



CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN AMÉRICA LATINA

Revista de difusión y divulgación científica

Agua, clima y agroecosistemas:
ciencia y soluciones ante un mundo cambiante

Vol. 1, núm. 2, 2026 | DOI: 10.30973/ccds/2026.1.2



ccds.uaem.mx

Directorio

Viridiana Aydée León Hernández
Rectora

Elisa Lugo Villaseñor
Secretaría Académica

Jade Nadine Gutiérrez Hardt
Directora de Publicaciones y Divulgación

Equipo editorial

Efraín Tovar Sánchez
Editor

Eliezer Cuesta Gómez
Corrección de estilo y formación

Ariana María García Reyes
Sistemas

Julio Saavedra
Imagen de portada

Consejo editorial

Efraín Tovar Sánchez
Responsable de la Cátedra UNESCO Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

María Luisa Castrejón Godínez
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Patricia Mussali Galante
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Alexis Joavany Rodríguez Solís
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Leticia Isabel Valencia Cuevas
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Consejo nacional e internacional de revisores

Tania Sánchez Ortiz
Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, México

Luis Alfonso Sandia Rondón
Universidad de los Andes, Venezuela

Marco Tulio Espinoza López
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Colombia

Marcel Szantó Narea
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Neftalí Rojas Valencia
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Constantino Gutiérrez Palacios
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Katia Sánchez Ortiz
Oxford Martin School, Reino Unido

Zenón Cano Santana
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Jonas Morales Linares
Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Alejandro Flores Palacios
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Cesar Sotelo Leyva
Universidad Autónoma de Guerrero, México

Fernando Varela Hernández
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Francisco Riquelme Alcantar
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Joel Daniel Castañeda Espinoza
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, México

Miguel Santoyo Martínez
Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

J. Rolando Ramírez Rodríguez
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Ana Karen Ivanna Flores Trujillo
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), México

Carmen Agglael Vergara Torres
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Elsah Arce Uribe
Centro de Investigación Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Luz de María Breton Deval
Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México

María Teresa Bravo Mercado
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Ofelia Sotelo Caro
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Susana Silva Martínez
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Susana Valencia Díaz
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Ortencia Colín Bahena
Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Oscar Luis Pysczek
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Colombia

Perla Patricia Snader
Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

Juan Pablo Álvarez
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Bolivia

Jander Barbosa Monteiro
Universidade Estadual Vale do Acaraú, Brasil

Julio Cesar Lara Manrique
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina, año 1, número 2, 2026, es una publicación periódica de difusión y divulgación científica con un esquema de publicación continua cuatrimestral (tres números anuales), un sistema de arbitraje doble ciego (*peer reviewed*) y se distribuye electrónicamente en formatos OJS y PDF. Es editada por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), a través de la Cátedra UNESCO Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina, edificio principal (planta baja), Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, C.P. 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 3297000, ext. 3277. Página electrónica de la publicación: ccds.uaem.mx Correo electrónico: ccdsrevista@uaem.mx

Editor en Jefe y responsable editorial: Efraín Tovar Sánchez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2025-112714284400-102, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. ISSN: (en trámite). Responsable de la última actualización de este número: Efraín Tovar Sánchez. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 329 7000, ext. 3277. Correo: catedra.unesco@uaem.mx Fecha de la última modificación: 6 de febrero de 2026. Tamaño del archivo: 16.28 MB.

La cátedra UNESCO busca generar vinculación y compartir conocimiento entre instituciones de educación superior locales, nacionales y a nivel de América Latina para promover la educación, la investigación y la extensión sobre cambio climático y desarrollo sostenible, a fin de concretar, intercambiar, reflexionar, enriquecer y difundir este conocimiento para contribuir a la solución de problemáticas locales, regionales e internacionales. Los temas que aborda la cátedra incluyen aspectos científicos o tecnológicos relacionados con el cambio climático y el desarrollo sostenible en América Latina, además de temas interrelacionados entre diversas disciplinas científicas y diversos campos de aplicación a distintas escalas espaciales, con énfasis en el análisis de casos locales.

Esta publicación 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.



Contenido

El cambio climático y sus efectos diferenciados

Jazmín González Zurita, Víctor Flores-Armillas

5

Manejo de recursos naturales ante el cambio climático: desafío crucial para los países de América Latina

Xavier López-Medellín

10

Cambio climático y sustentabilidad ambiental en los libros de texto en la educación primaria en México

Giovanni Ríos Reyes

15

Más cambio climático más agroquímicos

Alexis Joavany Rodríguez-Solís, María Luisa Castrejón-Godínez, Patricia Mussali-Galante,
Efraín Tovar-Sánchez

21

Remoción de malatión en aguas residuales provenientes de la agricultura

Rogelio Estrada-Vázquez, Yaneth Alejandra Bustos-Terrones, Mabel Vaca-Mier

28

Estudio de la calidad del agua en un embalse agrícola de Sinaloa

Juan Gabriel Loaiza, Yaneth Alejandra Bustos-Terrones

32

Análisis de la calidad del agua de los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán en Sinaloa, México

Yaneth Alejandra Bustos-Terrones, Hilda Karina Ramírez-Medina, Bladimir Montoya-Rodríguez

36

Eliminación mejorada de arsénico de agua subterránea mediante nanopartículas de óxido de hierro soportadas en xerogeles de carbono (xerogeles magnéticos)

Sasirot Khamkure, Victoria Bustos-Terrones, Audberto Reyes-Rosas

41

La gestión de residuos, un vistazo desde el enfoque de la función pública en el estado de Morelos

Yaneth Alejandra Bustos-Terrones, Juan Gabriel Loaiza, Victoria Bustos-Terrones

46

El cambio climático y las interacciones ecológicas: el caso de los jardines de hormigas

Jonas Morales-Linares, Michelle Ivonne Ramos-Robles, Alejandro Flores-Palacios

50

Uso de parasitoides como herramienta clave en la agricultura sostenible de México: retos y perspectivas ante el cambio climático

Jaime González-Cabrera, Humberto Reyes-Prado, Agustín Jesús Gonzaga-Segura

54

Control biológico de una plaga de frutillas en México:
un caso de éxito de manejo agrícola frente al cambio climático

Agustín Jesús Gonzaga-Segura, Jaime González-Cabrera, Víctor Rogelio Castrejón-Gómez

59

Sinantropía del género *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae):
una invasión exitosa a ambientes antropizados

Dulce Ocampo, Francisco Riquelme, Leticia Valencia-Cuevas

64



El cambio climático y sus efectos diferenciados

Jazmín González Zurita^{1*}, Víctor Flores-Armillas²

¹Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Facultad de Ciencias de la UNAM y ²Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

*jazmingonzalezzurita@gmail.com

Resumen

El cambio climático es un fenómeno de alta complejidad en el que diversos actores interactúan en condiciones variables. Aunado a esto, los efectos adversos se distribuyen de manera desigual, siendo los grupos vulnerables los más afectados. Entre estos efectos adversos, se puede mencionar la disminución de la disponibilidad de agua para uso y consumo humanos. Por ello, resulta necesario realizar estudios de disponibilidad del recurso hídrico ante escenarios de cambio climático en el estado de Morelos que consideren este impacto diferenciado, con el objetivo de brindar a las autoridades y a la población en general información confiable y vinculada a la realidad. Solo así se podrá fortalecer la seguridad hídrica y la capacidad de adaptación en el estado.

Palabras clave: seguridad hídrica, vulnerabilidad, capacidad adaptativa, escenarios de cambio climático.

El cambio climático es un fenómeno que refleja una alteración de los procesos ambientales que tienen lugar en la biosfera. Se trata de un problema de alta complejidad en el que intervienen una gran diversidad de actores, involucrados en entramados de intereses económicos y políticos¹.

Las actividades humanas han provocado un calentamiento global de al menos 1 °C (con un rango probable de 0.8 °C a 1.2 °C). Se prevé un aumento mínimo de 1.5 °C entre 2030 y 2052. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en su último informe, advierte que, con un aumento de la temperatura media de la superficie mayor a 1 °C los impactos y riesgos serán severos. Por lo que,

a medida que nos acercamos a este umbral, aumentarán los riesgos de desastres ocasionados por eventos meteorológicos extremos³.

La crisis mundial del cambio climático influye estrechamente en el ciclo hidrológico. Este incrementa la variabilidad y provoca fenómenos meteorológicos extremos. Asimismo, reduce la capacidad de predicción de los cambios en la disponibilidad del agua⁴. Las proyecciones para el siglo **xxi** indican que habrá una reducción de las aguas superficiales y subterráneas en la mayor parte de las regiones subtropicales. Esto intensificará la competencia por el agua entre los sectores económicos y sociales. Además, se proyecta que el cambio climático provocará una disminución de la calidad del agua bruta y generará riesgos para la calidad del agua potable, incluso con el tratamiento de potabilización convencional⁵.

Diversos escenarios climáticos coinciden en señalar que se prevén variaciones importantes (en intensidad y frecuencia) de la temperatura y la precipitación, lo cual incrementará la vulnerabilidad social y ambiental⁶. El cambio climático pone de manifiesto los distintos grados de vulnerabilidad (definida como el riesgo y daño que las alteraciones a los procesos biofísicos y sociales pueden ocasionar a la población y los ecosistemas) al disminuir la disponibilidad de agua en cuanto a cantidad y calidad suficiente para el funcionamiento adecuado de los ecosistemas, y para dar cumplimiento con el derecho humano al agua y saneamiento.

Aunado a esto, el cambio climático impacta de manera desigual. Las personas más vulnerables son aquellas que están desfavorecidas económicamente, socialmente, culturalmente y/o políticamente. Las mujeres en situación de vulnerabilidad suelen formar parte de estos grupos, por lo que a menudo experimentan directamente los efectos negativos del cambio climático⁷. El **ipcc** reconoció en 2001 dicho impacto diferenciado, señalando que, ante las distintas exposiciones por factores sociales, se observa un efecto distinto entre ambos sexos⁷. Se estima que mujeres y niños son más propensos a enfermedades relacionadas con el calor y la mala calidad del agua, lo cual se puede ver agudizado con suministros limitados de alimentos⁸.

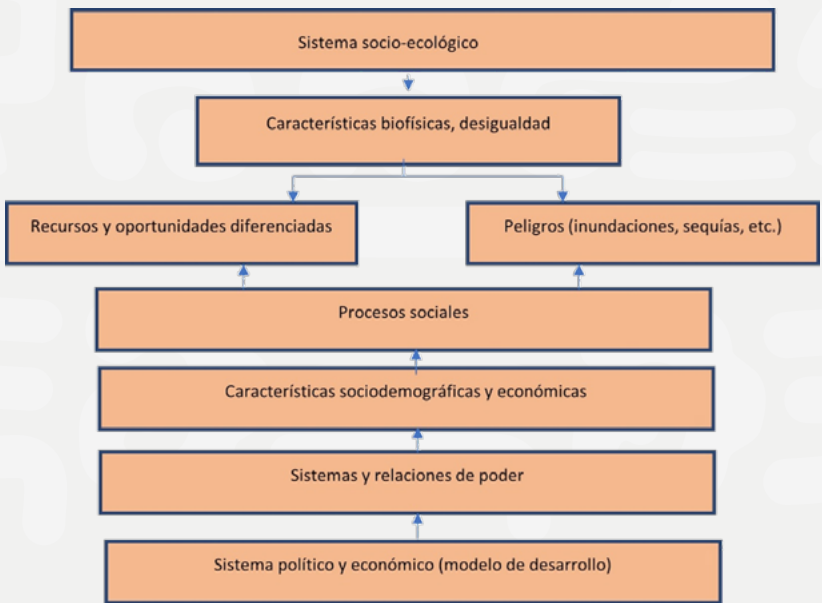


Figura 1. Esquematiza este efecto diferenciado hacia los grupos vulnerables de la sociedad⁹.

Es posible atenuar la vulnerabilidad ante el cambio climático, reduciendo la sensibilidad del sistema socioambiental y mejorando su capacidad adaptativa. Lograr esto exige mayor conocimiento del entorno social, económico, político y ambiental¹⁰. Por ello, es necesario entender las razones por las que una comunidad es vulnerable a eventos climáticos específicos, así como el conocimiento de estrategias diferenciadas de prevención y adaptación para enfrentar estos desafíos¹¹. Es por todo lo anterior que la vulnerabilidad diferenciada implica analizar los diferentes papeles de las desigualdades sociales y la distribución no equitativa del poder en la construcción de la vulnerabilidad¹².

El estudio de vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático que preparó la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para su *Atlas Climático* identifica riesgos para el estado de Morelos específicos en el 73 % de la biodiversidad, el 97 % de los bosques, así como en los sectores agrícola y ganadero¹³. De acuerdo con este estudio, los efectos del cambio climático amenazan gravemente a por lo menos tres municipios: Huitzilac, Ocuituco y Tlalnepantla, ubicados en la zona norte del estado. De manera general, afectarían de forma media al 43 % de la biodiversidad; en tanto que, al sector hídrico, en 91 % de forma media y 9 % de forma alta; a los bosques, 21 % de forma alta y 76 % de forma media. Asimismo, en este estudio se enfatiza la falta de medición del impacto social y económico que estos efectos ya empiezan a tener en el desarrollo del estado¹⁴.

Resulta, pues, pertinente realizar estudios sobre la disponibilidad de agua ante escenarios de cambio climático en la región y preservar las zonas de recarga hídrica. En este sentido, la zona denominada “bosque de agua” es estratégica para la recarga hídrica para los estados^{15,16}. En 2024, se realizó un estudio para esta región de bosque de agua y los sistemas de barrancas en el estado de Morelos, en el que se modeló la disponibilidad de agua y los impactos del cambio climático mediante el uso y procesamiento de las bases de datos del WorldClim Coupled Model Intercomparison Project 6 (CMIP6). Este incorpora los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero denominados *shared socioeconomic pathways* (ssp), acoplado con el modelo WEAP (*water evaluation and planning*), desarrollado por el Stockholm Environment Institute, y reforzado con entrevistas semiestructuradas con actores clave. Se analizaron las proyecciones futuras mediante los mcg (modelos de circulación general): CNRM-ESM2 (Francia), CNRM-CM6 (Francia) y MIROC6 (Japón) para horizonte medio (2041-2061) y horizonte lejano (2081-2100) con ssp 370 y ssp 58516.

Algunos de los resultados de este estudio señalan una tendencia al aumento de la demanda de agua para abastecer la región, llegando aproximadamente a 500 millones de m³ para el 2032. Según las predicciones de los modelos de cambio climático analizados, habrá disminuciones importantes en las precipitaciones, con lluvias atípicas, el desplazamiento de las temporadas de lluvia y periodos más largos de sequía. Lo anterior podría afectar la disponibilidad y la calidad del agua, así como provocar cambios importantes en el almacenamiento de agua subterránea.

Este reto complejo debe ser abordado desde varias perspectivas y con un enfoque diferenciado para lograr la formulación e instrumentación de políticas públicas efectivas, las cuales requieren acciones gubernamentales,

privadas y de las organizaciones de la sociedad civil¹⁴. Asimismo, será necesario buscar otras fuentes alternas de abasto de agua y lograr una mayor eficiencia en el uso del agua en la región.

