental, un proceso tectónico causante de importantes terremotos. El 22 de mayo de 1960, en la falla de Valdivia, localizada en la zona de subducción del centro-sur de Chile, se presentó el evento más grande registrado con instrumentos. Tuvo una magnitud de 9.5 Mw. Cincuenta años después, en 2010, la misma falla presentó una nueva ruptura que ocasionó un terremoto de 8.8 Mw (Dzierma et al., 2012).

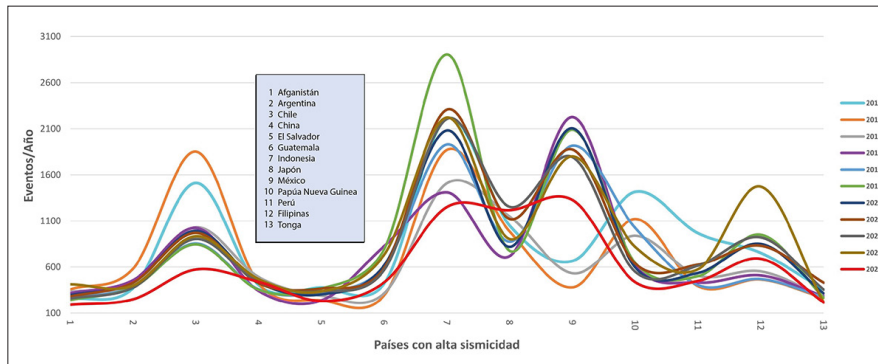
Coincidencia o azar: un recuerdo imborrable

En la época moderna permanecen en la memoria de los mexicanos los sismos de 1985 (8.1 Mw) y 2017 (7.1 Mw), eventos que, coincidentemente, ocurrieron un 19 de septiembre, pero con 32 años de diferencia entre ambos. El sismo de 1985 ocurrió 45 km al noroeste de La Mira, en las costas de Michoacán, a una profundidad de 15 km. De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (SSN), el sismo de 2017 se presentó a ocho km al noroeste de Chiautla de Tapia, Puebla, a una profundidad de 57 km (Astiz et al., 1987; SSN, 2017).

Esta condición desfavorable se debe primordialmente al proceso de subducción asociado a la fosa mesoamericana (MAT, por sus siglas en inglés). Ésta se localiza en la costa del Pacífico mexicano, y está dividida por la cordillera de Tehuantepec en la Trinchera de Acapulco, al sur de México, y la Trinchera de Guatemala, al sur de Centroamérica. En este lugar convergen la placa norteamericana (PNA) y la placa oceánica de Cocos (PC), consideradas las formaciones tectónicas más importantes y peligrosas de México (Yamamoto et al., 2013), ya que la oposición entre ellas es la responsable de la alta sismicidad en el centro, sur y sureste del territorio mexicano.

La morfología de la MAT corresponde a una trinchera abismal o fosa monumental localizada a 70 km de la costa, con 5,600 m de profundidad en promedio. Corre paralela al litoral desde Jalisco hasta Chiapas, pero continúa hasta Centroamérica dentro del océano Pacífico (figura 2, p. 4).

Figura 1
Ranking mundial de la frecuencia sísmica entre países



Fuente: elaboración propia.

A pesar de las coincidencias en fechas, los eventos sísmicos de 1985 y 2017 tienen sus particularidades y, estadísticamente, de ninguna forma indican una tendencia a la actividad sísmica para algún mes en particular, si bien esto no es del todo descartable (Allier Montaña, 2018; Singh et al., 2023). El evento de 1985 fue un sismo interplaca (entre las placas PNA y PC) que liberó 32 veces más energía que el de 2017, pero su epicentro estuvo a 400 km de la CDMX, en las costas de Michoacán (Martínez-García, 2019; Stone et al., 1987).

Este sismo es considerado el movimiento terrestre más catastrófico en la historia reciente de México e implantó un hito en la historia sismológica del país. La distancia que las ondas sísmicas recorrieron desde el epicentro en las costas michoacanas también ha sido considerada atípica, y evidenció el insuficiente conocimiento acumulado hasta entonces sobre el tema (Astiz et al., 1987; García-Acosta, 2004). Este suceso derribó edificios emblemáticos de la CDMX y dejó un número de víctimas incierto, si bien se han manejado cifras fluctuantes, locales e internacionales, entre dos mil y cuarenta mil decesos (Allier Montaña, 2018).

Por su parte, el terremoto de 2017 fue un evento intraplaca, es decir, ocurrió al interior de la placa oceánica de Cocos, que es subducida por la placa norteamericana. Es considerado el terremoto que ha ocurrido más cerca de la capital del país y ha sido calificado como el segundo más destructivo en el centro del territorio nacional. El epicentro se localizó a 110 km al sureste de la CDMX, es decir, que la ciudad quedó muy cerca de él. Sin embargo, la intensidad de las ondas sísmicas fue bastante débil debido a la trayectoria (directividad) con la que irradió la ruptura (dirección noreste), lo que limitó sustancialmente los daños a la infraestructura urbana (alrededor de 20%), no así para los estados de Morelos y Puebla (Arroyo et al., 2020; SSN, 2017).

El evento de 2017 ocurrió absurdamente dos horas con catorce minutos y cuarenta segundos después de haberse celebrado un simulacro nacional para rememorar el terremoto de 1985, exactamente a las 13:14:40, también un 19 de septiembre. Fue un movimiento telúrico

Figura 2
Morfología regional de la franja de convergencia entre la placa de Cocos y la placa norteamericana



Fuente: elaboración propia con base en Google Earth (Blue Marble Geographics, 2022; Google LLC, 2024).

sorpresivo que se dejó sentir en la CDMX y que causó daños sobre todo al sur de la ciudad. En un inicio se reportó la cifra de 115,220 viviendas afectadas en diversos estados del centro, sur y sureste del país; pero más tarde la Presidencia de la República dio cifras oficiales de 180,731 hogares afectados, de los cuales un 28% presentaba daño total. A pesar de su severidad, sólo un 4.5% de las edificaciones al sur de la CDMX, de entre dos y ocho pisos de altura, resultaron afectadas, pero se reportaron 228 personas fallecidas. Los estados del sur y sureste del país, como Morelos, Puebla y Chiapas, reportaron afectaciones en el 89% de este tipo de viviendas (Allier Montaño, 2018).

Al parecer la combinación de factores, como la trayectoria de la ruptura (directividad) y las placas tectónicas fragmentadas (Yamamoto et al., 2013; Singh et al., 2023), actuó a favor de la CDMX y los estados de México y Tlaxcala, pese a su cercanía con el epicentro; no así para las regiones sur y sureste de México, donde las ondas sísmicas se dejaron sentir con mayor intensidad. Y una vez más, aunque parezca absurdo o ilógico, pero científicamente explicable, cinco años después, también un 19 de septiembre pero de 2022, un sismo interplaca de 7.6 Mw ocurrió en la celebración de un nuevo aniversario de la tragedia de 1985, pero esta vez

45 minutos después del simulacro nacional (Singh et al., 2023). Por fortuna, factores como la lejanía del epicentro, una ruptura de falla (directividad) con trayectoria noroeste de tipo inversa y las barreras geográficas desempeñaron nuevamente un papel fundamental en la atenuación de daños y pérdidas humanas (Martínez García, 2022; Singh et al., 2023). Además, la alerta sísmica advirtió segundos antes del evento (SSN, 2022).

Sin duda, al ocurrir un sismo, la directividad es un factor notable que condiciona de forma sustancial la severidad de las ondas sísmicas al momento en que se inicia una ruptura. Éstas se propagan al frente de la zona de fractura generando movimientos del suelo más intensos, cuya aceleración en los primeros segundos es cercana a la velocidad de la onda de corte, capaz de causar daños significativos en edificaciones, ya que concentra un gran pulso de movimiento hacia el frente de la dirección de la fractura.

Esta energía deforma el suelo produciendo fallas, grietas y licuefacción, con el consecuente desplazamiento de estructuras de sustentación, lo que deriva en la inclinación y el colapso de construcciones, así como el daño de la infraestructura subterránea. En resumen, en los primeros segundos al momento de la fractura, “por varios kilómetros, el suelo al frente de las ondas sísmicas se desplaza frenéticamente, de lado a lado o hacia arriba y hacia abajo. En suma, el sismo es más destructivo considerando la cercanía al epicentro y la dirección en la que se mueve la fractura, como fue el caso del evento del 2017” (Donahue et al., 2019).

En términos estadísticos, en una proporción de 1/30, los sismos intraplaca son menos frecuentes que los sismos interplaca, pero son más destructivos, fundamentalmente porque:

- La placa está menos fracturada y acumula energía durante más tiempo.
- En zonas alejadas de los límites de placas, la población y las autoridades no esperan sismos.
- La infraestructura es menos resistente, por lo regular se carece de protocolos de emergencia y hay menos conciencia pública de los sismos.
- En la placa continental es mayor la propagación de las ondas sísmicas que en un sismo similar en un borde de placa.

Sin duda, el sismo de 1985 fue un parteaguas en términos de prevención de sismos, ya que dio la pauta para el diseño de medidas de construcción más seguras y una cultura de los sismos, además de crear conciencia y preparación en la sociedad para enfrentar los terremotos y otros fenómenos naturales afines.

En términos simples, un *sismo interplaca* refiere a un evento que ocurre por el roce o fricción que se produce por la interacción entre dos placas tectónicas; el *sismo intraplaca* se caracteriza por un rompimiento (falla) o fractura que ocurre en una placa y se asocia mayormente a la placa que subduce, flexiona o dobla en dirección al manto terrestre debido a su peso. Existe un tercer tipo denominado *sismo cortical*, que se refiere a eventos superficiales

que son el resultado de las deformaciones y esfuerzos en la placa continental, regularmente por la influencia que ejerce la zona de subducción colindante.

Genealogía de la zona de subducción mesoamericana

La historia geológica entre la placa de Cocos y la MAT se sitúa a casi 33 millones de años, durante el Oligoceno tardío. Desde entonces ha pasado por una serie de cambios que han influido en la vulcanidad y sismicidad en el territorio mexicano. Esta interacción tectónica ha manifestado una migración y transformación por al menos veinticinco millones de años, desde la costa del oceano Pacífico hasta el golfo de México, dejando a su paso huellas externas en la placa norteamericana mediante volcanes activos e inactivos (Kim et al., 2010; Pérez-Campos et al., 2008).