Referencias bibliográficas

1. Sánchez-Santillán, N., de la Lanza-Espino, G., Garduño, R., & Sánchez-Trejo, R. (2015). La influencia antropogénica en el cambio climático bajo la óptica de los sistemas complejos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(6), 69-84.
2. Intergubernamental Group of Climate Change. (2019). *Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi & J. Malley (Eds.). En prensa.
3. Intergubernamental Group of Climate Change. (2024). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/>
4. UN-WATER. (2019). *Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el cambio climático y el agua*. Swiss Agency for Development and Cooperation SDC, Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands.
5. Intergubernamental Group of Climate Change. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad: Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Organización Meteorológica Mundial.
6. Arreguín-Cortés, F., Rodríguez, O., & Montero, M. J. (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
7. González, S. (2017). *El cambio climático desde una perspectiva de género*. Planeta.
8. Wisner, B. (2003). Sustainable suffering? Reflections on Development and disaster vulnerability in the post-Johannesburg world. *Regional Development Dialogue*, 24(1), 135-148.
9. CAF, Banco de Desarrollo de América Latina. (2014). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*.
10. Conde, A. C. (2007). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: Descripción de un estudio de caso y los retos en las investigaciones actuales. En J. Urbina-Soria & J. Martínez-Fernández (Comps.), *Más allá del cambio climático: Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global* (pp. 157-171). INE; Semarnat; UNAM-Facultad de Psicología.
11. City Adapt. (2010). *Estudio vulnerabilidad ante el cambio climático en Xalapa y Tlalnelhuayocan, Veracruz*. ONU; SEMARNAT.
12. Monterroso, R., Fernández, A., Trejo, R., Conde, A. C., Escandón, J., Villers, L., & Gay, C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. UNIATMOS-UNAM. <http://atlasclimatico.unam.mx/VyA/#4/z>

13. Gobierno del Estado de Morelos. (2014). *Decreto por el que se expide el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos "PEACCMOR"*. Consejería jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Dirección General de Legislación, Cuernavaca, Morelos.
14. Jaramillo, F., González, J., & Flores, V. H. (2018). *Plan para el manejo integral del sistema de barrancas del norponiente de Morelos*. El Colegio de Morelos.
15. Oswald, U. (2003). *El recurso agua en el Alto Balsas*. CRIM; IGF-UNAM; Coltlax; FHB.
16. González-Zurita, J., & Oswald-Spring, U. (2024) Modeling water availability under climate change scenarios: a systemic approach in the metropolitan area in Morelos, México. *Frontiers in Water*, 6, 1466380. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1466380>



Manejo de recursos naturales ante el cambio climático: desafío crucial para los países de América Latina

Xavier López-Medellín^{1*}

¹Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

*xlmedellin@uaem.mx

Resumen

El cambio climático y el manejo de los recursos naturales figuran entre los mayores desafíos actuales. Los países de América Latina enfrentan las peores consecuencias por su vulnerabilidad y dependencia agrícola. Los aumentos de las sequías, las lluvias más escasas y las temperaturas más altas amenazan los ecosistemas y su contribución a las poblaciones humanas. Es imperante mantener un diálogo entre los actores para elaborar estrategias que prioricen las acciones de adaptación. Las instituciones gubernamentales ambientales deben considerar estos impactos en sus políticas y leyes. Además, el involucramiento de las comunidades locales aportará su experiencia para fortalecer iniciativas regionales de adaptación y mitigación de estos efectos.

Palabras clave: adaptación, resiliencia, instituciones ambientales.

El cambio climático, derivado principalmente de actividades humanas como la deforestación y el uso excesivo de combustibles fósiles, así como del aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales, constituye uno de los mayores desafíos de la humanidad en el siglo XXI. Aunque es un fenómeno global, los países de América Latina enfrentan las peores consecuencias de este reto planetario debido a su vulnerabilidad, dependencia de la agricultura y limitada capacidad de adaptación, no obstante que estos países tienen una menor contribución de gases de efecto invernadero en relación con los países desarrollados¹.

Entre los principales riesgos del cambio climático están el aumento en sequías prolongadas y el cambio en los regímenes de precipitación, lo que reducirá la cantidad de agua dulce para consumo humano y de la vida silvestre². Esto se traduce en temperaturas cada vez más altas, lo que aumenta la frecuencia e intensidad de incendios forestales que destruyen hábitats silvestres, limitan la producción de oxígeno y liberan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera³. Ante este escenario, el océano desempeña un papel fundamental al mitigar el exceso de carbono, absorbiendo hasta el 25 % de CO_2 . Al captarse, este gas se convierte en líquido que, al entrar en contacto con el agua, produce ácido carbónico, lo que aumenta la acidez del océano y reduce la disponibilidad de carbonato de calcio, un compuesto esencial para la formación de las conchas y esqueletos de muchos organismos marinos⁴ (figura 1).

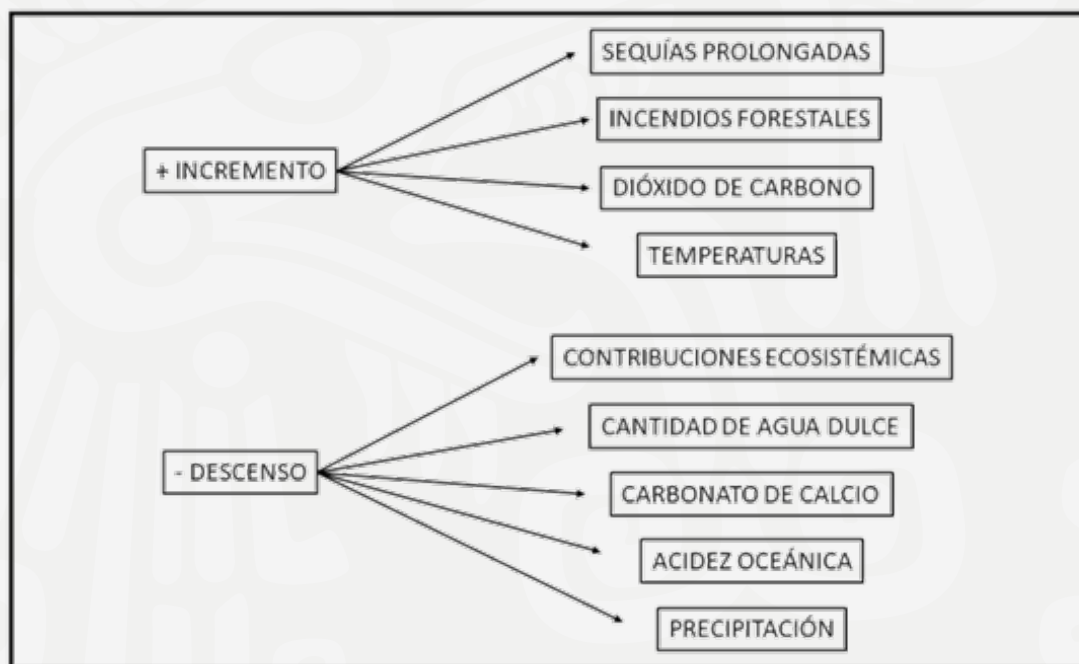


Figura 1. Principales riesgos del cambio climático en el planeta. Fuente: elaboración propia.

El cambio climático también afecta la forma en que las especies de vida silvestre interactúan entre sí y con sus hábitats, alterando la función de los ecosistemas y limitando los bienes y las contribuciones de provisión, regulación y culturales a la sociedad⁵. Un ejemplo de ello son los cambios en la distribución y disponibilidad de varias especies marinas, lo que se refleja en menos capturas y, por lo tanto, en una reducción de los ingresos económicos, lo que disminuye la calidad de vida de las poblaciones que dependen de este recurso⁶.

Una mayor frecuencia e intensidad de los desastres ambientales, derivadas del calentamiento global, deteriorarán los recursos naturales y pondrán en riesgo la vida en el planeta tal como la conocemos actualmente. Por eso, es necesario tomar medidas que permitan a la humanidad adaptarse al cambio climático. Sin embargo, debido a la complejidad y la falta de certeza respecto a la magnitud de sus impactos en diferentes regiones y poblaciones, es necesario incrementar la capacidad para tomar decisiones que generen respuestas rápidas ante sus efectos locales y regionales⁷. Entender la dirección y la magnitud de las respuestas ecológicas

permitirá a las comunidades humanas anticiparse a estos cambios y adaptarse consecuentemente a los cambios en los ecosistemas⁸, ya que ello será determinante para la magnitud del impacto en su bienestar⁹.

Las respuestas ecológicas al calentamiento sugieren una profunda necesidad de análisis y diseños en los objetivos y prácticas del manejo ambiental¹⁰. Algunos planes propuestos para adaptarse a las continuas modificaciones del clima demuestran la necesidad de sostener un diálogo constructivo entre académicos, manejadores ambientales y tomadores de decisiones, al incorporar las interpretaciones de los habitantes locales y, con ello, generar estrategias novedosas para dicha adaptación. Así, se necesitan herramientas y datos de apoyo que permitan explorar diversos escenarios de riesgo, de manera que se prioricen las acciones para responder a cierto grado de incertidumbre, optimizar las compensaciones y fortalecer las capacidades institucionales y el capital humano disponible¹¹.

El conocimiento limitado de los ecosistemas obliga a los manejadores de recursos a trabajar con incertidumbre en su afán por lograr un manejo sustentable¹². Por lo tanto, para desarrollar y actualizar planes de manejo, es necesario realizar proyectos e investigaciones periódicas que evalúen los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y los recursos naturales. Se pueden efectuar evaluaciones de vulnerabilidad que examinen la exposición de las especies, su sensibilidad y capacidad de adaptación, y que permitan detectar oportunamente cambios en la abundancia de peces y la productividad costera, de manera que se determinen patrones de pesca, se establezcan vedas y se fijen tasas de aprovechamiento adecuadas, encaminadas a incrementar la resiliencia de las poblaciones silvestres que permitan su recuperación³. Por otro lado, las acciones de restauración cobran cada vez más importancia, ya que los ecosistemas con algún grado de degradación serán menos resilientes frente al cambio climático. En este sentido, es fundamental recuperarlos y conservarlos, priorizando áreas que proveen recursos y contribuciones valiosos para las comunidades humanas¹³. Este tipo de evaluaciones proporciona información crucial para que científicos, políticos y manejadores ambientales evalúen las acciones de adaptación correspondientes y conciban soluciones adaptables y proactivas para enfrentar de manera anticipada los impactos del cambio climático⁵.

Sin embargo, aunque la información científica es central para diagnosticar problemas ambientales derivados del cambio climático, así como para proveer estrategias de mitigación, la evaluación de las formas de abordar determinados problemas depende de una mezcla de consideraciones políticas e institucionales. En particular, las instituciones gubernamentales encargadas del manejo ambiental deben tomar en cuenta de manera urgente los impactos del cambio climático en la formulación de políticas, el desarrollo de estrategias y normativas con el fin de proteger a sus ciudadanos y entornos naturales¹⁴.

La capacidad de acción y respuesta para enfrentar los efectos del cambio climático dependerá en gran medida de las competencias de las distintas instituciones para gestionarlos. Así, los gobiernos de países desarrollados, con instituciones más robustas y de mayor presupuesto operativo, han sido pioneros en incorporar políticas ambientales para mitigar el cambio climático y son más capaces de articular y combinar políticas, con una significativa disposición para defender el interés público y coordinar a diferentes actores políticos¹⁵. Por su parte, los países de América Latina mantienen procesos que resultan en dinámicas políticamente inestables,

además de que sus instituciones no tienen la capacidad (ni el interés) de hacer efectivos los derechos sociales de grupos vulnerables, por lo que aún cuentan con pocas acciones específicas de manejo para mitigar sus impactos¹⁶.

Una barrera institucional importante por eliminar es la elaboración de planes a corto plazo, con políticas y protocolos fijos, restricciones administrativas y la permanencia de prácticas de manejo basadas en condiciones ambientales desactualizadas¹⁶. Es más, aunque se tengan en cuenta algunas directrices para mitigar los efectos del cambio climático, implementar acciones a nivel local o comunitario, llevarlas a la práctica puede ser complicado dada la falta de financiamiento, tiempo, credibilidad o validez de dichas instituciones ante la población y la escasa comunicación y transferencia de información entre la academia y los manejadores¹⁷. Por ello, es fundamental fortalecer las agencias que trabajan intersectorialmente para que afronten estos temas con múltiples actores y desarrollen planes adecuados de adaptación y mitigación¹⁸.

Las comunidades humanas deberán adaptarse adquiriendo nuevas tecnologías e infraestructura, por lo que promover iniciativas locales de adaptación al cambio climático puede ser una estrategia muy efectiva de manejo. El involucramiento y la gobernanza local de las comunidades que dependen del aprovechamiento de los recursos naturales aportarán conocimientos tradicionales, fortaleciendo iniciativas regionales de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático¹⁹.

Referencias bibliográficas

1. Jiménez-Torres, A., Castillo-Acaro, E., Jiménez-Jiménez, L., & Pucha-Cofrep, D. (2022). Adaptación de sistemas naturales y sociales al cambio climático en el Ecuador: una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 12(1), 54-71. <https://doi.org/10.54753/blc.v12i1.1300>
2. Al-Gamal, S. (2020). Climate change and integrated water resources management to prevent water disputes in Africa. *Water Productivity Journal*, 1(2), 59-70.
3. Ojima, D. S., Conant, R. T., Parton, W. J., Lockett, J. M., & Even, T. L. (2021). Recent climate changes across the Great Plains and implications for natural resource management practices. *Rangeland Ecology & Management*, 78, 180-190. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2021.03.008>
4. Lomovasky, B. J., Yusseppone, M. S., Osiroff, A. P., & Kahl, L. C. (2022). La acidificación de los océanos, el otro problema de aumento del CO₂: perspectivas para la comprensión de sus efectos sobre los ecosistemas marinos en Argentina. *El ojo del Cóndor*, 11, 38-41.
5. Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H.T., Guèze, M., Agard Trinidad, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G., Miloslavich, P., Molnar, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R.R., Shin, Y.-J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K., & Zayas, C. (Eds.). (2019). *Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

6. Moreno Salazar-Calderón, K. A. B., & Delgado-Cabrera, F. W. (2022). Indicadores de vulnerabilidad al cambio climático de comunidades pesqueras: una revisión a nivel mundial, 2012-2022. *Población y Desarrollo*, 28(55), 21-34. <https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2022.028.55.021>
7. Kushawaha, J., Borra, S., Kushawaha, A. K., Snigh, G. and Singh, P. (2021). Climate change and its impact on natural resources. En B. Thokchom, P. Qui, P. Singh & P. K. Iyer (Eds.), *Water Conservation in the Era of Global Climate Change* (pp. 339-346). Elsevier.
8. Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Gier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
9. García-Dueñas, R. Y., Soler-Marchán, S. D., Mirabal-Pérez, Y., & Agüero-Contreras, F. C. (2022). Estudio de resiliencia socioecológica frente al cambio climático en comunidades costeras: una apuesta desde la provincia de Cienfuegos. *Revista Conrado*, 18(87), 44-54.
10. Cross, M. S., McCarthy, P. D., Garfin, G., Gori, D., & Enquist, C. A. F. (2012). Accelerating adaptation of natural resource management to address climate change. *Conservation Biology*, 27(1), 4-13. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01954.x>
11. Sedeño-Bueno, E. A., & Madera-Quintana, J. (2022). Aprendizaje automático como herramienta para el manejo integrado de recursos naturales en un contexto de cambio climático. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(2), e170.
12. Nichols, J. D., Koneff, M. D., Heglund, P. J., Knutson, M. G., Seamans, M. E., Lyons, J. E., Morton, J. M., Jones, M. T., Boomer, G. S., & Williams, B. K. (2011). Climate change, uncertainty and natural resource management. *Journal of Wildlife Management*, 75(1), 6-18. <https://doi.org/10.1002/jwmg.33>
13. Galindo, L. M., Hoffman, B., & Vogt-Schilb, A. (2022). ¿Cuánto costará lograr los objetivos del cambio climático en América Latina y el Caribe? Banco Interamericano de Desarrollo, División Cambio Climático.
14. Iacobucci, E., & Trebilcock, M. (2022). Existential threats: Climate change, pandemics and institutions. *Canadian Public Administration*, 65(4), 608-619. <https://doi.org/10.1111/capa.12504>
15. Lo Vuolo, R. (2014). *Cambio climático, políticas ambientales y regímenes de protección social*. CEPAL.
16. Finnegan, J. (2019). *Institutions, climate change, and the foundations of long-term policymaking*. Center for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 353.
17. Allan, B., Lewis, J. I., & Oatley, T. (2021). Green industrial policy and the Global transformation of climate politics. *Global Environmental Politics*, 21(4), 1-19. https://doi.org/10.1162/glep_a_00640
18. Javaid, A., Arshed, N., Munir, M., Zakaria, Z. A., Alamri, F. S., El-Wahed Khalifa, H. A., & Hanif, U. (2022). Econometric assessment of institutional quality in mitigating global climate-change risk. *Sustainability*, 14(2), 669. <https://doi.org/10.3390/su14020669>
19. Paricahua-Choque, M. (2021). Cambio climático y desarrollo sostenible. *Revista Latinoamericana OGMios*, 1(1), 82-90. <https://doi.org/10.53595/rlo.2021.1.008>



Cambio climático y sustentabilidad ambiental en los libros de texto en la educación primaria en México

Giovanni Ríos Reyes^{1*}

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Instituto de Ciencias de la Educación.

* giovanni.rios@elcolegiodemorelos.edu.mx

Resumen

El propósito de este artículo es divulgar los resultados de la tesis de investigación educativa en el marco del programa de Doctorado en Educación que tuvo como objetivo analizar los conceptos de cambio climático, calentamiento global, sustentabilidad, consumo responsable y desarrollo sustentable que se discuten en los libros de texto gratuitos en la Educación Primaria de la reforma educativa del 2016-2019 en México.

Palabras clave: educación ambiental, calentamiento global, educación formal, desarrollo sustentable.

La educación para la sustentabilidad es una propuesta educativa que pretende contribuir a los procesos necesarios de cambio sociocultural para construir un futuro sostenible en nuestra sociedad¹. Este movimiento surge en el ámbito global, lo que significa que su desarrollo conceptual y su agenda han sido promovidos en conferencias y foros internacionales por agencias multilaterales tales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN)². Desde que surgió el concepto de “educación para la sustentabilidad”, este ha incrementado su influencia en la práctica y en las políticas educativas de todo el mundo.

Esta propuesta ha suscitado controversias y críticas por parte de algunos sectores vinculados al campo de la educación ambiental³, que han evolucionado y se han reconfigurado en el marco de iniciativas internacionales más recientes, como la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Las críticas que se le hacen a la Educación para la Sustentabilidad son de índole diversa: pueden enfocarse en el proceso mediante el cual se ha construido⁴, en su base conceptual, así como en su pertinencia y aplicabilidad en contextos educativos específicos, particularmente cuando se incorpora como un enfoque general sin considerar las condiciones sociales, culturales y educativas de cada entorno, lo que puede derivar en propuestas sin contexto ni apropiación por parte de docentes y estudiantes, y sin efectos en la transformación de prácticas educativas concretas y significativas.

De acuerdo con los especialistas⁵⁻¹² las estrategias de aprendizaje en la educación básica otorgan a los libros de texto un papel central en la organización de los contenidos, en los procesos de enseñanza y en el dominio progresivo de los conceptos científicos y sus estructuras conceptuales; en ese sentido, resulta importante dirigir el análisis de los textos de ciencias empleados como medio de enseñanza, y reconocerlos no solo como recursos didácticos, sino como dispositivos pedagógicos que estructuran la forma en que el conocimiento es presentado en el discurso, jerarquizado y aprendido en el aula.

En este marco, nos planteamos una investigación que responde a la siguiente interrogante: ¿Cómo se aborda la educación ambiental para la sustentabilidad en los libros de texto de educación primaria en México?

En particular, nos interesó conocer si los distintos elementos del libro de texto, tales como contenidos, propósitos, ejercicios o actividades, trabajo por proyectos, títulos, subtítulos y estructura del texto, contribuyen a que los niños integren las competencias necesarias para la sustentabilidad, considerando que no se trata de libros especializados en esta temática, sino de materiales que los alumnos utilizan dentro de sus planes y programas de estudio. En este sentido, el libro de texto en la educación básica de México, se configura como el instrumento educativo más utilizado por docentes y alumnos del sistema educativo oficial, así como uno de los principales recursos de política educativa impulsados y defendidos por la Secretaría de Educación Pública; aunado a ello, de acuerdo con Rockwell, los libros de texto gratuitos posiblemente sean los únicos libros con los que cuenten muchas de las familias mexicanas^{13,15}, pues “representan un bien colectivo, destinado al servicio del pueblo y de la patria”¹⁴.

Los libros de texto^{15,16} se han estructurado tradicionalmente por bloques temáticos subdivididos en lecciones. Cada bloque se componía de un título y lecciones, y cada lección incluía un título, propósitos, un texto principal, ilustraciones, actividades, secciones complementarias (como “¿Sabías que?”), portafolio de ciencias y proyectos. Al final de cada bloque aparecía un apartado de “Autoevaluación”, en el que se valoraba el aprendizaje y se promovía la reflexión sobre los avances y aspectos a mejorar.

Sin embargo, en los últimos años, con la Nueva Escuela Mexicana, el currículo de la educación básica en México ha sufrido cambios, particularmente las modificaciones a los nuevos materiales educativos, es decir, la organización de los libros de texto tiene unas estructuras más flexibles, centradas en proyectos, campos formativos y problemáticas que consideran el contexto, lo que modifica la forma de disponer de los contenidos y las formas de abordar el aprendizaje dentro de las aulas.

El análisis se desarrolló con base en los siguientes criterios. Esta dimensión requiere utilizar las lecciones o actividades como unidad de análisis en el contexto de un bloque del libro.

Criterio 1. Se valoró la presencia o ausencia de contenidos vinculados a la sustentabilidad en los textos analizados.

Es importante señalar que no se utilizó una definición limitada de educación para la sustentabilidad; más bien, se adoptó un enfoque más amplio en el concepto de sustentabilidad, considerando positivamente el tratamiento de temas y conocimientos de las ciencias naturales orientados a la reducción de la contaminación ambiental y al fomento de la participación y de actitudes favorables y sustentables para el medio ambiente.

Algunos conceptos fundamentales que enmarcan la problemática de la educación para la sustentabilidad son los siguientes: desarrollo sustentable, cambio climático, efecto invernadero, calentamiento global, energías renovables, tecnologías sustentables, biodiversidad, recursos naturales (como el agua, los bosques y las selvas), manejo de residuos, contaminación ambiental y las relaciones ecológicas ser humano con naturaleza.

De este modo, la presencia de uno o más de estos temas a lo largo de los bloques y lecciones de los textos analizados fue un indicador de la presencia de contenidos relacionados con la sustentabilidad.

Criterio 2. Los resultados del estudio indican que el 5 % de los libros de texto analizados abordan temas relacionados con la sustentabilidad, mientras que el 95 % no lo hace. Asignaturas como Español, Matemáticas, Historia, Exploración de la Naturaleza y la Sociedad, Formación Cívica y Ética, Asignatura Estatal, Educación Física y Educación Artística no incorporan de manera significativa contenidos relacionados con la sustentabilidad en sus lecciones. Estos resultados se pueden desglosar revisando la presencia de las diferentes asignaturas y encontramos que las asignaturas de Geografía y Ciencias Naturales para cuarto, quinto y sexto grado son las asignaturas donde los temas sobre sustentabilidad aparecen con más frecuencia.



Figura 1. Representación en dibujo del calentamiento global realizada por un alumno de quinto grado de primaria.

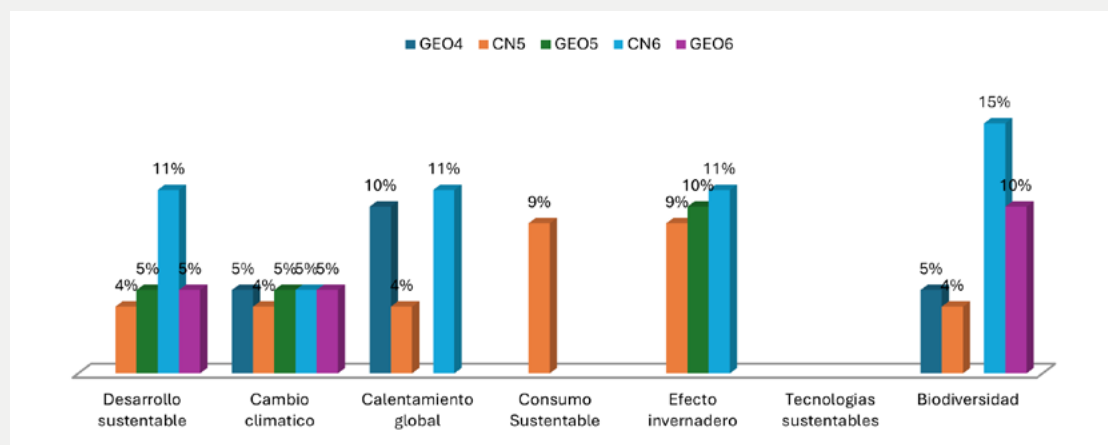


Figura 2. Presencia de los temas de sustentabilidad de la UNESCO en los libros de texto de ciencias naturales y geografía.

En cuarto grado, se encontró que en la asignatura de Geografía únicamente el 5 % de las lecciones abordan temas de cambio climático, el 10 % de calentamiento global y el 5 % de biodiversidad. En este nivel no se identificaron contenidos relacionados con la sustentabilidad, el desarrollo sustentable, el consumo sustentable ni las energías renovables.

En quinto grado, el 4 % de las lecciones de Ciencias Naturales aborda temas de desarrollo sustentable; cambio climático y calentamiento global, mientras que el consumo sustentable y efecto invernadero aparecen en el 9 % de las lecciones y la biodiversidad en un 4 %.

En el caso de Geografía para este mismo grado, el 5 % de las lecciones abordan temas de desarrollo sustentable y cambio climático, mientras que el efecto invernadero representa el 10 % de la presencia. En contraste, temas como el calentamiento global, el consumo sustentable, las tecnologías sustentables y la biodiversidad no se presentan en los textos analizados.

En sexto grado, Ciencias Naturales es la asignatura con mayor presencia de contenidos relacionados con la sustentabilidad: el cambio climático, el desarrollo sustentable y el efecto invernadero aparecen en el 11 % de las lecciones, mientras que la biodiversidad alcanza el 15 %. En contraste, el consumo y las tecnologías sustentables no están presentes en los textos.

En conclusión, en Geografía, los temas de cambio climático y desarrollo sustentable se abordan en el 5 % de las lecciones, mientras que la biodiversidad alcanza el 10 %. En contraste, el calentamiento global, el consumo sustentable, el efecto invernadero y las tecnologías sustentables no aparecen en los textos analizados.

En síntesis, los libros de texto gratuitos de la reforma de 2016 no constituyen un referente ni un recurso suficiente para que el profesorado desarrolle la educación ambiental para la sustentabilidad en el aula, ya que se trata de información general y fragmentada, y sus orientaciones no promueven de manera efectiva el desarrollo de actitudes ni el diseño de proyectos escolares.

Esta conclusión se refuerza en la discusión de la investigación, donde se identifica que el problema de fondo no radica únicamente en la “concientización” sobre los problemas ambientales, sino en el reconocimiento de las responsabilidades compartidas en la generación e implementación de acciones concretas.

En este sentido, y considerando la complejidad de la problemática ambiental, resulta insuficiente abordarla a partir de acciones aisladas –individuales, familiares o institucionales–, ya que estas tienden a permanecer desconectadas entre sí; por el contrario, las estrategias orientadas al cuidado, la restauración y la conservación del ambiente requieren articularse en marcos de acción más amplios, de carácter gubernamental e interinstitucional, que permitan una intervención coordinada y sostenida.

Finalmente, la última reforma de la nueva escuela mexicana de 2022 señala el trabajo en proyectos escolares comunitarios como una estrategia fundamental en la labor docente. En este sentido, el diseño de proyectos escolares y de materiales educativos sobre educación ambiental puede ser la apuesta para mejorar la participación de la comunidad escolar en la solución de los problemas ambientales de la comunidad.

Referencias bibliográficas

1. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2002). *Educación para la sostenibilidad: de Río a Johannesburgo: Lecciones aprendidas a partir de una década de compromiso*.
2. Hopkins, C., & Rosalyn McKeown. (2002). Education for Sustainable Development: An International Perspective. En D. Tilbury, R. B. Stevenson, J. Fien, & D. Schreuder (Eds.), *Education and Sustainability: Responding to the Global Challenge* (pp. 13-24). IUCN Publications Services Unit.
3. Gonzales Gaudiano, E. (2003). Atisbando la construcción conceptual de la educación ambiental en México. En M. Bertely Busquets (Coord.), *Educación, derechos sociales y equidad. La investigación educativa en México 1992–2002. Tomo I: Educación y diversidad cultural y educación y medio ambiente* (pp. 243–275). Consejo Mexicano de Investigación Educativa (COMIE).
4. González Gaudiano, E. (2014). Atisbando el desarrollo conceptual de la educación ambiental en México. *Horizonte Sanitario*, 2(1), 34-44. <https://doi.org/10.19136/hs.a2n1.455>.
5. Barrow, L. H. (2000). Do elementary science methods textbooks facilitate the understanding of magnet. *Journal of Science Education and Technology*, 9(3), 199-205. <https://doi.org/10.1023/A:1009487432316>
6. Glynn, S. M., & Takahashi, T. (1998). Learning from analogy-enhanced science text. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1129-1149. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199812\)35:10%3C1129::AID-TEA5%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199812)35:10%3C1129::AID-TEA5%3E3.0.CO;2-2)
7. Kesidou, S. (2001). Aligning curriculum materials with national science standards: The role of Project 2061's curriculum-materials analysis procedure in professional development. *Journal of Science Teacher Education*, 12(1), 47–65. <https://doi.org/10.1023/A:1016608830552>

8. Shiao, Y.S. (2000). Organization of biological concepts in elementary science textbooks. *Proceedings of the National Science Council, Republic of China, Part D: Mathematics, Science, and Technology Education*, 10(1), 61–70.
9. Schiefelbein, E., & Farrés, P. (1991). Evaluación formativa de los libros de texto de educación primaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 21(2), 63–87.
10. Staver, J. R., & Bay, M. (1989). Analysis of the conceptual structure and reasoning demands of elementary science texts at the primary (K–3) level. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 329–349.
11. Stern, L., & Roseman, J. E. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Finding from project 2006's curriculum evaluation study: Life sciences. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(6). <https://doi.org/10.1002/tea.20019>
12. Vargas, M. (2001). Actividades de producción oral y escrita en libros de texto de español. Aproximaciones a un análisis de dos libros destinados a primer grado de primaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 6(12). <https://ojs.rmie.mx/index.php/rmie/article/view/1546>
13. Rockwell, E. (1987). Etnografía y teoría en la investigación educativa. En *Para observar la escuela: Caminos y nociones* (Informe final, pp. 1–35). Departamento de Investigaciones Educativas, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (DIE-CINVESTAV-IPN).
14. García Ruiz, R. (1962). El programa escolar y los libros de texto. *Cuaderno de informaciones técnico-pedagógicas para los maestros de educación primaria*, 1(3). Secretaría de Educación Pública.
15. Dirección General de Materiales y Métodos Educativos. (2009). *Libro para el alumno. Ciencias naturales quinto grado*. Subsecretaría de Educación Básica y Normal.
16. Dirección General de Materiales y Métodos Educativos. (2009). *Libro para el maestro. Ciencias naturales quinto grado*. Subsecretaría de Educación Básica y Normal.



Más cambio climático más agroquímicos

Alexis Joavany Rodríguez-Solís¹, María Luisa Castrejón-Godínez², Patricia Mussali-Galante¹, Efraín Tovar-Sánchez³

¹Centro de Investigación en Biotecnología, ²Facultad de Ciencias Biológicas, ³Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

* alexis.rodriguez@uaem.mx

Resumen

La agricultura es una de las principales actividades económicas a nivel mundial. En la actualidad, las prácticas agrícolas requieren el uso de grandes cantidades de agroquímicos, como fertilizantes y plaguicidas, esenciales para garantizar y mantener los niveles de producción y combatir las plagas que afectan nuestros cultivos. Sin embargo, debido a su uso a gran escala, toxicidad y persistencia, los agroquímicos generan contaminación ambiental y graves impactos en los ecosistemas. La producción agrícola depende en gran medida de factores ambientales como la estructura y la calidad nutricional del suelo, el acceso a recursos hídricos en grandes volúmenes, así como de condiciones climáticas favorables, como la temperatura, la radiación solar, la humedad y la precipitación, entre otros. Debido a los impactos del cambio climático global, se presentarán alteraciones en patrones de precipitación, así como en la frecuencia de sequías y otros eventos climáticos extremos, generando cambios en las condiciones climáticas en los sistemas agrícolas, reducciones en el acceso y calidad de los recursos hídricos, pérdida de la fertilidad de los suelos y aumentos en la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos, generando un grave impacto para la continuidad, rendimiento y la calidad de la producción agrícola, por lo que para contender con estas problemáticas, el uso de agroquímicos se incrementará sustancialmente en condiciones de cambio climático, generando a su vez un incremento en sus impactos ambientales.