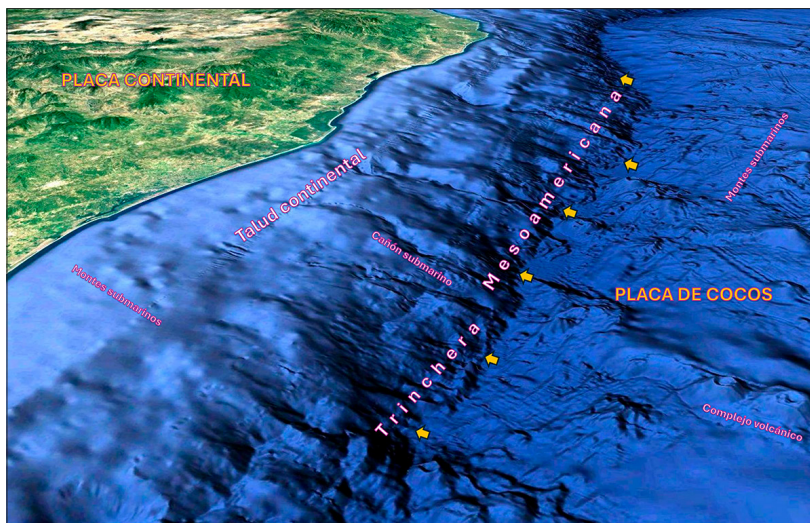
La evidencia actual de este desplazamiento es patente por la presencia de volcanes, como el Volcán de Fuego en Colima; el Parícutín en Michoacán; el Xinantécatl en Toluca; el Popocatepetl en los límites de México, Morelos y Puebla, y el Chichonal y el Tacaná en Chiapas, que dan forma a un arco volcánico conocido como Cinturón Volcánico Transmexicano o Eje Neovolcánico (Milenio Digital, 2023).

La MAT es, en términos de extensión, la más importante en el territorio mexicano y es la responsable del 80% de la sismicidad (figura 2, p. 4). La región donde se asienta tiene una antigüedad de al menos veinticinco millones de años y llegó a su actual configuración espacial hace aproximadamente seis millones de años como consecuencia de por lo menos tres procesos de modificación (Pardo y Suárez, 1995).

En el Mioceno temprano, un centro de expansión o crecimiento espacial de la placa oceánica original surge con la fragmentación de una gran placa llamada el Farallón. Ésta se fragmentó en las microplacas de Magdalena y Guadalupe, y es esta última la que da origen a dos segmentos: la placa de Rivera y la placa de Cocos, ubicadas al este de la dorsal del Pacífico oriental (Boschman et al., 2018; Lonsdale, 2005; Pardo y Suárez, 1995).

La migración y transformación de la placa de Cocos es perpetua a escala humana y se subduce en la MAT con dirección noreste, en forma oblicua, a una tasa de 4.8 a 7.5 cm/año, con grandes variaciones contiguas en la edad y el desnivel de la placa (Dougherty y Clayton, 2014; Pérez-Campos et al., 2008) (figura 2, p. 4). De acuerdo con su transformación temporal en millones de años, la placa de Cocos, antes de subducir en la zona de convergencia, presenta un rango diferencial de tres periodos: diez millones de años (corteza más joven y menos profunda), veinticinco millones de años y hasta cuarenta millones de años cerca de la cordillera de Tehuantepec (Müller et al., 2019; Pardo y Suárez, 1995). Por lo tanto, es una interacción dinámica que manifiesta su actividad tectónica con la presencia de volcanes activos en Colima, Puebla, Morelos y Chiapas, así como una actividad sísmica incesante, principalmente en la región de la costa, desde Colima hasta Chiapas, con eventos que ocurren entre las placas (PC-PNA).

Figura 3
Características geomorfológicas generales de la zona de subducción
frente a las costas de Oaxaca y Guerrero (México)

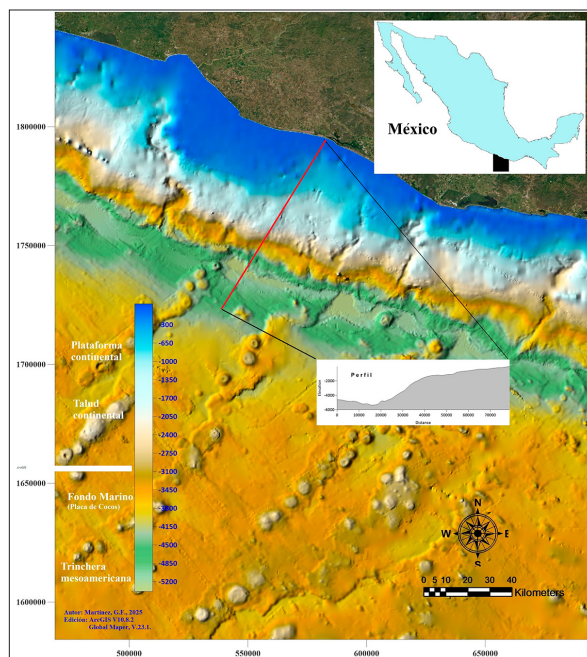


Fuente: elaboración propia con base en Google Earth (Blue Marble Geographics, 2022; Golden Software LLC, 2020; Google LLC, 2024).

Las características del fondo marino de la placa de Cocos antes de que penetre en la MAT en general corresponden a diez formas genéricas del relieve tectónico: la dorsal del Pacífico (EPR), corteza oceánica, fallas transformantes oceánicas, zonas de fractura, cadenas de montañas, cadenas de estructuras volcánicas, conos volcánicos submarinos, montes submarinos solitarios, la trinchera y la cordillera de Tehuantepec, relieve que confirma algo más global: la deriva tectónica (figura 3). Ésta corresponde a un proceso que tiene millones de años llevándose a cabo, el cual da fe de la dinámica del planeta, en el que se reacomoda incesantemente la placa continental y se recicla el fondo marino.

La interacción que involucra la morfología de la placa continental, la zona de subducción y la placa oceánica al momento de converger origina una dinámica que va modificando el comportamiento y el movimiento de las estructuras geológicas. Esta coincidencia en tiempo y espacio va dejando secuelas, ya que, al momento de que la placa oceánica penetra en la placa continental, arrastra megatoneladas de material, movimiento que no es raso y apacible, sino todo lo contrario: altera significativamente la morfología interna de la zona de subducción y sus estructuras. A escala humana esto es desastroso y pone en continuo riesgo a las poblaciones. Aunado a la errónea toma de decisiones en el establecimiento de los asentamientos, los equivocados métodos de construcción y la falta de prevención, ésta ha sido la causa de incontables pérdidas humanas y daños materiales (Amador et al., 2017; Rosenblueth et al., 1992).

Figura 4
Segmento de la MAT, convergencia entre la placa de Cocos y la placa Continental
colindante con la línea de costa en Oaxaca



Fuente: elaboración propia con base en Google Earth (Blue Marble Geographics, 2022; Environmental Systems Research Institute, 2021; Golden Software LLC, 2020).

Peculiaridades de los escenarios marinos

El conocimiento planetario que se tiene de las condiciones que prevalecen en los alrededores de las placas continentales, zonas de subducción y placas oceánicas es relativamente reciente. Su geomorfología en cualquier parte del planeta se caracteriza por la presencia de plataformas y taludes; escarpes; cañones; sumideros; arcos, mesetas e islas volcánicas; zonas de fracturas; sistemas de dorsales oceánicas, montañas y montes abisales (Müller et al., 2019) (figura 3, p. 7), con una composición, morfología y procesos tectónicos muy distintivos que, a mediados del siglo pasado, eran desconocidos (Mayer et al., 2018).

Ante la dificultad de un muestreo directo, desde entonces, a partir del desarrollo de la tecnología de teledetección de superficie, aérea y satelital, como el sonar de barrido lateral, ecosondas de reflexión, magnetometría marina, batimetría multihaz, reflexión sísmica y altimetría satelital, montados en boyas, barcos, aeronaves, astronaves y satélites, ha sido posible la fotointerpretación y el análisis de ortoimágenes o imágenes georreferenciadas de alta resolución de la superficie de la tierra (Landsat, IKONOS, MODIS, SPOT), además de modelos digitales altimétricos

(figura 4, p. 8). Gracias a estos avances se ha podido inferir y generar registros de lo que existe en el ámbito terrestre, en el fondo marino y más allá (Müller et al., 2019).

Este conocimiento ha permitido no sólo mapear, sino saber la edad de las estructuras, identificar anomalías magnéticas, fases de expansión, fuerzas que actúan, dinámica interna, entre otros procesos, lo cual proporciona información que ha permitido reconstruir la historia tectónica, geofísica y geológica global, e inferir procesos actuales y futuros del entorno marino y planetario para la creación de nuevos modelos (Makowski y Finkl, 2016).

Los fondos marinos y el desarrollo de la tecnología de teledetección

Para el estudio de los fondos marinos y su topografía, incluyendo aguas continentales, se ha pasado de formatos análogos a formatos digitales cuya resolución ha cambiado con el tiempo, con lo cual se ha generado información actual que va más allá de la placa oceánica e involucra el interior de la Tierra. Se tienen registros de la dinámica, flujo y química global del manto terrestre; dimensiones y volúmenes de las estructuras internas; procesos de gravedad y topografía oceánica; reconstrucción tectónica de placas y determinación de la edad de la corteza oceánica, entre otros.

Por ejemplo, ahora se sabe con más certeza que la edad de la corteza terrestre del océano Atlántico tiene una antigüedad promedio de 69.2 millones de años, y es la depresión o accidente geográfico más antiguo de las principales cuencas oceánicas; complementariamente, la edad promedio de la corteza terrestre del océano Pacífico es de 65.7 millones de años. Esta dinámica de incesante aumento de las cuencas oceánicas fluctúa de lenta, con 20-55 mm/año, a súper rápida, con >180 mm/año, y se origina por la presencia de dorsales o crestas de expansión que reemplazan la corteza más antigua con material más *joven* (Müller et al., 2019).

Estado actual del conocimiento de los fondos marinos

El conocimiento de la morfología, procesos y dinámica de los fondos marinos continúa siendo limitado debido principalmente a la dificultad de penetración de las ondas electromagnéticas en el rango del espectro visible y radar. Estas ondas son fuertemente atenuadas por el agua de los océanos y no logran penetrar más allá de una decena de metros de la superficie.

Estas limitantes han sido poco a poco sorteadas con el uso inicial de las ecosondas, lo que permitió a Marie Tharp y Bruce Heezen, en los años cincuenta, comenzar a comprender la complejidad de los fondos marinos y la relación que existía entre las recién mapeadas dorsales oceánicas y la sismicidad local. Estos descubrimientos fueron fundamentales para entender y apoyar paradigmas, como la deriva continental, la tectónica de placas y la expansión del fondo marino (Gutiérrez Martínez et al., 2014; Mayer et al., 2018; Pérez-Malvárez et al., 2003).

Los esfuerzos por generar una base de datos batimétricos tienen más de cien años, y esto ha sido posible gracias a la intervención de organismos como la Organización Hidrográfica Internacional y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, pertenecientes a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). El resultado ha sido una cuadrícula digital con un espaciado de celdas de treinta segundos obtenidos de ecosondas de un haz y multihaz; además de ecosondas modernas de alta resolución, superpuestas a datos de altimetría digital.

A pesar de que los datos batimétricos siguen siendo limitados, mediante técnicas recientes de interpolación el producto que se ha obtenido representa adecuadamente un fondo marino entendible (Mayer et al., 2018). Sin embargo, es un hecho que el conocimiento de las condiciones existentes en los fondos oceánicos está incompleto, por ejemplo, para desarrollar estudios detallados de la geomorfología marina asociada a zonas de subducción y su importante correlación con la sismicidad local.