Palabras clave: agricultura, contaminación ambiental, plagas agrícolas, plaguicidas, fertilizantes.

Introducción

¡Comer es un placer!, nadie puede estar en desacuerdo con esta frase que sin duda todos hemos escuchado o utilizado por lo menos alguna vez en nuestro día a día, y por supuesto todos tenemos un platillo favorito que nos reconforta inclusive en los días más difíciles. El arte de la gastronomía no solo se relaciona con el ser humano y su modo de alimentación; es una parte muy importante de la cultura e identidad de los pueblos y un motivo de orgullo para muchos países, incluido México, por supuesto. Sin embargo, rara vez nos preguntamos: ¿de dónde provienen los productos que utilizamos cotidianamente en nuestras cocinas? ¿cómo se producen esos granos, hortalizas, legumbres, frutos y demás insumos que conforman cada platillo en nuestra mesa? Sin duda, la agricultura se encarga de producir y de garantizar que todos estos productos nos lleguen.

Por lo que el desarrollo de la agricultura ha generado grandes beneficios para la humanidad a largo de la historia, no solo permitió establecernos como sociedades sedentarias, sino generando importantes impactos positivos en la economía y por su rol preponderante para garantizar la seguridad alimentaria de las poblaciones, definida por primera vez en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (Roma, 1996), como el acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen las necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias de todas las personas para llevar una vida activa y sana.

A través de las prácticas agrícolas se producen alimentos y materias primas que permiten el desarrollo de las sociedades humanas. Sin embargo, el desarrollo de los sistemas agrícolas ha sido dispar entre los diferentes países y regiones del mundo, observándose un mayor desarrollo de la agricultura industrializada, en países como Canadá, Estados Unidos y gran parte de la Comunidad Europea, por otro lado los sistemas de agricultura tradicionales subyacen en países con un limitado desarrollo económico principalmente en África y Asia, muchos de los cuales adicionalmente han experimentado crisis prolongadas en sus sistemas agrícolas. Por su parte, en México se observa un desarrollo agrícola diversificado, con agroindustrias de sólido desarrollo en convivencia con sistemas de agricultura tradicional¹.

A pesar de los grandes beneficios de la agricultura, esta actividad también genera impactos adversos en los ecosistemas². Para mantener los niveles de producción requeridos por una población en constante crecimiento, es necesario incrementar la extensión de tierras de cultivo, el volumen de recursos hídricos destinados a la agricultura, así como el uso de agroquímicos, fertilizantes y plaguicidas, a gran escala, lo que genera una presión importante sobre los ecosistemas, debido a los cambios en el uso de suelo, la explotación desmedida de aguas superficiales y subterráneas con fines de riego, así como el deterioro del suelo y la contaminación ambiental generada por los agroquímicos, debido a su naturaleza tóxica y elevada persistencia ambiental³.

Impactos del cambio climático sobre los sistemas agrícolas

El cambio climático, generado principalmente por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, liberados como resultado de las actividades antropogénicas, provoca grandes impactos negativos y

presiones sobre los sistemas agrícolas, evidenciando su vulnerabilidad. Entre los impactos más importantes del cambio climático se destacan incrementos de la temperatura, modificaciones en los patrones de precipitación, eventos climáticos extremos más frecuentes, así como la proliferación de plagas y enfermedades en los cultivos⁴.

Por lo que como resultado del cambio climático, se presentarán alteraciones en los ciclos productivos, redistribuciones de las áreas agrícolas, cambios en la fenología (ciclos de crecimiento) de los cultivos, disminución en la disponibilidad de agua para riego, lluvias más intensas o sequías, inundaciones, erosión y pérdida de fertilidad del suelo, así como la proliferación de plagas y la redistribución de sus áreas de incidencia, generando en su conjunto importantes reducciones en los rendimientos o calidad nutricional de los productos agrícolas. Estos impactos, en su conjunto, generarán efectos socioeconómicos muy importantes, derivados principalmente de incrementos en los costos de los productos agrícolas y de desigualdades en su acceso, especialmente para poblaciones vulnerables.



Figura 1. Impactos del cambio climático en los sistemas agrícolas.

En la actualidad, millones de toneladas de plaguicidas se liberan cada año en los campos de cultivo de todo el mundo. A nivel mundial, se reportó un consumo de plaguicidas cercano a 3.7 millones de toneladas para el año 2023, con una aplicación promedio de 2.4 kg/ha, siendo los 1) herbicidas (52.6 %), 2) fungicidas y bactericidas (21.5 %) y 3) los insecticidas (20.9 %) los tipos de plaguicidas más relevantes. Por su parte, en México se consumieron alrededor de 37 mil toneladas de plaguicidas, principalmente: 1) fungicidas y bactericidas (24 mil toneladas), 2) insecticidas (8.5 mil toneladas) y 3) herbicidas (5 mil toneladas). El uso de plaguicidas en la

agricultura ofrece una protección significativa contra las plagas, mejora el rendimiento de los cultivos y garantiza la calidad de los productos agrícolas durante su almacenamiento y distribución, lo que genera beneficios económicos para los agricultores y asegura el abasto para los consumidores⁵.

Por otra parte, con el objetivo de garantizar el desarrollo adecuado, la salud y la resistencia de los cultivos, principalmente en las prácticas de agricultura intensiva, cada año se agregan a los suelos agrícolas millones de toneladas de fertilizantes químicos, principalmente para suplementar nitrógeno (amonio y urea), fósforo (superfosfato y monofosfato de amonio) y potasio (fertilizantes a base de potasa)^{6,7}. A nivel mundial, el consumo conjunto de estos fertilizantes superó los 190 millones de toneladas en 2023. Las mayores cantidades de fertilizantes químicos se utilizan en el continente asiático, principalmente en China e India, con niveles de consumo cercanos a 60 millones de toneladas de compuestos de nitrógeno, 20 millones de toneladas de fósforo y 15 millones de toneladas de potasio. En México se consumieron 1.9 millones de toneladas de fertilizantes, principalmente N_2 ⁸. En el contexto del cambio climático, se pronostica un mayor uso de fertilizantes y plaguicidas para garantizar la producción agrícola⁹.

Aumento del uso de fertilizantes y plaguicidas debido a las consecuencias del cambio climático

El cambio climático ha generado diversos efectos, como olas de calor, sequías, inundaciones, incendios forestales y pérdida de biodiversidad, entre otros¹⁰. Pero también ha generado un aumento del uso de fertilizantes y plaguicidas en los campos agrícolas^{10,11}. Con el aumento de las temperaturas y las variaciones en los patrones de precipitación, los cultivos resultan más vulnerables al estrés ambiental, a las plagas y a las enfermedades. Diversas especies de insectos, bacterias, hongos y malezas que antes no representaban un riesgo ahora se propagan con mayor facilidad, lo que incrementa el uso de plaguicidas. Al mismo tiempo, los suelos, cada vez más degradados por la falta de agua o el exceso de lluvias, requieren mayores cantidades de fertilizantes para mantener los rendimientos agrícolas^{12,13,14}.

Aunque estos agroquímicos pueden parecer una solución inmediata, su uso excesivo genera impactos negativos a largo plazo¹⁵. Los fertilizantes pueden contaminar cuerpos de agua, provocando eutrofización de ríos y lagos¹⁶, y afectan la salud humana, por ejemplo, pueden causar irritación en la piel y los ojos, problemas respiratorios, así como complicaciones renales o hepáticas. La presencia de nitratos en el agua puede convertirse en nitritos en el cuerpo humano, los cuales pueden generar en bebés metahemoglobinemia o síndrome del bebé azul, una condición que reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno¹⁷, mientras que, en adultos, la exposición prolongada a nitratos está asociada con cáncer de tiroides¹⁸. Además, algunos fertilizantes liberan óxidos de nitrógeno (NOx) y amoníaco, que están vinculados con problemas respiratorios, como asma, bronquitis crónica y enfermedades cardiovasculares¹⁹.

Por su parte, los plaguicidas pueden contaminar el suelo, agua y aire; una vez aplicados en el suelo, se infiltran y contaminan los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos, poniendo en riesgo la salud de las

especies acuáticas y terrestres. Entre los impactos se encuentran las afectaciones a insectos polinizadores, como las abejas, afectar microorganismos, fauna y flora, y generando resistencia en las plagas, haciendo que cada vez se necesiten sustancias más tóxicas²⁰. Además, los plaguicidas generan afectaciones en la salud humana, por exposición aguda, ya sea por inhalación ingestión o contacto dérmico, puede generar irritaciones, dolor de cabeza, náuseas, mareos o incluso la muerte. La exposición crónica se ha asociado con alteraciones hormonales, trastornos neurológicos, daño en el sistema inmunológico, enfermedades respiratorias, diferentes tipos de cáncer, como leucemia y linfoma, y efectos reproductivos, incluyendo malformaciones y abortos espontáneos^{21,22,23}.

Frente a este panorama, es fundamental repensar el modelo agrícola actual. Transitar hacia prácticas más sostenibles como la agroecología, la rotación de cultivos, el uso de fertilizantes orgánicos, e incorporar enmiendas orgánicas como la composta, que aporta nutrientes, promueve la actividad microbiana, y mejora la estructura del suelo, y el biocarbón, que retiene agua y nutrientes, además de capturar carbono, que mejoran la salud del suelo. Asimismo, el control biológico de plagas, mediante el uso de organismos benéficos como insectos, hongos y bacterias, junto con los bioplaguicidas, permite reducir la dependencia de los productos químicos²⁴. Además, adaptar la agricultura al cambio climático no solo implica nuevos insumos, sino también nuevas estrategias y conocimientos que garanticen la seguridad alimentaria sin comprometer el medio ambiente ni la salud humana²⁵.

Conclusiones

El cambio climático no solo altera el clima, sino que también está transformando la forma de producir alimentos. La agricultura, pilar fundamental de nuestra sociedad, enfrenta cada vez más condiciones ambientales extremas, reducciones importantes en la disponibilidad de agua y en la fertilidad del suelo, y un incremento de la incidencia de plagas. Ante estos desafíos, los agricultores han recurrido al uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas para proteger sus cultivos y mantener su producción. Aunque estas herramientas ofrecen soluciones inmediatas, su uso excesivo genera consecuencias ambientales y sociales a largo plazo, como la contaminación del agua, la pérdida de biodiversidad, los riesgos para la salud humana y una mayor vulnerabilidad de los ecosistemas.

Por lo que el futuro de la agricultura dependerá en gran medida de la capacidad de innovar y de adoptar prácticas más sostenibles en la producción de alimentos y materias primas. Esto implica invertir en investigación científica, educación y capacitación para los agricultores, así como en la adopción de tecnologías y prácticas agrícolas que permitan regenerar los suelos agrícolas, mejoren la resiliencia de los cultivos y reduzcan el uso de agroquímicos. Por ello, la agricultura deberá transformarse para enfrentar los retos que plantean las condiciones climáticas futuras y transitar hacia la sustentabilidad.

Referencias bibliográficas

1. FAO. (2024). *Versión resumida del estado mundial de la agricultura y la alimentación 2024: Transformación de los sistemas agroalimentarios orientada hacia el valor*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd2637es>
2. Gallardo, R. K. (2024). The Environmental Impacts of Agriculture: A Review. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 18, 165–235. <https://doi.org/10.1561/101.00000166>
3. Elumalai, P.; Gao, X.; Parthipan, P.; Luo, J.; Cui, J. (2025). Agrochemical Pollution: A Serious Threat to Environmental Health. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 43, 100597. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2025.100597>
4. Bibi, F., & Rahman, A. (2023). An Overview of Climate Change Impacts on Agriculture and Their Mitigation Strategies. *Agriculture*, 13(8), 1508. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081508>
5. FAO. (2025). *FAOSTAT Pesticides use*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>
6. Del Rossi, G., Hoque, M. M., Ji, Y., & Kling, C. L. (2023). The economics of nutrient pollution from agriculture. *Annual Review of Resource Economics*, 15(1), 105-130. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111820-021317>
7. Penuelas, J., Coello, F., & Sardans, J. (2023). A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
8. FAO. (2025). *FAOSTAT Selected indicator, Mexico*. <https://www.fao.org/faostat/en/#country/138>
9. Yang, Y.; Tilman, D.; Jin, Z.; Smith, P.; Barrett, C.B.; Zhu, Y.-G.; Burney, J.; D'Odorico, P.; Fantke, P.; Fargione, J. (2024). Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science*, 385(6713), eadn3747. <https://doi.org/10.1126/science.adn3747>
10. Jha, M. K., & Dev, M. (2024). Impacts of Climate Change. En *Smart Internet of Things for Environment and Healthcare* (pp. 139-159). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70102-3_10
11. Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16(4), 239-262. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00004-7)
12. Koli, P., Bhardwaj, N. R., & Mahawer, S. K. (2019). Agrochemicals: harmful and beneficial effects of climate changing scenarios. En *Climate change and agricultural ecosystems* (pp. 65-94). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00004-9>
13. Hakala, K., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, M., & Peltonen-Sainio, P. (2011). Pests and diseases in a changing climate a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science*, 20(1), 3-14.
14. Vijai, C., Worakamol, W., & Elayaraja, M. (2023). Climate change and its impact on agriculture. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*, 11(4), 1-8. <https://doi.org/10.25303/1104ijasvm0108>
15. Dhankhar, N., & Kumar, J. (2023). Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: A review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.766>

16. Tiwari, A. K., & Pal, D. B. (2022). Nutrients contamination and eutrophication in the river ecosystem. En *Ecological significance of river ecosystems* (pp. 203-216). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00001-7>
17. Johnson, S. F. (2022). Nitrates and Methemoglobinemia. En *Nitrate Handbook* (pp. 347-355). CRC
18. Said, A. K., Essien, E. E., Abbas, M., Yu, X., Xie, W., Sun, J., Akter, L., & Cote, A. (2022). Association between dietary nitrate, nitrite intake, and site-specific cancer risk: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 14(3), 666. <https://doi.org/10.3390/nu14030666>
19. Theodorakidou, M., & Lambrou, G. I. (2017). Public health issues from the exposure to nitrogen oxides: a brief review. *ARC J Public Health Community Med*, 2, 44-56. <https://doi.org/10.20431/2456-0596.0204008>
20. Nieder, R., Benbi, D. K., Reichl, F. X., Nieder, R., Benbi, D. K., & Reichl, F. X. (2018). Health risks associated with pesticides in soils. En *Soil Components and Human Health* (pp. 503-573). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1222-2_10
21. De Barros, R. M., da Silva, M. C. A., Chong-Silva, D. C., & Chong-Neto, H. J. (2024). Pesticides and human health. *Jornal de Pediatria*. 101(S1), S70-S76. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2024.11.008>
22. Garud, A., Pawar, S., Patil, M. S., Kale, S. R., & Patil, S. (2024). A scientific review of pesticides: Classification, toxicity, health effects, sustainability, and environmental impact. *Cureus*, 16(8), e67945. <https://doi.org/10.7759/cureus.67945>
23. Sangaraju, R., Kumar, R., Huynh, T., & Sinha, S. N. (2024). Pesticide Effects on Human Health and Pest Management. En *Insecticides in pest control-impact, challenges and strategies* (pp. 1-36). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1006807>
24. Rodríguez, A., Castrejón-Godínez, M. L., & Monterrosas-Brisson, N. (2025). Pesticides: Environmental Stressors Implicated in the Development of Central Nervous System Disorders and Neurodegeneration. *Stresses*, 5(31), 1-36. <https://doi.org/10.3390/stresses5020031>
25. Sarma, H. H., Borah, S. K., Dutta, N., Sultana, N., Nath, H., & Das, B. C. (2024). Innovative approaches for climate-resilient farming: strategies against environmental shifts and climate change. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(9), 217-241. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i94407>



Remoción de malatión en aguas residuales provenientes de la agricultura

Rogelio Estrada-Vázquez^{1*}, Yaneth Alejandra Bustos-Terrones², Mabel Vaca-Mier³

¹TecNM-Instituto Tecnológico de Culiacán, ²CONAHCYT-TecNM-Instituto Tecnológico de Culiacán y ³Universidad Autónoma Metropolitana.