Con el propósito de contribuir al uso sostenible de los océanos y el desarrollo de investigaciones científicas apoyadas con datos batimétricos detallados, en el Reino Unido se creó a finales de 2017 el Equipo del Nippon Foundation GEBCO Seabed 2030 (GEBCO, 2025). Los esfuerzos enfocados en el conocimiento futuro de los fondos marinos serán fundamentales en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de recursos marinos (minerales y gas natural), identificación de impactos ambientales, seguridad marítima relacionada a la navegación y demás campos de la ciencia (Mayer et al., 2018; Ou et al., 2021).

Conclusiones

En las condiciones actuales de desarrollo tecnológico y cooperación mundial se estima que se requerirían 350 años para cartografiar el 93% del fondo oceánico mundial que está más allá de los doscientos metros de profundidad; el 7% restante recaería en las agencias hidrográficas locales, las cuales se encargarían de mapear los fondos marinos con menos de doscientos metros de profundidad, correspondientes a las aguas territoriales de los estados costeros. Sin embargo, se esperan avances significativos con el desarrollo de nuevas tecnologías de teledetección, pero fundamentalmente deberá ser mediante la cooperación y la colaboración internacional, lo que permitiría acortar los tiempos de esta monumental empresa (Mayer et al., 2018).

Al considerar que el 80% de la actividad sísmica mundial ocurre en las zonas de subducción, abreviar los tiempos en el mapeo de los fondos marinos es una tarea prioritaria, en particular porque la actividad sísmica afecta en forma distinta a los países de acuerdo con su extensión. Por ejemplo, para los países centroamericanos, desde Honduras hasta Panamá, la actividad sísmica representa más víctimas mortales al afectar una mayor proporción de su población por km² ante sismos >5 Mw, contrario a lo que ocurre en países de gran extensión,

como México (Wyss et al., 2024). A esto hay que sumar la existencia de edificaciones antiguas y la frecuente puesta en práctica de criterios de construcción inadecuados que a menudo ignoran en su diseño el dar seguridad estructural para soportar deformaciones sin colapsar ante un sismo, con la inherente pérdida de seres humanos.

Referencias

- Allier Montañón, E. (2018). Memorias imbricadas: terremotos en México, 1985 y 2017. *Revista Mexicana de Sociología*, 80, núm. especial, 9-40. <https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2018.e.57772>
- Amador, J., Salazar, S. y Serrano, C. (2 de octubre de 2017). Earthquakes in Mexico: we are not changing our 2017 growth forecast and we introduce a positive bias for 2018. *BBVA Research. Mexico Economic Watch*, 1-4. https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2017/10/171002_MexicoEarthquakesEffects.pdf
- Arroyo, D., Krishna Singh, S., Ordaz, M., Meli, R. y Ramírez, M. (2020). Observed seismic intensities and damage pattern in central Mexico during intraslab earthquakes of 1999 (MW6.9) and 2017 (MW7.1). *Geofísica Internacional*, 59(2), 83-100. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2020.59.2.2082>
- Astiz, L., Kanamori, H. y Eissler, H. (1987). Source characteristics of earthquakes in the Michoacan seismic gap in Mexico. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(4), 1326-1346. <https://doi.org/10.1785/BSSA0770041326>
- Boschman, L. M., van Hinsbergen, D. J. J., Kimbrough, D. L., Langereis, C. G. y Spakman, W. (2018). The dynamic history of 220 million years of subduction below Mexico: A correlation between slab geometry and overriding plate deformation based on geology, paleomagnetism, and seismic tomography. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19(12), 4649-4672. <https://doi.org/10.1029/2018GC007739>
- Donahue, J. L., Stewart, J. P., Gregor, N., Bozorgnia, Y., Bray, J. D., Mahin, S. A., Idriss, I. M., Graves, R. W., Luco, N. y Shantz, T. (2019). *Ground-motion directivity modeling for seismic hazard applications*. PEER. <https://doi.org/https://doi.org/10.55461/GPHH9609>
- Dougherty, S. L. y Clayton, R. W. (2014). Seismicity and structure in central Mexico: evidence for a possible slab tear in the South Cocos plate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(4), 3424-3447. <https://doi.org/10.1002/2013JB010883>
- Dzierma, Y., Thorwart, M., Rabbel, W., Siegmund, C., Comte, D., Bataille, K., Iglesia, P. y Prezzi, C. (2012). Seismicity near the slip maximum of the 1960 MW 9.5 Valdivia earthquake (Chile): Plate interface lock and reactivation of the subducted Valdivia Fracture Zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B6). <https://doi.org/10.1029/2011JB008914>
- EarthquakeList.org (sf). Top 100 countries with most earthquakes. *EarthquakeList.org*, sp. <https://earthquakelist.org/reports/top-100-countries-most-earthquakes/#2015>

- García-Acosta, V. (2004). Historical earthquakes in Mexico. Past efforts and new multidisciplinary achievements. *Annals of Geophysics*, 47(2-3), 487-496. <https://doi.org/https://doi.org/10.4401/ag-3315>
- GEBCO (27 de marzo de 2025). The Nippon Foundation-GEBCO training program in 2025. *GEBCO*. GEBCO/UNESCO/IHO, sp. <https://www.gebco.net/news/nippon-foundation-gebco-training-program-2025>
- Gutiérrez Martínez, M. C., Quaas Weppen, R., Ordaz Schroeder, M., Guevara-Ortiz, E., Muriá Vilá, D. y Krishna Singh, S. (2014). *Sismos*. CENAPRED/SEGOB. https://www.escom.ipn.mx/docs/escomunidad/formatosDocumentos/uipc_folletoSismos.pdf
- Kim, Y., Clayton, R. W. y Jackson, J. M. (2010). Geometry and seismic properties of the subducting Cocos plate in central Mexico. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(B6), 1-22. <https://doi.org/10.1029/2009JB006942>
- Lonsdale, P. (2005). Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallon plate. *Tectonophysics*, 404(3-4), 237-264. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.011>
- Makowski, C. y Finkl, C. W. (2016). History of modern seafloor mapping. *Coastal Research Library*, 13, 3-49. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25121-9_1
- Martínez-García, F. (2019). Simulation of ground acceleration routes by interpolation of PGA data, within Guerrero and Oaxaca states coastal border, Mexico. *Advances in Biology & Earth Sciences*, 4(2), 73-89. <http://jomardpublishing.com/UploadFiles/Files/journals/ABES/V4N2/Martinez-GarciaF.pdf>
- Martínez García, F. (2022). Landforms spatial interference with seismic waves in the area of influence of the Cocos Plate, Mexico. *Anuário do Instituto de Geociências*, 45, 42913. <https://www.redalyc.org/journal/6953/695375056024/html/>
- Mayer, L., Jakobsson, M., Allen, G., Dorschel, B., Falconer, R., Ferrini, V., Lamarche, G., Snaith, H. y Weatherall, P. (2018). The Nippon Foundation-GEBCO seabed 2030 project: the quest to see the world's oceans completely mapped by 2030. *Geosciences*, 8(2), 63. <https://doi.org/10.3390/geosciences8020063>
- Milenio Digital (1 de junio de 2023). ¿Cuáles son los volcanes activos en México y dónde están? *Milenio*, sp. <https://www.milenio.com/estados/volcanes-activos-en-mexico-cuales-son-y-donde-estan>
- Müller, R. D., Zahirovic, S., Williams, S. E., Cannon, J., Seton, M., Bower, D. J., Tetley, M. G., Heine, C., Le Breton, E., Liu, S., Russell, S. H. J., Yang, T., Leonard, J. y Gurnis, M. (2019). A global plate model including lithospheric deformation along major rifts and orogens since the Triassic. *Tectonics*, 38(6), 1884-1907. <https://doi.org/10.1029/2018TC005462>
- Ou, X., Zhu, J., Li, S., Jia, Y., Jia, Z., Zhang, S., Zhang, S., Chen, R., Chen, X., Ding, D., Xing, H., Suo, Y., Wang, P. y Liu, Y. (2021). Submarine geomorphological features and their origins

- analyzed from multibeam bathymetry data in the south China sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 1419. <https://doi.org/10.3390/jmse9121419>
- Pardo, M. y Suárez, G. (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B7), 12357-12373. <https://doi.org/10.1029/95JB00919>
- Pérez-Campos, X., Kim, Y. H., Husker, A., Davis, P. M., Clayton, R. W., Iglesias, A., Pacheco, J. F., Singh, S. K., Manea, V. C. y Gurnis, M. (2008). Horizontal subduction and truncation of the Cocos Plate beneath central Mexico. *Geophysical Research Letters*, 35(18), 1-6. <https://doi.org/10.1029/2008GL035127>
- Pérez-Malvárez, C., Bueno H., A. y Morrone, J. J. (2003). Recepción temprana de la teoría de la deriva continental y su competencia con las teorías rivales. *Asclepio*, 55(1), 3-34. <https://doi.org/10.3989/asclepio.2003.v55.i1.91>
- Rosenblueth, E., García Acosta, V., Rojas Rabiela, T., Núñez de la Peña, J. y Orozco Castellanos, J. (1992). *Macrosismos. Aspectos físicos, sociales, económicos y políticos*. CIESAS. https://cultura.buap.mx/observatoriocultural/sites/default/files/Archivos_Esayos/Macrosismos.pdf
- Singh, S. K., Iglesias, A., Arroyo, D., Pérez-Campos, X., Ordaz, M., Mendoza, C., Corona-Fernández, R. D., Rivera, L., Espindola, V. H., González-Ávila, D., Martínez-López, R., Castro-Artola, O., Santoyo, M. A. y Franco, S. I. (2023). A Seismological study of the Michoacán-Colima, Mexico, Earthquake of 19 september 2022 (M_w 7.6). *Geofísica Internacional*, 62(2), 445-465. <https://doi.org/10.22201/igeof.2954436xe.2023.62.2.1453>
- Servicio Sismológico Nacional (2017). Reporte Especial. Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM. Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1). *Servicio Sismológico Nacional*. UNAM, 1-11. http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf
- Servicio Sismológico Nacional (2022). Reporte Especial. Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM. Sismo del 19 de septiembre de 2022, Michoacán (M 7.7). *Servicio Sismológico Nacional*. UNAM, 1-10. http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2022/SSNMX_rep_esp_20220919_Michoacan_M74.pdf
- Stone, W. C. y Yokel, F. Y., Celebi, M., Hanks, T. y Leyendecker, E. V. (1987). *Engineering aspects of the september 19, 1985 Mexico earthquake*. NIST. <https://doi.org/https://doi.org/10.6028/NBS.BSS.165>
- Wyss, M., Speiser, M. y Tolis, S. (2024). The earthquake fatality load: a measure of impact. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 114(3), 1437-1443. <https://doi.org/10.1785/0120230187>
- Yamamoto, J., González-Moran, T., Quintanar, L., Zavaleta, A. B., Zamora, A. y Espindola, V. H. (2013). Seismic patterns of the Guerrero-Oaxaca, Mexico region, and its relationship to the continental margin structure. *Geophysical Journal International*, 192(1), 375-389. <https://doi.org/10.1093/gji/ggs025>

Plataformas geomáticas utilizadas en el diseño y edición de las figuras

Blue Marble Geographics (2022). *Global Mapper Pro V.23.1*. SO Windows.

Environmental Systems Research Institute (2021). *ArcGIS software Release 10.8.2*. SO Windows.

Google LLC (2024). *Google Earth Pro. Software V.7.3.3.6. 10201*. SO Windows.