*d13170726@culiacan.tecnm.mx

Resumen

La gestión de las aguas residuales es una preocupación central a nivel global debido a su impacto ambiental. En este contexto, se investigó la degradación de Malatión mediante un proceso fotocatalítico, utilizando dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador soportado en perlas de polímeros como alginato de sodio (AS), polivinilalcohol (PVA) y polivinilpirrolidona (PVP), con luz ultravioleta como fuente de irradiación. El proceso de fotocatalisis alcanzó la máxima remoción de Malatión, superando el 99 % después de 180 min al utilizar 100 y 200 gramos de perlas, lo que demuestra su eficiencia en la remoción de Malatión en aguas residuales agrícolas.

Palabras clave: Malatión, tratamiento de aguas residuales, fotocatalisis.

Introducción

El agua, considerada un recurso natural sumamente importante y limitado, constituye una preocupación central en la agenda social a nivel mundial. La protección y conservación de este recurso se perfilan como una de las principales inquietudes de la sociedad actual. Además, el agua desempeña un papel crucial en diversas actividades humanas, que abarcan desde el ámbito doméstico hasta la industria, la urbanización, los ecosistemas y la agricultura¹. Como resultado, la mayoría de estas acciones humanas generan volúmenes considerables de aguas residuales, que, en su mayor parte, son vertidas directamente y devueltas sin someterse a ningún tratamiento previo de aguas residuales a través de los sistemas de alcantarillado público. Esto resulta en la presencia de diversos contaminantes que no permiten el uso del agua y alteran los ecosistemas. Por este motivo, la urgencia de preservar el medio ambiente ha impulsado la exploración de nuevas opciones

para eliminar de manera eficaz los contaminantes que podrían perturbar la estabilidad de los recursos². En la actualidad, se emplean diversos procesos en el tratamiento de aguas residuales como procesos físicos, químicos, fotoquímicos, fotocatalíticos, entre otros, centrados principalmente en la eliminación de contaminantes presentes en el agua, siendo considerados como alternativas tecnológicamente viables, novedosos, innovadores y sostenibles para el tratamiento de aguas.

Dentro de estos procesos, destacan los procesos fotocatalíticos los cuales son fundamentales principalmente como una herramienta valiosa para hacerle frente a la contaminación. Estos procesos utilizan materiales que son activados por luz solar y permiten eliminar o descomponer contaminantes presentes en el agua. Asimismo, esta tecnología facilita la eliminación eficiente de contaminantes, así como también reduce la necesidad de utilizar productos tóxicos y energía externa, que pueden alterar la calidad del agua, impulsándose como una opción sostenible para el medio ambiente. La aplicación de este proceso como tratamiento de aguas residuales desempeña un papel importante en la preservación de este recurso mejorando su calidad y permitiendo ser una estrategia clave en la gestión ambiental actual³.

Materiales y métodos

Se estudió la eliminación de Malatión en aguas residuales provenientes de la agricultura mediante un proceso fotocatalítico (fotocatálisis). En este método, se adhirió el catalizador (TiO_2) sobre perlas de polímeros como alginato de sodio (AS), polivinilalcohol (PVA) y polivinilpirrolidona (PVP). El sistema de tratamiento se compone de un reactor equipado con una lámpara de luz ultravioleta con una capacidad de 1 litro (figura 1). El tratamiento se evaluó durante 180 minutos utilizando 3 diferentes masas de perlas (50, 100 y 200 gramos) y comenzando con una concentración inicial de contaminante de 6 mg/L. El tratamiento se mantuvo en agitación durante todo el proceso. Se tomaron muestras del agua residual cada 15 minutos, y se determinó la concentración final del contaminante. Finalmente, la eficiencia de remoción de Malatión mediante este tratamiento de aguas residuales se evaluó para medir su rendimiento. Las perlas utilizadas no tuvieron un tratamiento previo y, además, debido a su resistencia mecánica, estas pueden ser reutilizadas debido a que no presentaron ningún tipo de desprendimiento en el proceso de degradación de Malatión.

Resultados y discusión

Se estudió el proceso de eliminación de Malatión mediante el uso del catalizador (TiO_2) soportado en perlas de polímeros (AS, PVA y PVP). Los resultados obtenidos durante el proceso de eliminación de Malatión muestran que la eficiencia de remoción está en función del tiempo y varía de acuerdo con la masa de perlas utilizadas en el tratamiento. Al emplear 50 gramos de perlas, se logró una remoción cercana al 90 % en 180 minutos. Sin embargo, al utilizar 100 y 200 gramos de perlas, se presentan las eficiencias de remoción similares con respecto al tiempo, logrando eficiencias de aproximadamente 100 % en 180 minutos. Estos resultados son similares a los reportados en la literatura⁴, en donde lograron eliminar el 100 % de contaminantes de aguas

farmacéuticas después de 120 min de tratamiento, lo cual permite demostrar la efectividad del proceso en la remoción de diversos contaminantes.

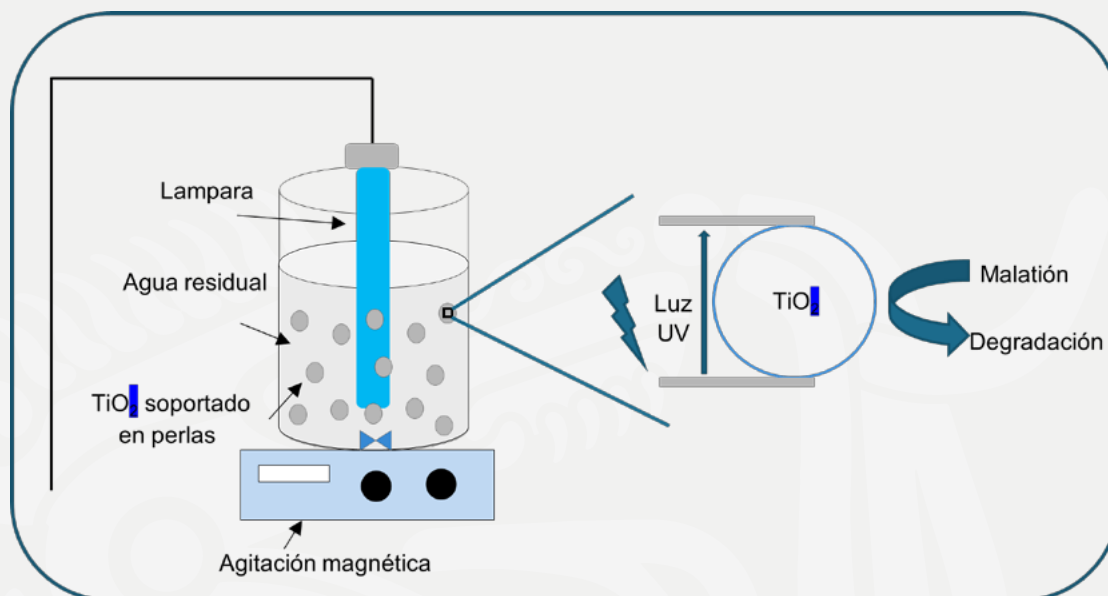


Figura 1. Esquema de eliminación de Malatión mediante el soporte de nanopartículas de TiO_2 sobre perlas de biopolímeros.

Conclusiones

Se estudiaron diversas masas de perlas con el catalizador (TiO_2), incluyendo 50, 100 y 200 gramos, revelando que al emplear 100 y 200 gramos se logran eficiencias de eliminación superiores al 99 %, a diferencia de utilizar solo 50 gramos. Estas altas remociones se alcanzaron en un tiempo de 180 minutos. Dado que se obtuvieron eficiencias idénticas al utilizar 100 y 200 gramos de perlas de polímeros con el catalizador (TiO_2), se sugiere llevar a cabo el proceso con 100 gramos de perlas para optimizar los costos del tratamiento.

Referencias bibliográficas

1. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Aguas residuales: el recurso desaprovechado*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa
2. Bustos-Terrones, Y. A., Estrada-Vázquez, R., Ramírez-Pereda, B., Bustos-Terrones, V., & Rangel-Peraza, J. G. (2020). Kinetics of a fixed bed reactor with immobilized microorganisms for the removal of organic matter and phosphorous. *Water Environment Research*. 92(11), 1956-1965. <https://doi.org/10.1002/wer.1353>
3. Estrada-Vázquez, R., Vaca-Mier, M., Bustos-Terrones, V., Rangel-Peraza, J. G., Loaiza, J. G., Hermosillo-Nevárez, J. J., & Bustos-Terrones, Y. A. (2024). Degradation of agricultural pollutants by biopolymer-enhanced photocatalysis: application of Taguchi method for optimization. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 137, 523-545. <https://doi.org/10.1007/s11144-023-02515-8>

4. Mehmood, C. T., Zhong, Z., Zhou, H., & Xiao, Y. (2020). Constructing porous beads with modified polysulfone-alginate and TiO₂ as a robust and recyclable photocatalyst for wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101601. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101601>



Estudio de la calidad del agua en un embalse agrícola de Sinaloa

Juan Gabriel Loaiza^{1*}, Yaneth Alejandra Bustos-Terrones²

¹TecNM-Instituto Tecnológico de Culiacán y ²SECIHTI-TecNM/Instituto Tecnológico de Culiacán.

*D18170809@culiacan.tecnm.mx

Resumen

Este estudio evaluó la calidad del agua de la presa Adolfo López Mateos, ubicada en una zona agrícola del estado de Sinaloa. Se analizaron veintidós parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en cuatro puntos de muestreo durante el período 2012-2020 y se determinó el índice de contaminación. Los resultados indicaron que la mayoría de los parámetros cumplían con la normatividad mexicana, con excepción de los coliformes fecales, cuyos valores excedieron los límites permisibles en algunas muestras. El índice de contaminación reveló que la calidad del agua se clasificó como leve, lo que implica que no puede utilizarse para uso doméstico. Estos hallazgos pueden contribuir a una mejor comprensión y a una gestión sostenible del recurso hídrico, especialmente frente a las presiones derivadas de la actividad agrícola y de los cambios ambientales.

Palabras clave: presa, evaluación de la calidad del agua, índice de contaminación del agua.

Introducción

El análisis de la calidad del agua en embalses es fundamental para la gestión sostenible de los recursos hídricos, ya que permite identificar factores que afectan su disponibilidad y su uso. La contaminación del agua es un problema creciente, influida tanto por procesos naturales como por actividades antropogénicas¹ (figura 1). En el estado de Sinaloa, México, diversos factores como la expansión urbana, la infraestructura deficiente de saneamiento y la intensificación de la actividad agrícola han contribuido a la degradación de la calidad del agua superficial, incrementando los riesgos para los ecosistemas acuáticos y la salud humana². Este estudio

busca evaluar la calidad del agua en un embalse de la región mediante el análisis de diversos parámetros, proporcionando información clave para la toma de decisiones, la implementación de medidas preventivas y la preservación de este recurso vital.



Figura 1. Causas de la afectación de la calidad del agua de presas.

Materiales y métodos

La presa Adolfo López Mateos (ALM), ubicada en Sinaloa, se encuentra a una altitud de 186.5 m.s.n.m. y abarca una superficie de 11 354 ha. Su capacidad de conservación es de 3086.6 Mm³, con una cortina de 105.5 m de altura, una longitud de corona de 765 m y un ancho de 10 m. Es una fuente esencial para el riego agrícola en la región y alberga una central hidroeléctrica con una capacidad de generación de 90 mw, lo que contribuye al suministro energético local. Sus coordenadas geográficas son 25° 05' 25" de latitud y 107° 33' 00" de longitud (figura 2).

Los datos de calidad del agua fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, abarcaron el periodo 2012-2020 y se recolectaron en cuatro puntos de muestreo dentro de la presa. A partir de estos datos, se analizó la relación entre los distintos parámetros de calidad del agua y se determinó un índice de contaminación. Para evaluar la calidad del agua superficial, se aplicó un método basado en este índice, una herramienta ampliamente utilizada en estudios similares¹ y considerada altamente eficaz para la evaluación cualitativa.

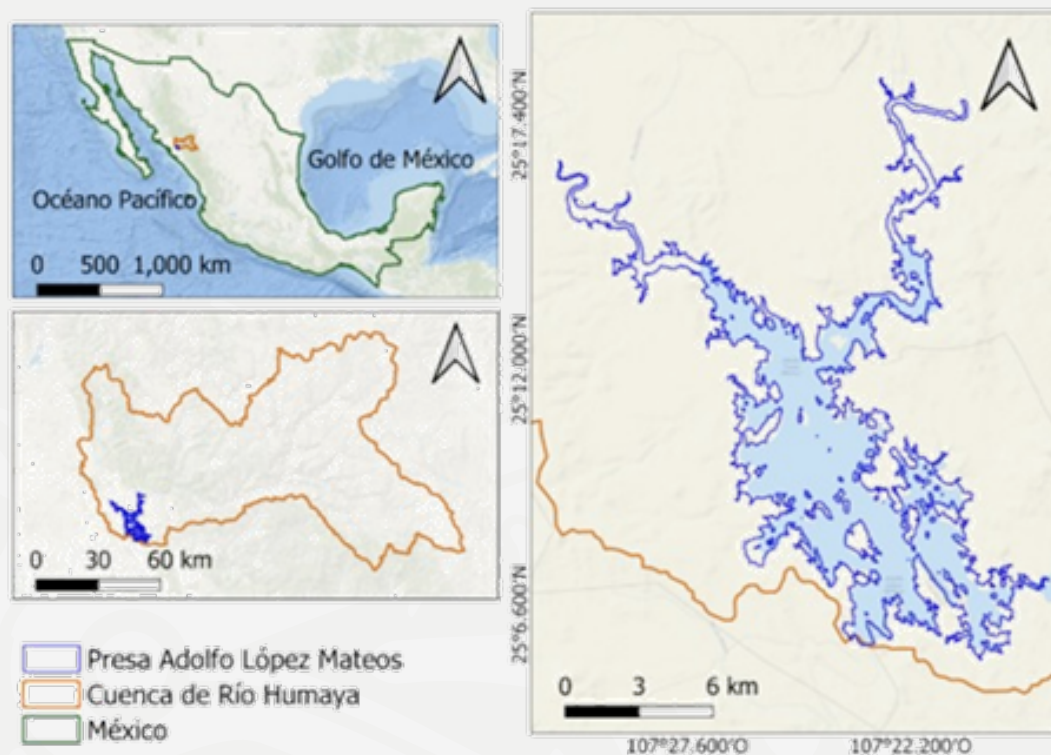


Figura 2. Ubicación de la presa Adolfo López Mateos en la cuenca del Río Humaya.

Resultados y discusión

La presa ALM es uno de los cuerpos de agua más importantes de Sinaloa, ya que se ubica en una región con una intensa actividad agrícola. El monitoreo del agua en esta presa es crucial para la planificación y la gestión de la agricultura sostenible, ya que permite garantizar la producción y la seguridad alimentaria. La tabla 1 presenta la variabilidad y la significancia estadística de los parámetros de calidad del agua. Se destacan los coliformes fecales por su alta variabilidad y el oxígeno disuelto por su importancia ecológica. La conductividad y los sólidos disueltos reflejan la presencia de iones, mientras que la turbiedad indica variaciones en la claridad del agua. Los valores-*p* sugieren que no hay diferencias significativas entre las mediciones, indicando estabilidad en los parámetros analizados.

El índice de contaminación del agua clasificó las muestras como “contaminación leve”, lo que sugiere que la calidad general del agua es aceptable para riego agrícola, pero no apta para uso doméstico. Estos resultados obtenidos proporcionan una visión detallada del estado ambiental de la presa.

Conclusiones

El análisis de la calidad del agua en la presa reveló bajos niveles de contaminantes, por lo que no afecta su uso para riego agrícola conforme a los estándares establecidos. El índice de contaminación del agua indicó una contaminación ligera, según una clasificación reportada en la literatura³. Esto resalta la necesidad de un monitoreo continuo para garantizar un uso eficiente del recurso hídrico, especialmente ante los desafíos del cambio climático.