Golden Software LLC (2020). *Surfer Software V.18.1*. SO Windows.

ARTÍCULOS

Cultivando vínculos: huertos rurales en la REBIOSH y huertos escolares en Chamilpa

Building connections: rural gardens in the REBIOSH and school gardens in Chamilpa

Amanda Ortiz Sánchez

ORCID: 0000-0002-9789-181X, amanda@uaem.mx

Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIBYC),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Misadaí Hernández

ORCID: 0009-0007-9317-645X

Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIBYC),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Recepción: 21/05/25. Aceptación: 22/10/25. Publicación: 09/06/26

RESUMEN

El objetivo de este estudio es documentar la funcionalidad y pertinencia educativa de los huertos escolares y familiares como estrategia para promover una agricultura sustentable y la conservación del medio ambiente. A partir de la creación y el desarrollo de huertos familiares y escolares en dos comunidades en el estado de Morelos, de entrevistas semiestructuradas y del análisis de datos, se observaron especies de plantas de cultivo, se identificaron insectos benéficos y plagas, y se experimentaron métodos naturales de control. Finalmente, se busca el fortalecimiento de una cultura ambiental y la promoción de competencias científicas con perspectivas críticas a partir de las experiencias de los participantes.

PALABRAS CLAVE

huertos rurales, huertos escolares,
Reserva de la Biosfera de Huautla, Chamilpa, Morelos

ABSTRACT

The objective of this study is to document the functionality and potential school and home gardens as a strategy to promote sustainable agriculture and environmental conservation. Through the creation and development of home- and school gardens in two communities in the state of Morelos, semi-structured interviews, and data analysis, the study observed cultivated plant species, identifies beneficial insects and pests, and experimented with natural pest control methods. Finally, the study seeks to strengthen an environmental culture and promote scientific competencies with critical perspectives based on the participants' experiences.

KEYWORDS

rural gardens, school gardens,
Reserva de Biosfera de Huautla, Chamilpa, Morelos

Introducción

Los huertos familiares son sistemas ecológicos que mantienen funciones ecosistémicas importantes, como el alto nivel de la actividad biótica y la regulación de la oscilación térmica (Pulido et al., 2008), además de favorecer el balance biogeobioquímico, que contribuye al desarrollo de lo que se conoce como sistema sustentable (Kumar y Nair, 2004). Cualquier sistema ecológico bien cuidado favorece el crecimiento y la reproducción de especies tanto vegetales como animales, lo que facilita en ellas la anidación y la alimentación, ya sean aves, reptiles, mamíferos, crustáceos o insectos, tanto residentes como migratorios (Ospina, 2006).

La semejanza ecológica del huerto familiar con los ecosistemas naturales favorece el control de plagas y enfermedades. Las combinaciones de especies encontradas en los huertos familiares están influenciadas tanto por las preferencias y necesidades de las familias como por los factores ecológicos y socioeconómicos (Kumar y Nair, 2004). Las poblaciones complementan una parte de sus requerimientos alimenticios a partir de la variedad de productos obtenidos de las plantas y animales que se mantienen en los huertos familiares. Contar con estos productos les permite cubrir requerimientos para el autoabasto y les ayuda a obtener ingresos por la venta de los excedentes. Estos beneficios de los huertos familiares han sido reconocidos por el 70% de los propietarios de Indonesia (Kehlenbeck y Maass, 2004).

En México, los huertos familiares son sitios en los que se experimenta con nuevos cultivos y prácticas de manejo de plantas y animales (Cano-Ramírez et al., 2012). En ellos participan las mujeres promoviendo el cultivo de una variedad de plantas con la intención de diversificar la alimentación, dado que la dieta y la economía familiar se han visto afectadas por los altos costos de los productos básicos (Rebollar-Domínguez et al., 2008). El aprecio por los huertos familiares proviene de su propósito para la subsistencia (González-Insuasti et al., 2008) y del valor que les dan los niños y ancianos, por lo que es frecuente encontrar en ellos a los abuelos enseñando a los niños sobre las experiencias de vida, así como sobre el trabajo con plantas y animales. Esta forma de transmisión del conocimiento es parte del complejo sistema educativo informal familiar (Ospina, 2006).

La creación de huertos escolares representa una estrategia pedagógica que integra técnicas de estudio con acciones concretas de conservación del ambiente. A través de la observación directa, la experimentación, el registro de datos y el análisis de resultados, los estudiantes desarrollan habilidades científicas aplicadas al entorno natural. Este enfoque favorece el aprendizaje significativo, ya que permite comprender conceptos clave, como los ciclos de vida, el uso sostenible de los recursos y la biodiversidad, al mismo tiempo que fomenta el respeto por la naturaleza (Díaz et al., 2021).

En este sentido, se proponen los huertos escolares como una estrategia didáctica para fortalecer la cultura ambiental, mediante la integración de prácticas pedagógicas que promuevan competencias científicas y una perspectiva crítica sobre el medio ambiente (Taicus

Figura 1
Preparación de sustrato y siembra de semillas por alumnos de la preparatoria



Fuente: elaboración propia.

Bisbicus et al., 2022). Con ello se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿son los huertos familiares y escolares espacios estratégicos para promover la agricultura sustentable?

El objetivo de este trabajo es documentar la funcionalidad de los huertos familiares y escolares, así como su pertinencia educativa como estrategia para promover la noción de agricultura sustentable.

Metodología

Se presenta parte de un estudio que se llevó a cabo en la comunidad de Tilzapotla, localizada al sur del estado de Morelos, en el municipio de Puente de Ixtla, dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH). La investigación se vinculó con el proyecto titulado huerto escolar Dragones, de la Preparatoria Federal por Cooperación Andrés Quintana Roo, ubicada en el pueblo de Chamilpa en Cuernavaca.

En Tilzapotla se realizó un recuento de huertos familiares. Con el apoyo de mapas verificamos en campo el número de huertos registrados y, mediante sorteo aleatorio y sin reemplazo, seleccionamos 27 huertos (10%). En tres de ellos no se recabó información, ya que los propietarios decidieron no participar en la investigación, por lo que se trabajó sólo con 24 de ellos. La metodología del estudio fue descriptiva y la información se obtuvo mediante treinta entrevistas semiestructuradas a los responsables de los huertos (Bernard, 2006).

Se documentaron los nombres, usos, frecuencia de mención y formas de preparación de las plantas útiles cultivadas, y la información se capturó en una hoja de cálculo para su posterior análisis. Durante el desarrollo del proyecto también se hicieron recorridos y observaciones de las prácticas cotidianas en los huertos, donde se advirtió que los niños y jóvenes participan en las distintas labores. Por ello, al observar el papel que puede desempeñar la población

Tabla 1

Especies alimentarias y sus formas de preparación

Nombre común	Nombre científico	Formas de preparación
Calabaza tamalayota	<i>Cucurbita argyrosperma</i>	Guisada, hervida, en dulce, cristalizada, en tamales, semilla tostada y mole verde En otro tipo de tamales: cáscara hervida, maíz dorado y molido con frijol
Ciruela	<i>Spondias mombin</i>	Fruta fresca, atole, tamales, en conserva, en guisados, botana, en salsa
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Fruta fresca, agua fresca, ensalada, salsa, paletas de hielo
Maíz	<i>Zea mays</i>	Tortillas, elotes hervidos o asados, tlaxcales, atole, esquites
Limón	<i>Citrus aurantifolia</i>	Agua fresca, guisados, ensaladas, uso doméstico
Sábila	<i>Aloe barbadensis</i>	Agua fresca
Zapote negro	<i>Diospyros ebenaster</i>	Fruta fresca, agua fresca, pulpa combinada con jugo de naranja o mandarina
Epazote	<i>Telexys ambrosioides</i>	Guisados (caldos, tacos dorados, quesadillas)
Guaje blanco	<i>Leucaena leucocephala</i>	Semillas frescas o secas, para acompañar el plato fuerte, en salsa, guisados
Hoja santa	<i>Piper auritum</i>	Tamales, frijoles, mixiotes
Capitaneja	<i>Verbesina crocata</i>	Agua fresca, té
Tlachichinol	<i>Tournefortia hirsutissima</i>	Agua fresca, té, baños
Nanche	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Fruta fresca, paletas

Fuente: elaboración propia.

joven y su impacto educativo surge la propuesta de vincular el proyecto de la REBIOSH con una escuela en Cuernavaca, para difundir la multifunción de estos agroecosistemas y forjar la noción de sustentabilidad en la ciudad.

En este sentido, conociendo los antecedentes del dinamismo de los directivos y profesores de la Preparatoria Andrés Quintana Roo, se estableció un vínculo de colaboración para crear un huerto escolar en el plantel. Ahí, desde 2021 y con el apoyo de los profesores, los estudiantes han sembrado y cosechado distintas especies de hortalizas, como rábano, variedades de chile, lechuga, cilantro y jitomate, las cuales se eligieron en respuesta al conocimiento y las necesidades de los estudiantes.

La primera fase para el establecimiento del huerto consistió en acondicionar el espacio. Posteriormente se prepararon los sustratos para la siembra (figura 1, p. 3). Cuando las plántulas estaban listas para ser trasplantadas fueron transferidas a bolsas de cultivo en las que continuaron su desarrollo o, en su caso, directamente al suelo.

Resultados

Los huertos familiares en la REBIOSH son atendidos en su mayoría (66%) por mujeres, un 12.5% de ellos los atienden hombres y un 20.8% por ambos géneros.

Figura 2
Recolección en la REBIOSH



Fuente: elaboración propia.

Figura 3
Cosecha de frutos y vegetales en un huerto urbano



Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Hortalizas cultivadas por los alumnos de la Preparatoria Andrés Quintana Roo

Nombre	Número de plantas
Jitomate	15
Chile	19
Rábano	12
Lechuga	25
Cilantro	16
Manzanilla	4

Fuente: elaboración propia.

Riqueza de especies en los huertos de Tilzapotla

Se identificaron 186 especies de plantas en los huertos, las cuales son utilizadas para diferentes propósitos: ornamental, alimentario, religioso, medicinal, para dar sombra, doméstico, repelente y para control biológico. Se abordan aquí únicamente las especies alimentarias, entre las cuales las más mencionadas son la calabaza, ciruela, mango, maíz, limón, epazote, hierbabuena, entre otras (tabla 1, p. 4).

Una de las formas comunes de preparación de estas especies entre las amas de casa es poner a secar los frutos y semillas obtenidos en la cosecha, como la ciruela, el guaje y la calabaza, para guardarlos y tenerlos disponibles en cualquier momento. Otra forma de conservación es mediante congelación, como ocurre con el nanche (*Byrsonima crassifolia*), la ciruela y la granada maracuyá (*Passiflora edulis*).

Éstas y otras prácticas se han transmitido de madres a hijas, y lo mismo sucede cuando se realiza la recolección, la cual es una práctica en la que participan los niños, quienes desde pequeños aprenden cuáles son las características de los frutos a considerar al levantar la cosecha, por ejemplo, el nanche, que se deja que caiga solo, luego se recoge y se guarda por un día antes de ser consumido, o el limón, que para cosecharlo los niños y jóvenes saben que deben elegir los frutos con textura lisa (figura 2, p. 5).

Es un hecho el atractivo que ejerce en los niños la cosecha de frutos en los huertos, pues disfrutan realizar esta práctica en cualquier sitio; además, esta actividad representa una excelente oportunidad para ellos de establecer un vínculo con la naturaleza. La siembra de especies alimentarias se puede adaptar a diversos espacios, como una terraza o la azotea de una casa, ya sea en el huerto rural o en el huerto urbano (figura 3, p. 5). Los aprendizajes que los niños adquieren durante las prácticas son permanentes, y sin duda constituyen experiencias de educación no formal que son inolvidables y, por lo tanto, que favorecen su crecimiento integral.

Figura 4
Desarrollo del cultivo de hortalizas en la Preparatoria Andrés Quintana Roo



Fuente: elaboración propia.

Aprendizajes en la Preparatoria Andrés Quintana Roo

Los estudiantes observaron de forma directa el crecimiento de las plantas (figura 4), identificaron insectos benéficos y plagas, y experimentaron con métodos naturales de control, como infusiones de ajo y chile. A lo largo del proyecto desarrollaron habilidades de trabajo en equipo, responsabilidad y toma de decisiones, además de fortalecer sus conocimientos en ciencias naturales, sustentabilidad y alimentación saludable. Durante el ciclo escolar, cultivaron una variedad de especies comestibles y medicinales en el huerto escolar.

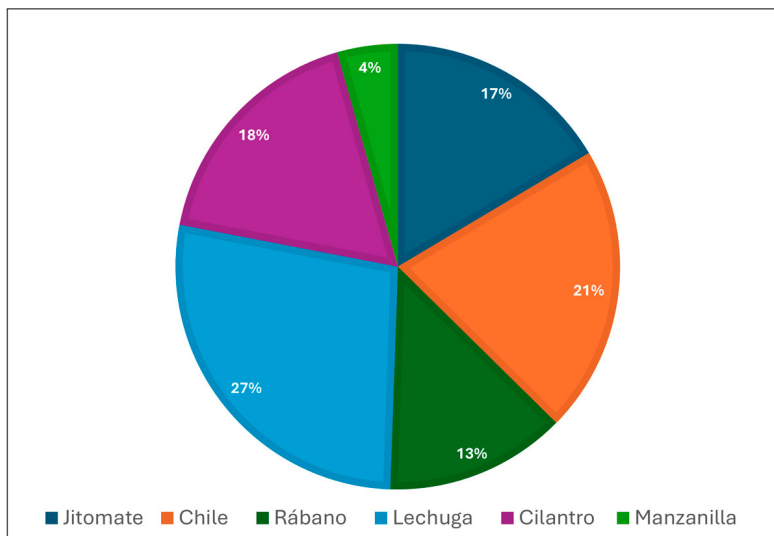
Diversidad de especies en el huerto escolar Dragones

Durante el desarrollo del huerto escolar, los alumnos lograron cultivar diversas hortalizas (tabla 2, p. 6) aplicando principios de agroecología y bioculturales. De acuerdo con los registros de producción, el cultivo con mayor porcentaje fue el de las lechugas, seguido por los chiles, cilantro, jitomate, rábano y, en menor proporción, manzanilla (figura 5, p. 8). Esto refleja una preferencia por cultivos de rápido crecimiento y fácil manejo, además de la incorporación de especies medicinales que también aportan a la educación ambiental y la agroecología.

Las lechugas fueron el cultivo más exitoso debido a su rápido crecimiento, alta tolerancia a las condiciones locales y facilidad de manejo. En contraste, la manzanilla tuvo un crecimiento limitado, lo que permitió reflexionar sobre la importancia de los tipos de sustratos y de la planificación según la especie. Uno de los principales logros del proyecto fue la amplia diversidad de especies cultivadas y observadas, que permitió comparar tipos de crecimiento, ciclos de vida, tiempos de germinación y necesidades de cuidado entre especies.

Además, se integraron plantas aromáticas y medicinales, como la manzanilla y la lavanda, que aportaron valor cultural y permitieron explorar el uso tradicional de las plantas en

Figura 5
Representación del número de hortalizas del huerto escolar Dragones



Fuente: elaboración propia.

la salud, así como el conocimiento ecológico de los estudiantes. Esta integración de saberes permitió valorar la experiencia ancestral en el manejo sustentable de las plantas, así como fortalecer el vínculo entre la cultura local y el cuidado del ambiente.

Conclusiones

Como se puede observar en los resultados de la investigación, existe una alta riqueza y variedad de preparaciones de las plantas de los huertos rurales de la REBIOSH, lo cual muestra que las prácticas de los estudiantes en estos espacios cumple una función relevante en su vida diaria. Al mismo tiempo estos agroecosistemas son un indicador de identidad cultural, ya que su mantenimiento está motivado por la manera de vivir de las personas, sin importar su género. El interés de las poblaciones rurales por los huertos también representa un aporte a la continuidad de sus saberes al respecto, lo cual tiene un valor ambiental, cultural, social y educativo. Estos valores son congruentes con su práctica cotidiana, que aun sin denominarla educativa forma parte de la noción de sustentabilidad.

La experiencia vivida en el huerto urbano fue una de las actividades más significativas para los estudiantes de la Preparatoria Andrés Quintana Roo, ya que les permitió integrar conocimientos teóricos y prácticos de manera vivencial. Al elegir qué sembrar, el mantenimiento y los cuidados que cada especie requiere, los alumnos desarrollaron aprendizajes clave sobre agricultura, ciclos de vida y necesidades hídricas, lo que fortalece su comprensión de las ciencias naturales, así como su aplicación para una alimentación saludable. Todo en

conjunto mostró el potencial de la estrategia educativa realizada a través del huerto, como una herramienta para el entendimiento y la claridad sobre la noción de sustentabilidad.

El contacto directo con el proceso agrícola permitió a los estudiantes valorar el origen de los alimentos, tomar conciencia del cuidado del ambiente y motivarse a replicar prácticas agroecológicas en sus hogares, lo que demuestra que el aprendizaje escolar puede tener un impacto duradero tanto en lo individual como en lo colectivo.

Referencias

- Bernard, R. H. (2006). Structured interviewing. En *Research methods in anthropology. Qualitative and quantitative approaches* (2a ed., pp. 251-298). Altamira Press. <http://www.zambiancu.org/1zRead/Bernard-ResearchMethodsInAnthropology%20%5Bxoer%5D.pdf>
- Cano-Ramírez, M., Tejera, B. de la, Casas, A., Salazar, L. y García-Barrios, R. (2012). Migración rural y huertos familiares en una comunidad indígena del centro de México. *Botanical Sciences*, 90(3), 287-304. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982012000300005
- Díaz, M. D., Sandoval-Castro, E., Macías-López, A., Ocampo-Fletes, I., Hernández-Hernández, B. N., Tornero-Campante, M. A. y Castañeda-Hidalgo, E. (2021). Huertos escolares como herramientas de educación ambiental en escuelas públicas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(1), 68-78. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/272>
- González-Insuasti, M., Martorell, J. y Caballero, J. (2008). Factors that influence the intensity of nonagricultural management of plant resources. *Agroforestry Systems*, 74, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9148-z>
- Kehlenbeck, K. y Maass, B. I. (2004). Crop diversity and classification of homegardens in Central Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 63, 53-62. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000049433.95038.25>
- Kumar, B. M. y Nair, P. K. R. (2004). The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems*, 61, 135-152. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_10
- Ospina Ante, A. (2006). Huerto familiar. *Red Internacional de Huertos Educativos*, pp. 1-38. <https://www.redhuertos.org/wp-content/uploads/HuertoFamiliar.pdf>
- Pulido, M. T., Pagaza-Calderon, E. M., Martinez-Ballesté, A., Maldonado-Almanza, B., Saynes, A. y Pacheco, R. M. (2008). Home gardens as an alternative for sustainability: challenges and perspectives in Latin America. En U. P. de Albuquerque y M. Alves Ramos (eds.), *Current topics in ethnobotany* (pp. 55-79). Research Signpost. <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4174/>

- Rebollar-Domínguez, S., Santos-Jiménez, V., Tapia-Torres, N. A. y Paz Pérez-Olvera, C. de la (2008). Huertos familiares, una experiencia en Chanchah Veracruz, Quintana Roo. *Polibotánica*, 25, 135-154. <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/764>
- Taicus Bisbicus, J. A. R., Bermúdez Quintero, L. C. y Nastacuas Bisbicus, A. A. (2024). Cultivando aprendizaje: estrategias pedagógicas en la huerta escolar para fomentar la cultura ambiental y la educación agroecológica. *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 14136. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.1413

ARTÍCULOS

Criopreservación espermática: herramienta clave para la reproducción asistida y conservación de especies

Sperm cryopreservation: a key tool for assisted reproduction and species conservation

Nayeli Berenice Aguirre-Valenzuela

ORCID: 0009-0002-0697-8061, nayeliaguirre66@gmail.com

Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X)

Araceli Cortés García

ORCID: 0000-0001-9411-3003, acortes@correo.xoc.uam.mx

Laboratorio de Reproducción Genética y Sanidad Acuícola, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X)

Leticia González Núñez

ORCID: 0000-0001-7702-1465, lgonzalez@izt.uam.mx

Laboratorio de Endocrinología Molecular Comparada, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I)

Jesús Dámaso Bustamante González

ORCID: 0000-0003-2912-5352, jesusbustamantegonzalez@gmail.com

Investigador posdoctoral, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I)

Recepción: 10/06/25. Aceptación: 04/11/25. Publicación: 24/06/26

RESUMEN

La criopreservación se perfila como una biotecnología que permite el resguardo de material genético viable por tiempo indefinido (meses o años). Esto se logra mediante la congelación a muy bajas temperaturas (-196°C), lo cual provoca una disminución en el metabolismo celular hasta una etapa de inactividad, una vez que la muestra se descongela puede ser utilizada para llevar a cabo la fecundación *in vitro* o asistida. Por tal motivo, esta biotecnología es considerada una herramienta clave para la reproducción y la conservación de especies de interés comercial o biológico. En este artículo se revisa la criopreservación espermática como herramienta clave en la biología de la reproducción, así como sus avances en la ciencia, sus desafíos y sus limitaciones.

PALABRAS CLAVE

conservación, espermatozoides, reproducción, fecundación *in vitro*, fecundación asistida

ABSTRACT

Cryopreservation is emerging as a biotechnology that enables the preservation of viable genetic material for an indefinite period (months or years). This is achieved by freezing at extremely low temperatures (-196°C), which causes a reduction in cellular metabolism to a stage of inactivity. Once the sample is thawed, it can be used to carry out *in vitro* or assisted fertilization. For this reason, it is considered a key tool for the reproduction and conservation of species of commercial or biological interest. This article reviews sperm cryopreservation as a key tool in reproductive biology, advances and challenges in science, as well as its limitations.

KEYWORDS

conservation, sperm, reproduction, *in vitro* fertilization, assisted reproduction

Introducción

La biodiversidad, definida como la variedad de seres vivos e interacciones entre ellos y su entorno, es esencial para mantener el equilibrio ecológico. Se estima que existen alrededor de 8.7 millones de especies en el planeta. Sin embargo, a la fecha sólo se han identificado entre 1.5 y dos millones. México es considerado uno de los diecisiete países megadiversos del mundo, pues alberga aproximadamente doscientas mil especies diferentes, equivalentes a entre 10% y 12% de la biodiversidad mundial (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2022).