Tabla 1. Análisis de los parámetros de calidad del agua de la presa ALM en el periodo 2012-2020.

Parámetros	n	Promedio	Desviación estándar	ANOVA valor-p
Coliformes fecales	60	853.017	1246.91	0.9662
Conductividad eléctrica	60	171.045	41.1209	0.4792
Carbono orgánico total	60	5.2745	1.71709	0.9894
Demanda química de oxígeno	60	22.6023	12.9805	0.9948
Fósforo total	60	0.0981333	0.103055	0.9884
Nitrógeno total	60	0.6739	0.301454	0.6647
Oxígeno disuelto	60	7.47946	2.2801	0.9944
pH	60	8.08875	0.656514	0.9944
Potencial redox	60	174.705	86.9516	0.9086
Sólidos disueltos totales	60	109.467	26.3167	0.4804
Transparencia	60	1.50817	0.787983	0.8275
Turbiedad	60	7.45967	12.187	0.6834

Referencias bibliográficas

1. Loaiza, J. G., Rangel-Peraza, J. G., Sanhouse-García, A. J., Monjardín-Armenta, S. A., Mora-Félix, Z. D., & Bustos-Terrones, Y. A. (2021). Assessment of water quality in a tropical reservoir in Mexico: seasonal, spatial and multivariable analysis. *International Journal of Environmental Research and Health* 18(14), 7456. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147456>
2. Sanhouse-Garcia, A. J., Bustos-Terrones, Y., Rangel-Peraza, J. G., Quevedo-Castro, A., & Pacheco, C. (2017). Multi-temporal analysis for land use and land cover changes in an agricultural region using open-source tools. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 8, 278-290. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.11.002>
3. Li, D., & Liu, S. (2018). *Water quality monitoring and management: Basis, technology and case studies*. Academic Press.



Análisis de la calidad del agua de los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán en Sinaloa, México

Yaneth Alejandra Bustos-Terrones¹, Hilda Karina Ramírez-Medina², Bladimir Montoya-Rodríguez²

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación y ²CONACYT-División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Culiacán.

* autordecorrespondencia@mail.com

Resumen

Este estudio evalúa la calidad del agua en los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán mediante índices como el índice integral de calidad del agua (ICIA), el índice de calidad del agua (ICA) y el índice de estado trófico (IET). Los resultados revelan los problemas ambientales causados por las actividades antropogénicas en la agricultura. Se determinó que el agua no es apta para el consumo humano y se clasificó como de mala calidad según el ICIA. Sin embargo, el ICA indicó que es adecuada para actividades agrícolas, con una clasificación regular. Además, el IET mostró que la mayoría de los drenes presentan un estado hipertrófico debido al exceso de nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, lo que favorece la proliferación de algas y deteriora la calidad del agua. Este estudio subraya la necesidad de implementar estrategias de gestión sostenible. Asimismo, las prácticas agrícolas deben orientarse a la sostenibilidad para garantizar un suministro de agua seguro y saludable a largo plazo en la región.

Palabras clave: índices de calidad del agua, drenes agrícolas, evaluación ambiental.

Introducción

La escasez y la contaminación del agua son problemas cada vez más frecuentes a nivel mundial, lo que ha hecho que el monitoreo de su calidad en los cuerpos acuáticos sea una necesidad. La contaminación causada por actividades antropogénicas altera la calidad del agua y afecta su disponibilidad para diferentes usos¹. El estado de Sinaloa es una de las entidades federativas con mayor productividad agrícola en México, y gran

parte de sus cultivos se localizan en la cuenca del río Culiacán². La actividad agrícola en esta región genera una importante carga de contaminantes en los drenes agrícolas, lo que puede afectar la calidad del agua y los ecosistemas asociados³. En este estudio, se aplicaron distintos índices de calidad del agua para obtener una evaluación integral desde diversas perspectivas. En este sentido, se analizaron el índice de contaminación integral del agua (ICIA), el índice de calidad del agua (ICA), el índice de estado trófico (IET) y el índice de riesgo ecológico, utilizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán. Los resultados permitirán comprender mejor el impacto de la actividad agrícola en la calidad del agua y contribuirán al desarrollo de estrategias para su manejo sostenible.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Culiacán ubicada en el estado de Sinaloa (figura 1), donde se analizaron ocho drenes agrícolas que se encuentran dentro de la cuenca. Los drenes agrícolas estudiados se ubican entre los municipios de Culiacán y Navolato.

Parámetros de calidad del agua

Los datos se obtuvieron a partir de los resultados de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) durante el periodo 2012-2020. Los muestreos se realizaron bimensualmente en cada uno de los ocho drenes de la zona agrícola de la cuenca del río Culiacán.

Índice de contaminación integral del agua

El ICIA es una herramienta de evaluación que permite sintetizar la información sobre la calidad del agua mediante un enfoque estadístico. Para este índice, los parámetros utilizados fueron: nitrato, nitrito, nitrógeno total, fósforo total (FT), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), debido a su relevancia en la caracterización de la contaminación de origen agrícola (tabla 1). Los valores obtenidos para cada parámetro se compararon con los límites máximos permisibles establecidos por estándares internacionales (como los de la Organización Mundial de la Salud), lo que permitió clasificar el agua según su calidad⁴.

Índice de calidad del agua

El ICA aplicado en esta investigación sigue la metodología desarrollada por Brown⁵, que permite evaluar los efectos de los contaminantes en cuerpos de agua, principalmente los derivados de actividades antropogénicas. Para su cálculo, es fundamental disponer de las concentraciones de nueve parámetros clave: coliformes, pH, DBO, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto (tabla 1). Cada uno de estos parámetros posee un peso específico asignado conforme a la metodología establecida por Brown.

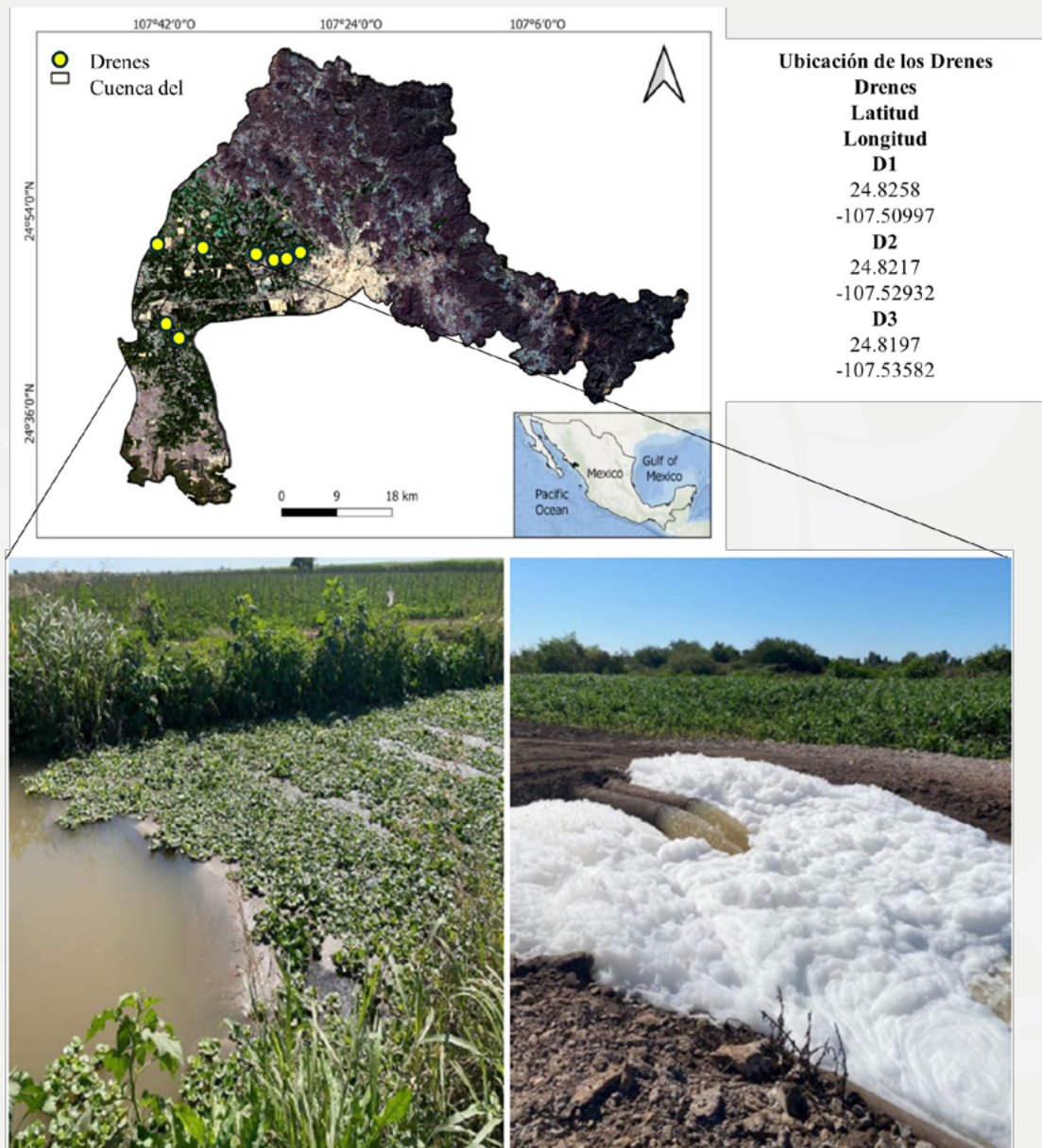


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Culiacán y los sitios de muestreo y descargas de aguas agrícolas al dren.

Índice de estado trófico

El IET se evalúa a partir de la concentración de nutrientes, que influyen en la productividad biológica del ecosistema. En el presente estudio se utilizó la metodología basada en FT propuesta por Cunha et al.6, dado que este elemento se considera el principal nutriente limitante en los sistemas acuáticos. La elección del FT como variable de referencia permite una evaluación más precisa del grado de eutrofización y proporciona información clave sobre el estado y la dinámica trófica del cuerpo de agua analizado (tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones de los índices de calidad aplicados al análisis de la calidad del agua de los drenes agrícolas.		
Ecuaciones	Términos	Referencias
$ICIA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Ci}{Si} \right)$	P: índice de contaminación integral. Ci: concentración del parámetro (mg / L). Si: valor de referencia de la calidad del agua. n: número de parámetros seleccionados.	4
$ICA = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$	w _i : pesos relativos asignados a cada parámetro, ponderados entre 0 y 1, cuya suma es igual a 1. Sub _i : subíndice del parámetro i.	5
$IET = \frac{10 \times (6 - 0.2763)(\text{LnFósforoTotal}) + 1.3297}{\text{Ln}2}$	IET: índice de estado trófico de Carlson. PT: fósforo total. Ln: logaritmo natural.	6

Resultados y discusión

El análisis del ICIA en los drenes de la cuenca del río Culiacán reveló que la calidad del agua es inaceptable para el consumo humano y se clasifica como muy mala según este índice. El ICA, que evalúa de manera integral los niveles de contaminación mediante diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, permite obtener una visión clara de la aptitud del agua para el consumo humano, con base en los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Los resultados mostraron que los niveles de contaminantes en el agua de los drenes superan los límites permitidos por la normativa internacional, lo que subraya la urgente necesidad de implementar estrategias de gestión y tratamiento para mejorar la calidad del recurso hídrico en la región.

Por otro lado, el ICA clasificó el agua de los drenes agrícolas como regular, lo que sugiere que, aunque no es adecuada para el consumo humano, puede emplearse en actividades agrícolas como el riego. No obstante, para su uso público o recreativo, se requieren tratamientos adicionales. En términos de su uso recreativo, no se recomienda por los posibles efectos adversos sobre especies acuáticas, como los peces, que podrían verse afectados por los niveles de contaminación actuales. En este sentido, el agua de los drenes agrícolas puede considerarse reutilizable en condiciones específicas para el sector agrícola⁶.

En cuanto al IET, los resultados mostraron que la mayoría de los drenes agrícolas se encuentran en estado hipertrófico, lo que indica un exceso significativo de nutrientes, en particular de fósforo y nitrógeno, factores determinantes del proceso de eutrofización. Resultados similares reportaron Mendivil-García et al.², quienes monitorearon la calidad del agua en la región. La elevada concentración de estos nutrientes incrementa la proliferación de algas, lo que deteriora la calidad del agua, los hábitats acuáticos y los alimentos disponibles

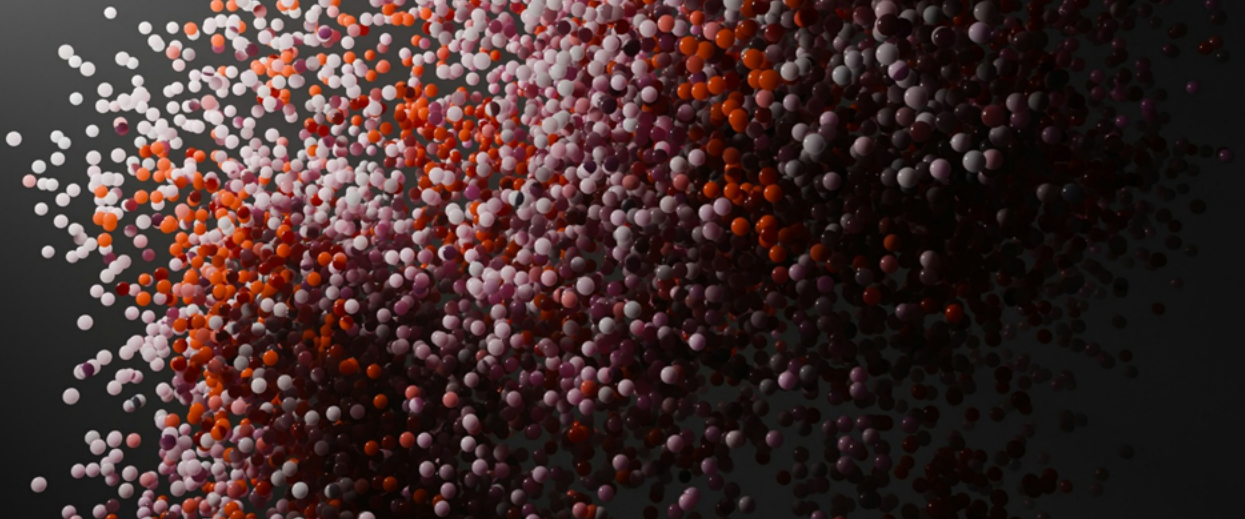
para las especies. Además, la excesiva presencia de algas reduce los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que afecta gravemente la supervivencia de peces y otras especies acuáticas.

Conclusiones

Este estudio se realizó mediante metodologías convencionales, como los índices de calidad del agua, y evaluó la calidad del agua en los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán. Los resultados muestran que el agua presenta un alto grado de contaminación, lo que la hace inapta para el consumo humano, pero reutilizable en actividades agrícolas. El agua también presenta un alto grado de contaminación trófica, lo que requiere medidas para reducir la entrada de residuos como detergentes, fertilizantes y plaguicidas. Aunque no se identifica un alto riesgo ecológico, es necesario monitorear los metales pesados, ya que son tóxicos. Este estudio proporciona datos valiosos para aplicar tratamientos que mitiguen los contaminantes y protejan el medio ambiente, la salud humana y la producción agrícola, esenciales para la seguridad alimentaria.