No obstante, la biodiversidad enfrenta amenazas graves y aceleradas, asociadas a diversos problemas antropocéntricos, como el crecimiento demográfico desmedido, la falta de planificación adecuada en el uso del suelo, la explotación excesiva de los recursos naturales, aunado a la pérdida o fragmentación de hábitats, la contaminación y la quema desmedida de combustibles fósiles que contribuye al cambio climático (Keck et al., 2025).

Frente a estos desafíos se han desarrollado diversas estrategias innovadoras de reproducción asistida (RA) cuyo objetivo principal es conservar y preservar la biodiversidad. Una de las más prometedoras es la criopreservación de gametos, técnica que permite conservar material genético a temperaturas muy bajas (-196°C), que ralentizan la actividad biológica y aseguran la viabilidad para su uso posterior.

Innovaciones en la reproducción asistida: avances en la ciencia y sus implicaciones

En paralelo a los esfuerzos por preservar la biodiversidad, la ciencia ha logrado importantes avances en el campo de la RA, herramienta clave para la conservación de especies de importancia biológica y comercial. Entre ellos destaca la sincronización del celo, superovulación, sexado de espermatozoides (clasificación de espermatozoides vivos portadores de cromosomas X e Y), inseminación artificial (IA), fertilización *in vitro* (FIV), producción de embriones *in vitro*, transferencia de embriones y criopreservación de gametos. Estas innovaciones no sólo han optimizado la reproducción y conservación de especies; también han permitido modificar características genéticas (Bustamante-González y Ávalos-Rodríguez, 2023; Megha y Chaitanya, 2021) que podrían abrir nuevas posibilidades ante la pérdida de la biodiversidad, resistencia a enfermedades y adaptaciones ambientales.

Criopreservación: la vida en frío

El frío tiene un poder paradójico: preservar o destruir. En el campo de la biología, el frío es utilizado para conservar la vida. En este contexto, la criobiología resulta ser una rama especializada de la biología que se enfoca en la conservación a largo plazo (meses o años) de células y tejidos, a temperaturas muy bajas (-196°C). Este proceso permite ralentizar el metabolismo, las reacciones bioquímicas, el envejecimiento y la degeneración celular (Malabika y Mohammad, 2014).

Criopreservación espermática

La criopreservación espermática consiste en una serie de pasos: 1) diluir el semen en una solución denominada *diluyente*; 2) hacer uso de un crioprotector permeable o no permeable; 3) estandarizar un periodo de equilibrio, es decir, el tiempo que requieren los espermatozoides para ajustar las concentraciones de solutos (intra y extracelulares) y para la difusión de los crioprotectores a través de la membrana plasmática para sustituir el agua intracelular; 4) sistema de empaque; 5) enfriamiento en vapor de nitrógeno (las pajillas o viales con el semen se colocan en promedio a 5 cm de altura del nitrógeno líquido) con la finalidad de proveer una fase de enfriamiento controlada para evitar el daño celular ocasionado por la formación de cristales de hielo; 6) congelación; 7) descongelación, y 8) evaluación de las muestras.

Diluyentes

Los diluyentes son soluciones isotónicas diseñadas específicamente para simular el entorno natural de los espermatozoides dentro del testículo o del conducto eferente. Sin embargo, cuando se agrega el crioprotector el diluyente se vuelve hipertónico. Su función principal es preservar la viabilidad de los espermatozoides durante el proceso de congelación (Medina-Robles et al., 2020; Sieme et al., 2016). Por esta razón es necesario ajustar la osmolaridad (concentración de partículas disueltas en un solvente) y el pH, acorde al plasma seminal de la especie objetivo.

Crioprotectores

Los crioprotectores son compuestos altamente hidrosolubles y de baja citotoxicidad que desempeñan funciones fundamentales en la criopreservación. La principal es difundir agua a través de la bicapa fosfolipídica e inducir su salida del espacio intracelular, lo que contribuye a reducir la temperatura de nucleación del hielo. Este proceso impide que los cristales de hielo se formen dentro de la célula, lo que protege las estructuras internas y minimiza el daño causado por la congelación. Los crioprotectores ayudan a equilibrar el gradiente osmótico intra y extracelular, lo que facilita la deshidratación celular de manera controlada y evita la cristalización (Bustamante-González et al., 2024).

Los crioprotectores se clasifican en dos grupos: permeables y no permeables, según su capacidad para difundir la membrana plasmática, y su uso depende del tipo de célula o tejido que se desea conservar.

Los crioprotectores permeables son compuestos de bajo peso molecular que tienen la capacidad de difundir a través de la membrana plasmática. Su principal función es prevenir el daño causado por la formación de cristales de hielo dentro de las células durante la congelación, pero también mantienen el equilibrio osmótico entre el interior y el exterior de la célula y reducen la temperatura de nucleación. Dentro de los crioprotectores permeables se

encuentra el dimetilsulfóxido, metanol, etanol, etilenglicol, glicerol y 1,2-propanodiol (Bustamante-González et al., 2024); en animales domésticos es más común el uso de glicerol.

Los crioprotectores no permeables, también llamados extracelulares, son sustancias de alto peso molecular que no difunden la membrana plasmática pero ejercen una acción crioprotectora externa que ayuda a controlar la rehidratación intracelular durante la descongelación y previenen el daño osmótico. Dentro de los crioprotectores no permeables más utilizados se encuentran la glucosa, fructosa, lactosa, sacarosa y trehalosa (Allai et al., 2018).

Sistema de empaque

El tipo de empaque es determinante en la congelación, descongelación y almacenamiento de las muestras. Las pajillas son de uso común para la criopreservación seminal, dada su relación superficie/volumen, lo cual favorece la congelación y descongelación de las muestras (Medina-Robles et al., 2020). Las pajillas se comercializan en distintos volúmenes (0.25, 0.5 o 1.2-5.0 mL), los cuales son elaborados con plásticos que soportan y hace eficientes los cambios de temperatura durante la congelación.

Tasa de congelación y descongelación

La etapa de congelación es considerada un punto crítico de control, ya que es donde la célula sufre daños irreversibles por la formación de cristales de hielo (intracelulares y extracelulares), choque térmico, estrés osmótico y estrés oxidativo, que en conjunto afectan la membrana plasmática, las mitocondrias y la estructura de la cromatina (Figueroa Villalobos et al., 2025; Gironi et al., 2020). La congelación de las muestras se puede llevar a cabo mediante hielo seco, suspensión en vapores de nitrógeno líquido, vitrificación o enfriamiento controlado (congelador programable) (Medina-Robles et al., 2020).

Ulteriormente, la descongelación hace referencia a la velocidad a la que una muestra es descongelada. En este caso se recomienda estandarizar la temperatura, ya que una tasa de descongelación lenta hace que los cristales de hielo se recrystalicen, fusionen, crezcan y dañen la célula. Por otra parte, cuando la tasa de descongelación es rápida no hay tiempo suficiente para la recrystalización, es decir, el hielo simplemente se derrite. La temperatura y el tiempo de descongelación suelen variar de acuerdo con la especie, pero el promedio oscila entre 35 y 40 °C.

Desafíos en la reproducción

La criopreservación espermática es una herramienta clave en la biología de la reproducción. Sin embargo, uno de sus retos es la elaboración de protocolos específicos de acuerdo con cada especie, que aseguren altos porcentajes de espermatozoides móviles capaces de llevar a cabo la fecundación. Por esta razón, se requiere de un mayor volumen de semen criopreservado,

desafío que pone de manifiesto la necesidad de contar con protocolos exitosos que garanticen la viabilidad y movilidad de los espermatozoides para llevar a cabo alguna técnica de reproducción asistida (TRA), como la IA o la FIV (Bustamante-González y Ávalos-Rodríguez, 2023; Bustamante-González et al., 2024).

No obstante, aunque la criopreservación ha demostrado ser una TRA valiosa para la conservación de la biodiversidad y la biología de la reproducción, no está exenta de desafíos técnicos y limitaciones. Uno de los problemas principales radica en los daños que la célula manifiesta durante la congelación y descongelación, ya que la membrana plasmática y los orgánulos celulares son estructuras extremadamente delicadas cuya integridad y funcionalidad pueden verse comprometidas por los cambios de temperatura (Nynca et al. 2017).

El problema se debe a la formación de cristales de hielo intra y extra celular, los cuales pueden perforar la membrana plasmática, dañar su estructura y funcionalidad, aunado al estrés osmótico, térmico y oxidativo, que en conjunto afectan la viabilidad celular (Bustamante-González et al., 2024; Figueroa Villalobos et al., 2025). No obstante, otro desafío es la capacitación prematura o criocapacitación, que reduce la viabilidad fértil de los espermatozoides descongelados (Bañas et al., 2023; Benko et al., 2022), lo cual plantea la necesidad de desarrollar protocolos más seguros y eficientes que minimicen los daños durante este proceso.

Algunos casos de éxito

A continuación se describen algunos casos de éxito donde se ha conseguido criopreservar espermatozoides de manera satisfactoria.

En México se logró la criopreservación espermática de especies endémicas con alto valor biológico y cultural, como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*), anfibio catalogado en peligro de extinción (Rivera-Pacheco et al., 2021), o bien, de algunos peces endémicos pertenecientes al género *Chirostoma* (Bustamante-González et al., 2024).

En España se consiguió la criopreservación espermática del halcón peregrino (*Falco peregrinus*), lo que ha sido propuesto como modelo biológico idóneo para el desarrollo de protocolos de criopreservación aplicables a otras aves rapaces (Cardoso et al., 2020). Asimismo, se logró la criopreservación del lobo ibérico (*Canis lupus signatus*), endémico de la península ibérica, cuyos resultados podrían contribuir a la conservación de subespecies (Cerdeira et al., 2021). Recientemente se consiguió la del pingüino del Cabo (*Spheniscus demersus*) y la del pingüino de pico rojo (*Pygoscelis papua*) (Marti-Colombas et al., 2022).

En Brasil se realizó la criopreservación espermática de diversas víboras, como la mapaná (*Bothrops atrox*), caiyaca (*B. moojeni*) y cascabel tropical (*Crotalus durissus*) (Blank et al., 2022). En Estados Unidos se obtuvo de manera satisfactoria la criopreservación espermática del hurón de patas negras (*Mustela nigripes*), especie en peligro de extinción en América del Norte (Howard et al., 2015).

Por lo anterior, la criopreservación se perfila como una biotecnología clave, con un futuro prometedor en los campos de la conservación de la biodiversidad y en la biología de la reproducción.

Futuro de la biodiversidad y la ciencia reproductiva

El desafío de proteger la biodiversidad requiere de un enfoque integral que combine la conservación de los ecosistemas con el uso responsable de las tecnologías emergentes. En este contexto, la RA puede ser una herramienta fundamental, pero sólo si se utiliza de manera ética y sostenible. Si bien la ciencia ofrece soluciones innovadoras, la preservación de la biodiversidad sigue siendo la prioridad, y a medida que continuamos enfrentando retos medioambientales globales, es crucial que la humanidad encuentre un equilibrio entre el desarrollo tecnológico y la conservación de la vida en el planeta (Malabika y Mohammad, 2014).