Referencias bibliográficas

1. Ashmawy, H. H., El Bahrawy, A. H., & Fathy, S. (2025). Enhancement of Agriculture Drainage Water Quality Using Bio-Reactor. *Egyptian Journal of Chemistry*, 68(2), 573-581. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.277183.9470>
2. Mendivil-García, K., Medina, J. L., Rodríguez-Rangel, H., Roé-Sosa, A., & Amábilis-Sosa, L. E. (2024). Optimization of the water quality monitoring network in a basin with intensive agriculture using artificial intelligence algorithms. *Water Supply*, 24(1), 204-222. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.336>
3. El-Aziz, A., Zienab, H., El-Ghannam, M. K., Amin, O. F., El-Al, A., & Saffaa, S. M. (2025). Environmental studies on some irrigation and drainage water in Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 65(1). <https://doi.org/10.21608/ejss.2024.332185.1903>
4. Loaiza, J. G., Rangel-Peraza, J. G., Sanhouse-García, A. J., Monjardín-Armenta, S. A., Mora-Félix, Z. D., & Bustos-Terrones, Y. A. (2021). Assessment of water quality in a tropical reservoir in Mexico: seasonal, spatial and multivariable analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7456. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147456>
5. Quevedo-Castro, A., Rangel-Peraza, J.G., Bandala, E., Amabilis-Sosa, L., Rodríguez-Mata, A., Bustos-Terrones, Y. 2018. Developing a water quality index in a tropical reservoir using a measure of multiparameters. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 8(4), 752-766. <https://doi.org/10.2166/washdev.2018.049>
6. Cunha, D. G. F., do Carmo Calijuri, M., & Lamparelli, M. C. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). *Ecological Engineering*, 60, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>



Eliminación mejorada de arsénico de agua subterránea mediante nanopartículas de óxido de hierro soportadas en xerogeles de carbono (xerogeles magnéticos)

Sasirot Khamkure^{1*}, Victoria Bustos-Terrones², Audberto Reyes-Rosas³

¹CONAHCYT-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ²Universidad Politécnica del Estado de Morelos y ³Centro de Investigación en Química Aplicada.

*skhamkure@conahcyt.mx

Resumen

El consumo de agua contaminada con arsénico proveniente de aguas subterráneas en México y puede causar efectos adversos para la salud, incluso en bajas concentraciones. La evaluación de la capacidad de adsorción de arseniato y arsenito en muestras de agua subterránea, mediante la aplicación de nanopartículas de óxido de hierro (obtenidas por el método técnica sol-gel y soportadas sobre xerogeles de carbono por medio de sonicación indirecta), contribuye a encontrar nuevas alternativas para el tratamiento de aguas contaminadas con este metaloide, lo que podría reducir el impacto negativo en la salud humana y ambiental.

Palabras clave: adsorción, arseniato, arsenito, carbonización, adsorbente magnético.

Introducción

El arsénico, un metaloide peligroso, puede estar presente de manera natural en altos niveles de concentración en aguas subterráneas, con potencial de riesgo para la salud pública. Esto se debe a que exhibe el comportamiento geoquímico normal de los metaloides formadores de oxianiones en el ambiente superficial¹. El arsénico se encuentra principalmente en las aguas subterráneas debido a su presencia natural en la corteza terrestre. Los procesos geológicos, hidrogeológicos y geoquímicos, particularmente en regiones áridas y semiáridas, contribuyen a esta distribución².

En este trabajo se realizó una recopilación, análisis e integración de información sobre los acuíferos sobre-explotados en México para determinar su estado actual. La ocurrencia de arsénico en aguas subterráneas se analizó con ayuda del sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS y el *software* estadístico R v3.5. La figura 1 ilustra la detección de contaminación por arsénico en los suministros de agua de varias regiones de México. En el norte, el centro y centro-oeste; particularmente en las regiones áridas y semiáridas, los niveles de superan el máximo permisible de contaminante (MCL) de arsénico en el agua potable establecido tanto por la norma mexicana NOM-127-SSA1-2021 como por la Organización Mundial de la Salud, que son 10 µg/L.

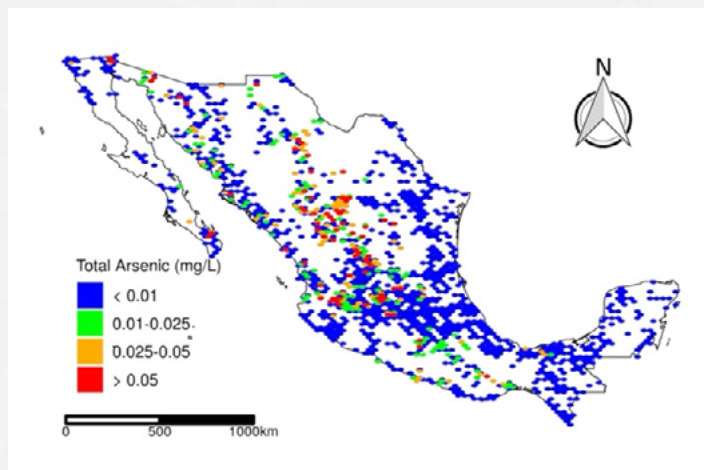


Figura 1 Concentraciones de arsénico en aguas subterráneas en México³.

Por otro lado, los geles son materiales porosos que han captado la atención por sus propiedades de textura, resistencia mecánica y estabilidad química, las cuales pueden ser controladas al variar las condiciones de síntesis. Los geles utilizados en este trabajo se obtuvieron en tres pasos: síntesis, secado y pirólisis del xerogel orgánico⁴. El gel resorcinol/formaldehído tiene una aplicación específica en la remoción de contaminantes del agua potable y aguas residuales^{5,6,7}. Esta investigación se centra en la generación de nanopartículas de óxido de hierro soportadas en xerogel de carbono (xmc) que puedan ser recuperadas fácilmente del medio acuoso. Estos materiales son capaces de remover el arsénico que se encuentra en los pozos de aguas subterráneas, las cuales son usadas para abastecer a gran parte de la población.

Metodología

Los xmc fueron sintetizados a partir de la polimerización de sol-gel del resorcinol ($C_6H_6O_2$, R) y el formaldehído (CH_2O , F) utilizando carbonato de sodio (Na_2CO_3 , C) como catalizador. Esta es una metodología de preparación simple y de bajo costo⁸. Se trabajaron las siguientes relaciones molares: $R/F=0.5$, $R/C=100$, $R/W=0.04$ y $M/R=0.07$. Para la carbonización de los xerogeles magnéticos, se usó un horno de tubo (Lindberg /Blue, modelo STF55346C-1) a temperatura de 600 °C y rampa de calentamiento de 3 °C/min durante 6 h con flujo de nitrógeno de 100 mL/min. En este estudio se sintetizaron nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) vía dos métodos modificados: coprecipitación y oxidación convencional según el método reportado previamente⁹. Estos

materiales fueron activados (se modificó su superficie usando H_2O_2) y se identificaron como XMC10-600M y XMO6-600M, respectivamente.

La morfología de la superficie y la estructura porosa de los xmc se analizó con un microscopio electrónico de barrido ambiental (FEI-ESEM-QUANTA 200).

Finalmente, se evaluó la adsorción de arsénico sobre los geles preparados en un sistema de agua sintética y otro con agua subterránea.

Resultados y discusión

La figura 2 muestra las micrografías SEM de los geles preparados. Las figuras 2a y 2b corresponden al material identificado como XMO6-600M; en ellas se observan partículas con tamaños de poros más grandes, pero con una distribución homogénea. Las figuras 2c y 2d evidencian la morfología del material XMC10-600M, el cual presenta una distribución uniforme de un gran número de microclústeres, formando una estructura tridimensional (3D) y dando lugar a materiales porosos, que son adecuados para aplicaciones de adsorción⁴. Además, los resultados del análisis del EDX confirmaron que el porcentaje de contenido de Fe en ambos XMO6-600M y XMC10-600M es de 16.66 % y 21.40 %, respectivamente. Aunque se prepararon con la misma relación molar de $M/R = 0.07$.

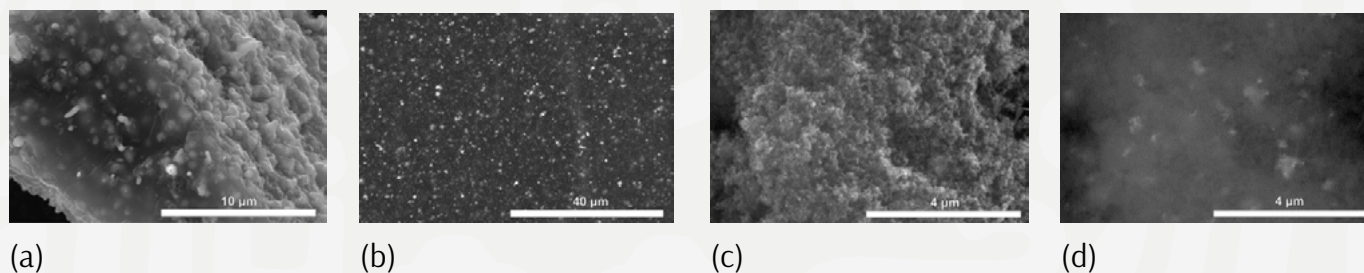
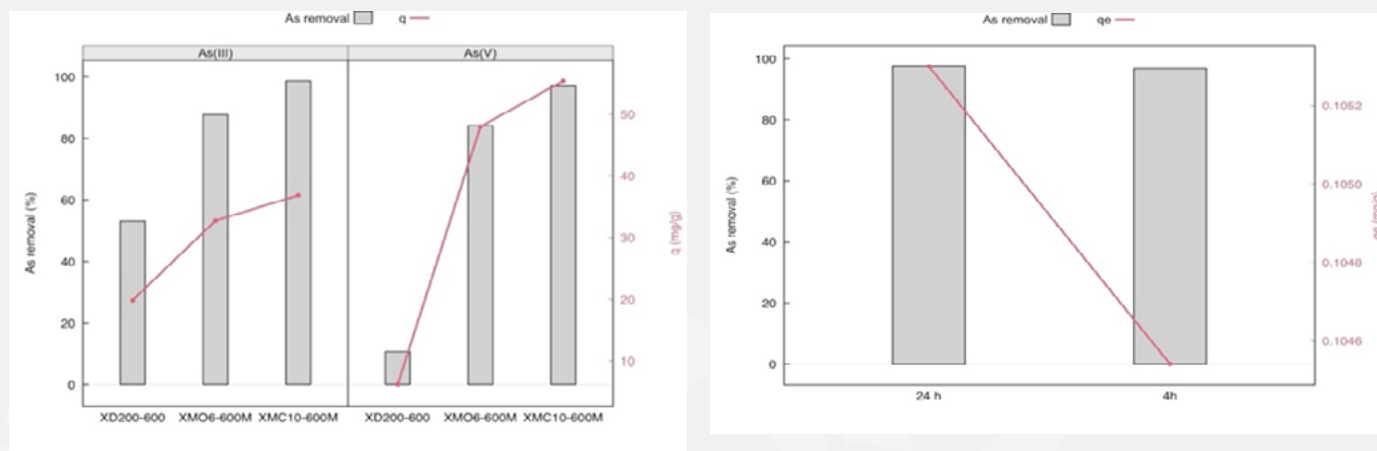


Figura 2 Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) y electrones retrodispersados (BSE) de (a, b) XMO6-600M y (c, d) XMC10-600M, respectivamente.

La figura 3a muestra los resultados de adsorción de $As(III)$ y $As(V)$ en el agua sintética, utilizando XMC10-600M como adsorbente. En ella, se observa un porcentaje de remoción mayor que para XMO6-600M, así como un porcentaje de hierro alto en comparación con los otros materiales. En cuanto a la incorporación de las nanopartículas de Fe_3O_4 en los geles¹⁰, informan que la estructura y morfología finales de los xerogeles de carbono aumentaron los volúmenes de los meso y macroporos. La figura 3b muestra que la capacidad de adsorción de arsénico presente en aguas subterráneas a partir de XMC10-600M en dos tiempos de contacto, 4 h y 24 h, permite cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-2021.



(a) (b)

Figura 3. Efecto del pH (3 y 5) sobre la eliminación de As(III) y As(V) en agua sintética (a), y efecto del tiempo de contacto (4 h y 24 h) en agua subterránea (b).

Conclusión

Las nanopartículas de óxido de hierro (magnetitas) soportadas en xerogel de carbono son capaces de remover las concentraciones de arsénico presente en los pozos de aguas subterráneas de México cuya presencia se ha detectado en mantos acuíferos sobreexplotados. El tamaño de la nanopartícula y el contenido de Fe está fuertemente relacionado con la adsorción del arsénico, aduciendo que las partículas de menor tamaño permiten incrementar la capacidad de adsorción de arsénico.

Referencias bibliográficas

1. Valskys, V., Hassan, H. R., Wołkowicz, S., Satkūnas, J., Kibirkštis, G., & Ignatavicius, G. (2022). A review on detection techniques, health hazards and human health risk assessment of arsenic pollution in soil and groundwater. *Minerals*, 12(10), 1326. <https://doi.org/10.3390/min12101326>
2. Alarcón-Herrera, M. T., Martín-Alarcon, D. A., Gutiérrez, M., Reynoso-Cuevas, L., Martín-Domínguez, A., Olmos-Márquez, M. A., & Bundschuh, J. (2020). Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization. *The Science of the Total Environment*, 698(1433), 134168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>
3. CONAGUA. (2019). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA): Agua en el mundo, México*. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
4. Canal-Rodríguez, M., Menéndez, J. A., & Arenillas, A. (2018). Carbon Xerogels: The Bespoke Nanoporous Carbons. En T. H. Ghrif (Ed.), *Porosity: Process, Technologies and Applications*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71255>

5. Gaumet, A. V., Caddeo, F., Loche, D., Corrias, A., Casula, M. F., Falqui, A., & Casu, A. (2021). Magnetic Study of CuFe_2O_4 - SiO_2 Aerogel and Xerogel Nanocomposites. *Nanomaterials*, 11(10), 2680. <https://doi.org/10.3390/nano11102680>
6. Kumar, A., Prasad, S., Saxena, P. N., Ansari, N. G., & Patel, D. K. (2021). Synthesis of an alginate-based Fe_3O_4 - MnO_2 xerogel and its application for the concurrent elimination of Cr(VI) and Cd(II) from aqueous solution. *ACS Omega*, 6(5), 3931-3945. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05787>
7. Ribeiro, R. S., Frontistis, Z., Mantzavinos, D., Venieri, D., Antonopoulou, M., Konstantinou, I. K., Silva, A. M., Faria, J. L., & Gomes, H. T. (2016). Magnetic carbon xerogels for the catalytic wet peroxide oxidation of sulfamethoxazole in environmentally relevant water matrices. *Applied Catalysis B-environmental*, 199, 170-186. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.06.021>
8. Pekala, R. W. (1989). Organic aerogels from the polycondensation of resorcinol with formaldehyde. *Journal of Materials Science*, 24(9), 3221-3227. <https://doi.org/10.1007/bf01139044>
9. Khamkure, S., Bustos-Terrones, V., Benitez-Avila, N. J., Cabello-Lugo, M. F., Gamero-Melo, P., Garrido-Hoyos, S. E., & Esparza-Schulz, J. M. (2022). Effect of Fe_3O_4 nanoparticles on magnetic xerogel composites for enhanced removal of fluoride and arsenic from aqueous solution. *Water Science and Engineering*, 15(4), 305-317. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.07.001>
10. Kiciński, W., Szala, M., & Nita, M. (2011). Structurally tailored carbon xerogels produced through a sol-gel process in a water-methanol-inorganic salt solution. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 58(1), 102-113. <https://doi.org/10.1007/s10971-010-2362-y>



La gestión de residuos, un vistazo desde el enfoque de la función pública en el estado de Morelos

Yaneth Alejandra Bustos-Terrones^{1*}, Juan Gabriel Loaiza¹, Victoria Bustos-Terrones²

¹*CONAHCYT-TecNM-Instituto Tecnológico de Culiacán, ²Universidad Politécnica del Estado de Morelos.

*yaneth.bt@culiacan.tecnm.mx

Resumen

Los acuíferos en México, vitales para la agricultura intensiva, enfrentan desafíos de contaminación y de escasez. El monitoreo constante de la calidad y la disponibilidad del agua subterránea es crucial para la sostenibilidad agrícola y la preservación de los recursos hídricos. Este estudio analizó la contaminación en el acuífero del Río Culiacán, encontrando variaciones en la calidad del agua según la ubicación. Mientras que algunas zonas presentaron agua apta para distintos usos, otras mostraron niveles de contaminación que limitan su aprovechamiento. Una gestión efectiva es esencial para garantizar la disponibilidad y la calidad del agua a largo plazo en la región.

Palabras clave: acuífero del Río Culiacán, evaluación de la calidad del agua, índice de calidad del agua.