Conclusión

La criopreservación se ha consolidado como una herramienta fundamental en la protección y el uso sostenible de los recursos biológicos, desempeñando un papel invaluable en la biología moderna. Su eficacia en la conservación y reproducción de especies en peligro de extinción la posiciona como una estrategia clave para preservar la biodiversidad, principalmente en aquellas especies que presentan barreras geográficas que dificultan la reproducción natural, o bien, potenciar la mejora genética de organismos con alto valor comercial. No obstante, a pesar de los avances significativos en la comprensión de los mecanismos implicados en este proceso, la mejora continua de los protocolos de criopreservación sigue siendo esencial para asegurar una conservación eficiente y segura del material biológico.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías se espera que esta técnica tenga un impacto profundo no sólo en la preservación de gametos, sino también en la de otros tipos de células y tejidos, al ampliar sus aplicaciones tanto en el ámbito de la biología como en la medicina regenerativa. Esta evolución proyecta la criopreservación como una biotecnología revolucionaria para el resguardo de la diversidad genética y el avance de soluciones innovadoras frente a los desafíos ambientales y productivos actuales.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al apoyo otorgado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) a Nayeli Berenice Aguirre-Valenzuela (CVU: 1306961), Jesús Dámaso Bustamante González (CVU: 566816) y Araceli Cortés García (CVU: 46485).

Referencias

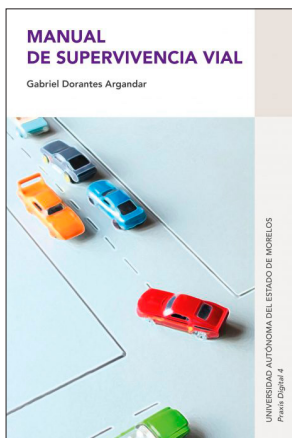
- Allai, L., Benmoula, A., Maia, M. S., Nasser, B. y El Amiri, B. (2018). Supplementation of ram semen extender to improve seminal quality and fertility rate. *Animal Reproduction Science*, 192, 6-17. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.019>
- Bañas, Š., Benko, F., Ďuračka, M., Lukáč, N. y Tvrdá, E. (2023). Epicatechin prevents cryocapacitation of bovine spermatozoa through antioxidant activity and stabilization of transmembrane ion channels. *International Journal of Molecular Science*, 24(3), 2510. <https://doi.org/10.3390/ijms24032510>
- Benko, F., Fialková, V., Žiarovská, J., Ďuračka, M., Lukáč, N. y Tvrdá, E. (2022). In vitro versus cryo-induced capacitation of bovine spermatozoa, part 2: changes in the expression patterns of selected transmembrane channels and protein kinase A. *International Journal of Molecular Science*, 23: 14646. <https://doi.org/10.3390/ijms232314646>
- Blank, M. H., Novaes, G. A., Losano, J. D. A., Sant'Anna, S. S., Vieira, S. E. M., Grego, K. F. y Pereira, R. J. G. (2022). Insights on sperm assays and cryopreservation in six Neotropical pit vipers. *Cryobiology*, 106, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2022.04.003>
- Bustamante-González, J. D. y Ávalos-Rodríguez, A. (2023). Criopreservación espermática ante la pérdida de la biodiversidad. *Elementos*, 32(132), 91-94. <https://elementos.buap.mx/post.php?id=826>
- Bustamante-González, J. D., Gutiérrez-Díaz, D. L., Baca-Alejo, J. S., Figueroa-Lucero, G., Arenas-Ríos, E., Hernández-Rubio, M. C. y Ávalos-Rodríguez, A. (2024). Fertilizing capacity of cryopreserved sperm of *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894). *Fisheries and Aquatic Sciences*, 27(5), 306-313. <https://doi.org/10.47853/FAS.2024.e30>
- Cardoso, B., Sánchez-Ajofrín, I., Castaño, C., García-Álvarez, O., Esteso, M. C., Maroto-Morales, A., Iniesta-Cuerda, M., Garde, J. J., Santiago-Moreno, J. y Soler, A. J. (2020). Optimization of sperm cryopreservation protocol for peregrine falcon (*Falco peregrinus*). *Animals*, 10(4), 691. <https://doi.org/10.3390/ani10040691>
- Cerdeira, J., Castaño, C., Pérez, J. F., Marcos-Beltrán, J. L., Guerra, R., López-Fernández, M., Torija, E., Rodríguez, A., Martínez-Navado, E., Toledano-Díaz, M. J., Sánchez-Calabuig, M. J. y Santiago-Moreno, J. (2021). Vitriification of Iberian wolf (*Canis lupus signatus*) sperm: a possible alternative to conventional cryopreservation. *Animal Reproduction Science*, 235, 106887. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106887>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2022). ¿Cuántas especies hay? *Biodiversidad Mexicana*. CONABIO, sp. https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/cuantasesp?utm_source
- Figueroa Villalobos, E., Wilson, R., Amorim Pereira, W., Merino, O., Pérez-Atehortúa, M., Niedmann, P., Ávila, S., Alvarado, C., Risopatrón, J., Oliveira, R. P. S., Farías, J. G., Valdebenito Isler, I., Villasante, A. y Romero, J. (2025). Cryopreservation of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*)

- sperm: effects on metabolic enzymes and sperm quality. *Aquaculture*, 596(parte 2), 741865. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741865>
- Gironi, B., Kahveci, Z., McGill, B., Lechner, B. D., Pagliara, S., Metz, J., Morresi, A., Palombo, F., Sassi, P. y Petrov, P. G. (2020). Effect of DMSO on the mechanical and structural properties of model and biological membranes. *Biophysical Journal*, 119(2), 274-286. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2020.05.037>
- Howard, J. G., Lynch, C., Santymire, R. M., Marinari, P. E. y Wildt, D. E. (2015). Recovery of gene diversity using long-term cryopreserved spermatozoa and artificial insemination in the endangered black-footed ferret. *Animal Conservation*, 19(2), 102-111. <https://doi.org/10.1111/acv.12229>
- Keck, F., Peller, T., Alther, R., Barouillet, C., Blackman, R., Capo, E., Chonova, T., Couton, M., Fehlinger, L., Kirschner, D., Knüsel, M., Muneret, L., Oester, R., Tapolczai, K., Zhang, H. y Altermatt, F. (2025). The global human impact on biodiversity. *Nature*, 641(8062), 395-400. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08752-2>
- Malabika, R. P. y Mohammad, S. A. (2014). The role of biotechnology in the conservation of biodiversity. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Science*, 2(4), 352-363. https://www.researchgate.net/publication/265126076_The_Role_of_Biotechnology_in_the_Conservation_of_Biodiversity
- Marti-Colombas, M., Sánchez-Calabuig, M. J., Castaño, C., Toledano-Díaz, A., Martínez-Nevado, E., López-Goya, A. y Santiago-Moreno, J. (2022). Optimization of semen cryopreservation in black-footed (*Spheniscus demersus*) and gentoo (*Pygoscelis papua*) penguins using dimethylacetamide and dimethylsulfoxide. *Animal Reproduction Science*, 237, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.106933>
- Medina-Robles, V. M., Duarte-Trujillo, A. S. y Cruz-Casallas, P. E. (2020). Criopreservación seminal en peces de agua dulce: aspectos biotecnológicos, celulares y bioquímicos. *Orinoquia*, 24(2), 51-78. <https://doi.org/10.22579/20112629.630>
- Megha, B. A. y Chaitanya, H. P. (2021). Cryopreservation of gametes in wildlife: a mini review. *JOJ Wildl Biodivers*, 3(3), 555619. <https://juniperpublishers.com/jojwb/JOJWB.MS.ID.555619.php>
- Nynca, J., Judycka, S., Liszewska, E., Dobosz, S. y Ciereszko, A. (2017). Standardization of spermatozoa concentration for cryopreservation of rainbow trout semen using a glucose-methanol extender. *Aquaculture*, 477, 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.036>
- Rivera-Pacheco, J., Herrera-Barragán, J., León-Galván, M., Ocampo-Cervantes, J., Pérez-Rivero, J. J. y Gual-Sill, F. (2021). Criopreservación espermática de *Ambystoma mexicanum* (Shaw & Nodder, 1798). *Abanico Veterinario*, 11, 1-14. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.12>
- Sieme, H., Oldenhofa, H. y Wolkersb, W. F. (2016). Mode of action of cryoprotectants for sperm preservation. *Animal Reproduction Science*, 169, 2-5. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.004>

SIGNIFICAR CON TEXTOS

Fondo Editorial UAEM

- Manual de supervivencia vial
- Patrimonios en riesgo: múltiples miradas
- ¿Hacia una era ecológica del capital? Condiciones, problemas y disyuntivas de la sustentabilidad frente a la emergencia socioambiental del siglo XXI
- Gobernadores: entrevistas sobre la democratización en Morelos, 1988-2012
- 731 días
- Asociación Mexicana de Neuropsicología: 25 años de práctica clínica e investigación
- Semillas con valor: un modelo de negocio para las pequeñas y medianas empresas semilleras de México
- Historia de Morelos. Tierra, gente, tiempos del Sur, tomo III: de los señoríos indios al orden novohispano
- Bío-extravíos
- Más allá de los sistemas: el pensamiento de Jean Robert con la obra de Iván Illich



Manual de supervivencia vial

Gabriel Dorantes Argandar

UAEM (Praxis Digital), Cuernavaca, 2016, 95 páginas

ISBN: 978-607-8434-69-5

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/manual-de-supervivencia-vial/>

Este libro tiene como objetivo principal explicar el *conflicto vial* a través de la colectividad de los individuos que participan en la movilidad motorizada, por lo que se aborda aquí la movilidad vial como una problemática de carácter social en el que influyen procesos de percepción, evaluación, afrontamiento y personalidad. Las investigaciones aquí presentes consideran factores psicosociales, de comportamiento y cognitivos implicados en la interacción vial en contextos urbanos y sociales entre conductores de automóviles, pasajeros y peatones, así como la predominancia del estrés, el incumplimiento del reglamento de tránsito y vialidad, los límites de velocidad, el semáforo y los sentidos de las calles, la ausencia de indicaciones, las condiciones atmosféricas y meteorológicas, el tiempo, las rutas alternativas y el uso de sustancias psicoactivas por parte de los automovilistas, entre otros.



Patrimonios en riesgo: múltiples miradas

Laura Elena Corona de la Peña,

Miguel Morayta Mendoza, Carlos Agustín Barreto Zamudio,

Milton Gabriel Hernández García (coords.)

UAEM, Cuernavaca, 2024, 346 páginas

ISBN: 978-607-8951-70-3

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/patrimonios-en-riesgo-multiples-miradas/>

El patrimonio cultural es un legado a través del cual los pueblos reconocen, valorizan y transmiten lo que constituye el sostén central para su vida, en términos materiales, relacionales y simbólicos. En este volumen se reúne un conjunto de trabajos que abordan una dimensión particular e interdisciplinaria: la vulnerabilidad del patrimonio biocultural en distintas áreas geográficas de nuestro país. Los autores reflexionan alrededor de conceptos como *riesgo*, *percepciones locales* y *vulnerabilidad*, en relación con las experiencias y problemáticas que enfrentan distintas comunidades mexicanas frente a la pérdida del patrimonio cultural y lingüístico, la educación, el medio ambiente, la iglesia católica, la identidad, la cocina, la danza, los rituales y las transformaciones sociales.



¿Hacia una era ecológica del capital? Condiciones, problemas y disyuntivas de la sustentabilidad frente a la emergencia socioambiental del siglo XXI

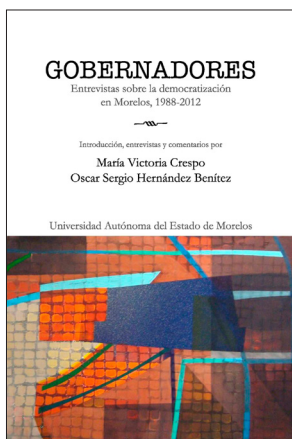
Josemanuel Luna-Nemecio, Deysi Milena Sorzano Rodríguez, Jesús Eduardo Licea Reséndiz (coords.)

UAEM/Atik Editorial, Cuernavaca/Quito, 2024, 350 páginas

ISBN: 978-607-8951-87-1

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/hacia-una-era-ecologica-del-capital/>

Este libro aborda la relación entre el ser humano y la naturaleza en el capitalismo del siglo XX y XXI, donde el desarrollo tecnológico y el capital han enajenado la dimensión natural al ser humano. Los autores revisan diversas teorías para entender la relación entre capitalismo, naturaleza y economía política, la sustentabilidad y los megaproyectos, las políticas de planeación ambiental, los residuos sólidos y la crisis ambiental. Con estas investigaciones y propuestas se busca contribuir al desarrollo sustentable desde la educación, la salud y la arquitectura, a partir de una nueva veta o perspectiva que guíe las investigaciones y la relación humano-naturaleza sobre las condiciones, problemáticas y dilemas que enfrenta actualmente la sustentabilidad.



Gobernadores: entrevistas sobre la democratización en Morelos, 1988-2012

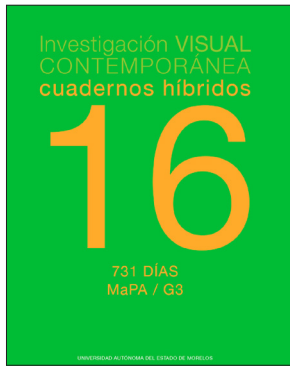
María Victoria Crespo, Oscar Sergio Hernández Benítez (introducción, entrevistas y comentarios)

UAEM, Cuernavaca, 2023, 184 páginas

ISBN: 978-607-8951-24-6

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/gobernadores-entrevistas-sobre-la-democratizacion-en-morelos-1988-2012-2/>

Este libro reúne una serie de entrevistas realizadas entre 2008 y 2009 a los gobernadores de Morelos de los periodos de 1988 a 2012. La obra es un recuento narrativo-histórico-político de su papel en el proceso de democratización del estado. El punto de partida es la convulsionada década de 1990, en la que se produjeron los primeros signos reales de apertura, liberalización y, finalmente, de la crisis del sistema político estatal. Este proceso condujo a la primera alternancia municipal en 1997 y a la transformación del régimen político que tuvo una duración de setenta años. Se parte de una perspectiva teórica para entender la transición de la democracia desde los actores, la historia oral y los acontecimientos políticos.



731 días

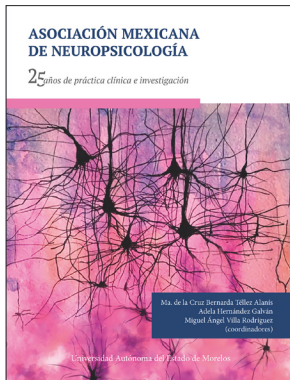
MaPa 7 G3

UAEM (Cuadernos Híbridos 16), Cuernavaca, 2017

ISBN COLECCIÓN: 978-607-8332-51-9

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/cuadernos-hibridos-coleccion/>

Durante 731 días, once integrantes de la Maestría en Producción Artística de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos cuestionaron cómo se concibe, articula y materializa la práctica artística, al mismo tiempo que se construyen puentes con caminos trazados con anterioridad y se sigue la evolución de un mayor entendimiento de la propia obra en diálogo con la de los demás. A través de la mirada, el ritual, la nostalgia, el paisaje, la naturaleza, el cuerpo, la fotografía, el texto y la escritura, estos creadores nos invitan al *hacer* y el *construir desde* nuestra cotidianidad. Participan Natalia Fernández Larios, Karina Cano Ruiz, Antonio Lozano Cuevas, Fernando Méndez Arroyo, Blanca González Hernández, Emmanuel Vargas Saldaña, Raquel Bonilla Carvajal, Miguel Gómez Counahan, Alejandra Contreras Sieck, Franciny Iglesias Abbatemarco y Javier Ocampo Hernández.



Asociación Mexicana de Neuropsicología: 25 años de práctica clínica e investigación

Ma. de la Cruz Bernarda Téllez Alanís, Adela Hernández Galván, Miguel Ángel Villa Rodríguez (coords.)

UAEM, Cuernavaca, 2023, 591 páginas

ISBN: 978-607-8951-19-2

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/asociacion-mexicana-de-neuropsicologia-25-anos-de-practica-clinica-e-investigacion/>

Esta obra conmemora el 25º aniversario de la Asociación Mexicana de Neuropsicología AC (AMN). Las dos primeras partes abordan temas generales y transversales de la neuropsicología, orígenes, futuros y pacientes, lengua de señas mexicana, y trastornos por déficit de atención e hiperactividad. En la tercera parte se tratan temáticas relacionadas con la neuropsicología infantil y del adolescente, en tanto evaluación, rehabilitación, desafíos, educación, enseñanza y neurodiversidad. El cuarto apartado está dedicado al envejecimiento normal y patológico en adultos mayores. En el quinto se abordan algunas patologías típicas del quehacer neuropsicológico, mientras que la sexta y última parte se centra en temas relacionados con las nuevas tecnologías, así como los retos, trabajos y perspectivas de la AMN.



Semillas con valor: un modelo de negocio para las pequeñas y medianas empresas semilleras de México

Marco Antonio Caballero García, José Antonio Chávez García,

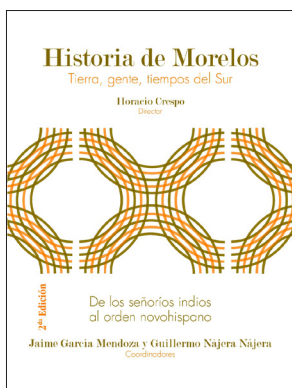
María Claudia Rueda Barrientos, Porfirio Juárez López

UAEM, Cuernavaca, 2026, 217 páginas

ISBN: 978-607-2646-74-2

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/semillas-con-valor-un-modelo-de-negocio-para-las-pequenas-y-medianas-empresas-semilleras-de-mexico/>

El sistema de semillas de un país se entiende como una cadena de valor integrada por elementos interconectados, que abarcan desde el desarrollo de nuevas variedades hasta la multiplicación, producción, distribución y comercialización de las semillas, consideradas un insumo esencial para los agricultores. En esta obra se realiza un diagnóstico general del sistema de semillas en México, tomando en cuenta sus particularidades, el marco legal vigente y los principales retos que enfrenta. A partir de este análisis, se proponen estrategias dirigidas a pequeñas y medianas empresas semilleras, con el objetivo de promover la innovación en sus modelos de negocio y aprovechar las oportunidades que ofrece el contexto nacional para fortalecer su crecimiento y competitividad.



Historia de Morelos. Tierra, gente, tiempos del Sur, III: de los señoríos indios al orden novohispano

Horacio Crespo (dir.), Jaime García Mendoza,

Guillermo Nájera Nájera (coords.)

UAEM, Cuernavaca, 2018, 838 páginas

ISBN: 978-607-00-8639-14-4

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/archivos/epub/historia-morelos/historia-morelos-3.pdf>

Este tercer tomo de la *Historia de Morelos* está centrado en el siglo XVI, en el periodo que abarca el final de la sociedad prehispánica, la conquista española y el trazado de los fundamentos del orden colonial. Los autores remiten al siglo XV y fechas más lejanas para mostrar la conformación histórica de la región, la violencia de la conquista entre la cultura indígena y la castellana, para ofrecer un panorama de los procesos de las distintas coyunturas que revelan la trama de la historia regional morelense y del espacio geográfico como sujeto de la historia. Esta variable nos invita a observar un proceso de formación de muy largo plazo, originado en diversas y pequeñas regiones con características climáticas particulares del actual estado de Morelos.



Bío-extravíos

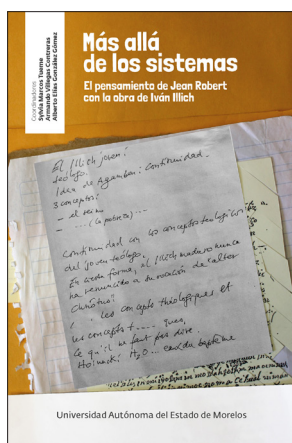
José S. Ponce

UAEM (Máquina de Futuros), Cuernavaca, 2024, 52 páginas

ISBN: 978-607-8951-33-8

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/bio-extravios/>

Jose S. Ponce compagina sus estudios en biología, la lectura y la escritura de literatura de imaginación a través de cada uno de los ocho relatos compilados en este volumen. Nos plantea los alcances de la ciencia con lo humano, lo vegetal y lo animal cuando es desarrollado por las manos equivocadas y, al mismo tiempo, exhibe la capacidad para reponerse y generar alternativas de los seres que sufren las consecuencias. No hay garantías en las ambiciones de los personajes que desean dominar la evolución a costa de cualquier daño humano o ecológico, incluso geográfico. Por eso, estas páginas son un vistazo a la incertidumbre del porvenir: la experimentación animal que se sale de control, la modificación genética de la flora y la reinención de la ciudad tras una temporada de inundaciones.



Más allá de los sistemas: el pensamiento de Jean Robert con la obra de Iván Illich

Sylvia Marcos Tueme, Armando Villegas Contreras,

Alberto Elías González Gómez (coords.)

UAEM, Cuernavaca, 2023, 112 páginas

ISBN: 978-607-8951-16-1

CONSULTA: <https://libros.uaem.mx/producto/mas-alla-de-los-sistemas-el-pensamiento-de-jean-robert-con-la-obra-de-ivan-illich/>

Esta obra surge de las críticas más lúcidas y radicales a la modernidad y sus excesos, así como los planteamientos para opciones creativas y conviviales vividas encarnadamente en el cuerpo y la comunidad. Desde distintas disciplinas y perspectivas, los autores se aproximan a diversas problemáticas planteadas por Jean Robert en diálogo con Iván Illich y en la lectura del último libro de Robert, *La edad de los sistemas en el pensamiento del Illich tardío*. En este libro se encuentran reflexiones en torno a la era de los sistemas, la relación entre fe y crítica política, la pertinencia del género vernáculo, el problema de la tecnología, la crítica de la modernidad y el derrumbe de las certezas modernas. Se trata de un libro necesario que plantea senderos de pensamiento crítico e imaginación política importante.