Introducción

El agua subterránea es crucial para el suministro global de agua potable, pero enfrenta desafíos críticos por la sobreexplotación y la contaminación, agravados por el crecimiento poblacional, la urbanización y la expansión industrial y agrícola¹. Evaluar su calidad requiere análisis fisicoquímicos y estadísticos. Además, una gestión responsable es esencial para la seguridad alimentaria y la preservación ambiental, especialmente ante el cambio climático². Por eso, este estudio proporciona información útil para la gestión sostenible del agua y la implementación de políticas que promuevan prácticas agrícolas más limpias.

Materiales y métodos

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) proporcionó los datos sobre la calidad del agua, obtenidos de muestreos semestrales realizados entre 2012 y 2020 en seis puntos de muestreo del Acuífero del Río Culiacán (ARC), con profundidades que oscilan entre 50 y 100 metros.

Se analizaron las concentraciones de los parámetros de calidad del agua para evaluar la calidad del recurso hídrico. Asimismo, se calculó el índice de calidad del agua (ICA)³, considerando parámetros como pH, sólidos disueltos totales, dureza total, calcio, magnesio, nitratos, cloruros, sulfatos, fluoruro y alcalinidad total. Los valores obtenidos del ICA se clasificaron en seis categorías: agua excelente (<50), agua buena (50-100), agua mala (100-200), agua muy mala (200-300) y agua no apta (>300).

Resultados y discusión

El ARC es uno de los acuíferos más importantes de Sinaloa, ya que se ubica en una región de intensa actividad agrícola⁴. Actualmente, este acuífero presenta signos de contaminación y de escasez de agua subterránea. El monitoreo del agua subterránea es crucial para la planificación y la gestión de la agricultura sostenible y podría garantizar la producción y la seguridad alimentaria. La figura 1 muestra la ubicación del ARC, en el estado de Sinaloa, México. Esta área tiene un rango de elevación de 0 a 200 metros sobre el nivel del mar y abarca una superficie aproximada de 2⁵⁹⁶.83 km². Gran parte de la superficie se destina a la agricultura de riego y a la agricultura de temporada⁵.

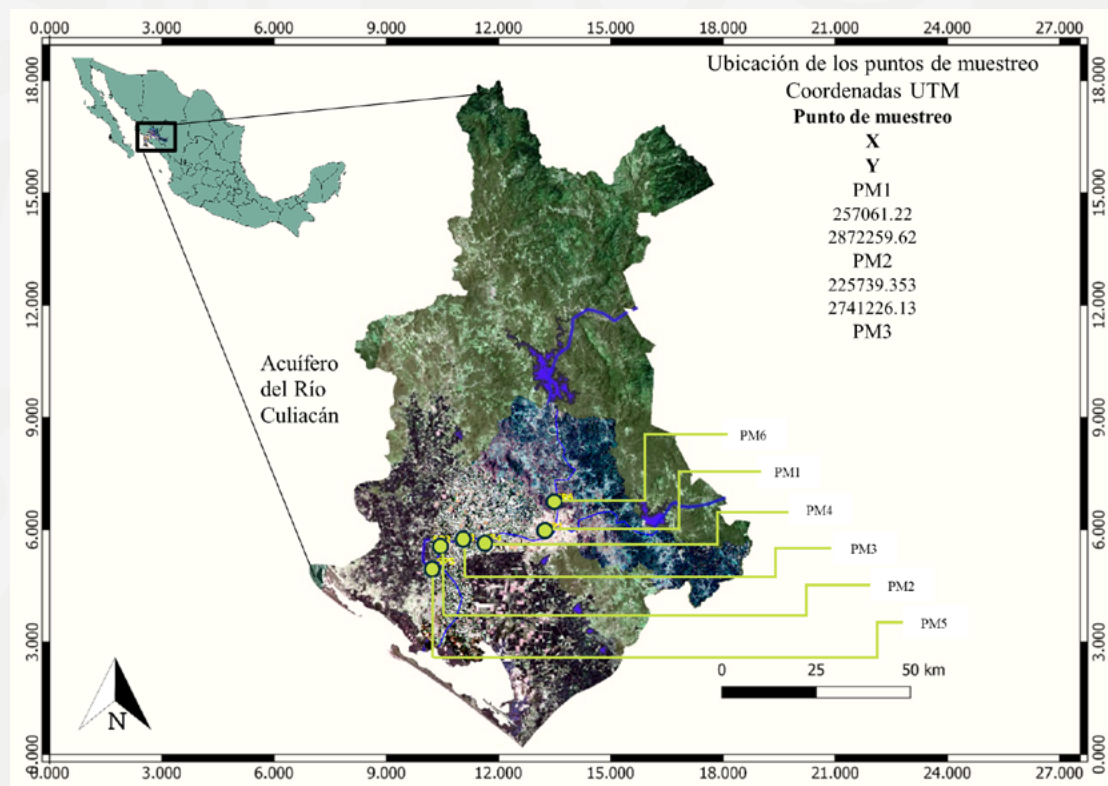


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo del acuífero de Río Culiacán.

La concentración de sólidos totales disueltos (632 mg/L) y la conductividad eléctrica (1102.5 μ S/cm) en PM5 están por encima de los niveles recomendados por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, indicando que la calidad del agua podría verse afectada, aunque no de manera crítica. La dureza total varió entre 130 mg/L (PM6) y 483 mg/L (SP1), clasificándose el agua como dura, lo cual puede afectar su uso en procesos industriales o domésticos. El pH (7-8) se mantiene en valores neutros, lo que es adecuado. Las concentraciones de nitrógeno total y de nitratos en PM1 (9.145 mg/L y 9.097 mg/L) exceden los límites establecidos, lo que sugiere una posible contaminación por actividades agrícolas, especialmente por el uso de fertilizantes. Las concentraciones de fosfato fueron bajas (0-1 mg/L), lo que es positivo. Mientras que la presencia de coliformes fecales en zonas urbanas (PM1 y PM6) es preocupante, ya que indica contaminación por aguas residuales. Sin embargo, el índice de calidad del agua (ICA) clasifica las muestras de PM1-PM5 como de “buena calidad” y las de PM6 como “excelente”, lo que sugiere que la calidad general del agua es aceptable, aunque con áreas de mejora en zonas urbanas.

Conclusiones

El ARC en Sinaloa, México, es vital para la intensa actividad agrícola, pero enfrenta contaminación y escasez. El monitoreo es esencial para la gestión agrícola sostenible. Los resultados de calidad del agua, incluyendo sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, dureza, nitrógeno total, nitratos, fosfatos y coliformes fecales, revelan influencias agrícolas y urbanas. Aunque el índice de calidad clasifica la mayoría como “buena”, el PM1 se destaca como “excelente”, lo que insta a acciones preventivas. La ubicación, la topografía y el uso agrícola intensivo acentúan la importancia crítica de la gestión sustentable del agua subterránea en la región.

Referencias bibliográficas

1. Rekha, P., Kamalakkannan, M. K., Selvakumar, P., & Bhattacharya, S. (2025). Ground Water Management. En *Emerging Trends and Technologies in Water Management and Conservation* (pp. 149-174). IGI Global Scientific Publishing.
2. Zhang, Y., Zhang, Q., Chen, W., Shi, W., Cui, Y., Chen, L., & Shao, J. 2023. Hydrogeochemical analysis and groundwater pollution source identification based on self-organizing map at a contaminated site. *Journal of Hydrology*, 616, 128839. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128839>
3. Gabr, M. E., Soussa, H., & Fattouh, E. (2021). Groundwater quality evaluation for drinking and irrigation uses in Dayrout city Upper Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 327-340.
4. Loaiza, J. G., Rangel-Peraza, J. G., Sanhouse-García, A. J., Monjardín-Armenta, S. A., Mora-Félix, Z. D., & Bustos-Terrones, Y. A. (2021). Assessment of Water Quality in A Tropical Reservoir in Mexico: Seasonal, Spatial and Multivariable Analysis. *International Journal of Environmental Research and Health*, 18(14), 7456. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147456>

5. Sanhouse-Garcia, A. J., Bustos-Terrones, Y., Rangel-Peraza, J. G., Quevedo-Castro, A., & Pacheco, C. (2017). Multi-temporal analysis for land use and land cover changes in an agricultural region using open-source tools. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 278-290. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.11.002>



El cambio climático y las interacciones ecológicas: el caso de los jardines de hormigas

Jonas Morales-Linares^{1*}, Michelle Ivonne Ramos-Robles², Alejandro Flores-Palacios³

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y ³Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

* jonasml1@gmail.com

Resumen

El cambio climático afecta negativamente a la biodiversidad. No obstante, las estrategias de estudio y los esfuerzos de conservación biológica se han centrado en especies individuales, soslayando el estudio de grupos de especies con dependencia mutua. Este trabajo destaca el caso de los jardines de hormigas, un ecosistema en miniatura en el que plantas y hormigas coexisten, interactúan y se benefician mutuamente. Esta estrecha relación entre las especies asociadas les confiere resistencia frente a los efectos futuros del cambio climático.

Palabras clave: biodiversidad, biogeografía, mutualismo planta-hormiga, neotrópico.

Introducción

El incremento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera contribuye principalmente al cambio climático, el cual conlleva el incremento global de la temperatura, derretimiento de glaciares, aumento del nivel del mar, sequías extremas y lluvias torrenciales atípicas^{1,2}. Si bien los cambios en la temperatura del planeta son considerados naturales, el incremento de las actividades humanas en frecuencia e intensidad, tal como el uso de combustibles fósiles, deforestación, ganadería extensiva y producción agrícola, ha acelerado este fenómeno global, el cual conlleva a la pérdida de la biodiversidad y pone en riesgo a la especie humana².

Históricamente, los estudios del efecto del cambio climático sobre la biodiversidad se han centrado en analizar y predecir los cambios en la distribución geográfica de especies individuales, principalmente de plantas. En este sentido, se ha observado que el cambio climático altera el funcionamiento interno (fisiología) de las plantas y los periodos de generación de sus hojas y flores^{3,4}. Como resultado, el consenso es que el cambio climático afecta negativamente a la biodiversidad y, además, contribuirá significativamente a la sexta extinción masiva de especies en la Tierra³.

La pérdida de las especies es probablemente un aspecto sencillo de comprender⁴. Sin embargo, dicha pérdida va más allá de la especie que se pierde, ya que no solo se extinguen los individuos que la conforman, sino también sus interacciones con otros seres vivos⁵. De este modo, es necesario considerar las interacciones entre distintas especies en el análisis de la biodiversidad y en los modelos predictivos de extinción, para que estos provean información sobre las extinciones en cadenas asociadas a la pérdida de especies, dejando de vislumbrarlas como entes aislados⁶.

Las interacciones entre especies, llamadas interespecíficas, pueden clasificarse en antagonistas y mutualistas⁷. Una interacción antagonista ocurre cuando un individuo de una especie obtiene un beneficio al afectar a otro de una especie distinta, como en la herbivoría (consumo de tejidos vegetales por un herbívoro). Por otro lado, un mutualismo ocurre cuando hay un beneficio mutuo entre individuos de distintas especies, como en la polinización (transporte de polen entre flores). Las comunidades de plantas y animales que mantienen interacciones de beneficio mutuo forman redes mutualistas, que dan estructura a la biodiversidad al favorecer la coexistencia, la estabilidad y la coevolución de las especies asociadas⁸.

Un caso especial de mutualismo son los jardines de hormigas (figura 1), que se componen por un grupo reducido de especies de plantas, como la bromelia *Aechmea tillandsioides*, la orquídea *Epidendrum flexuosum* y la gesneriácea *Codonanthe uleana*, que son cultivadas por algunas especies de hormigas (como *Azteca gnava*) en sus nidos establecidos en árboles, creando un miniecosistema complejo y especializado⁹. Se sabe que las hormigas proporcionan a las plantas asociadas el servicio de dispersión de sus semillas, un sustrato y protección contra herbívoros, mientras que las plantas dan alimento a las hormigas (por ejemplo, con el néctar extrafloral: una sustancia azucarada no relacionada con la polinización) y, con sus raíces, dan soporte estructural al nido¹⁰.

Los Jardines de Hormigas fueron descritos por primera vez en Brasil y, hoy en día, con excepción de África, se conocen en las regiones tropicales de América (neotrópico) y de Asia (paleotrópico)^{9,11}. Recientemente, se han utilizado modelos climáticos para analizar los efectos futuros del cambio climático sobre las especies de hormigas y plantas que constituyen los jardines de hormigas del neotrópico¹². Al analizar a nivel de especies individuales, se encontró que su distribución geográfica potencial se vería reducida en el futuro. Pero al considerar los jardines de hormigas como una entidad compuesta por varias especies, su distribución tendería a aumentar. De este modo, este sistema mutualista podría concebirse como un “amortiguador” para las especies de hormigas y plantas asociadas frente a los efectos adversos del cambio climático.



Figura 1. Jardín de hormigas registrado en Amatlán, Chiapas, México. Se muestra el sustrato del nido con la presencia de la bromelia *Aechmea tillandsioides* (inflorescencias con brácteas rojizas) y de la gesneriácea *Codonanthe uleana* (A), y de la hormiga *Azteca gnava*, constructora del jardín de hormigas, dispersando una semilla de la bromelia *A. tillandsioides* (B).

Los jardines de hormigas del neotrópico se distribuyen en bosques tropicales lluviosos y plantaciones agrícolas (cacao, naranja y mango) presentes desde el sureste de México hasta Brasil¹², donde la red de interacciones hormiga-planta se compone únicamente de dieciséis especies de plantas y seis de hormigas, y presenta una estructura jerárquica (anidada)¹³. Esta estructura implica que hay muchas especies generalistas, que interactúan con la mayor parte de las especies y entre sí, mientras que, al descender en la jerarquía de interacciones, las especialistas interactúan con pocas especies⁸. Esta organización jerárquica se conoce como una red de interacciones anidadas y se considera que en conjunto son robustas ante la perturbación, ya que en caso de extinguirse una especie podría ser sustituida por otra generalista¹⁴. De este modo, la estructura anidada de la red de interacciones de los jardines de hormigas también les conferiría resistencia frente a los efectos adversos del cambio climático.

Por lo anterior, los jardines de hormigas representan un ejemplo muy claro de las formas en que las especies han logrado conformar interacciones sólidas de beneficio mutuo, las cuales les han permitido coexistir, ampliar su distribución y potencialmente sobrevivir ante amenazas globales como el cambio climático. De este modo, los humanos podríamos aprovechar el modelo de los jardines de hormigas para asociarnos de manera más positiva entre nosotros y con la naturaleza, en aras de conservar la biodiversidad, comprendiendo y aprovechando de manera sustentable los beneficios de las interacciones interespecíficas.

Referencias bibliográficas

1. Letcher, T. M. (2021). *Climate Change: Observed impacts on planet Earth*. Elsevier.
2. Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective-a review article. *Agriculture & Food Security*, 10, 36. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>
3. Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365-377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
4. Leemans, R., Nunez, S., & Alkemade, R. (2021). Biological diversity and climate change. En Letcher, T. M. (Ed.), *Climate Change (Third Edition): Observed impacts on planet Earth* (pp. 541-559). Elsevier.
5. Valiente-Banuet, A., Aizen, M. A., Alcántara, J. M., Arroyo, J., Cocucci, A., Galetti, M., García, M. B., García, D., Gómez, J. M., Jordano, P., Medel, R., Navarro, L., Obeso, J. R., Oviedo, R., Ramírez, N., Rey, P. J., Traveset, A., Verdú M., & Zamora, R. (2015). Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology*, 29(3), 299-307. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12356>
6. Bascompte, J., García, M. B., Ortega, R., Rezende E. L., & Pironon, S. (2019). Mutualistic interactions reshuffle the effects of climate change on plants across the tree of life. *Science Advances*, 5(5), eaav2539. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav2539>
7. Bronstein, J. L. (1994). Conditional outcomes in mutualistic interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, 9(6), 214-217. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(94\)90246-1](https://doi.org/10.1016/0169-5347(94)90246-1)
8. Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38, 567-593. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818>
9. Orivel, J., & Leroy, C. (2011). The diversity and ecology of ant gardens (Hymenoptera: Formicidae; Spermatophyta: Angiospermae). *Myrmecological News*, 14, 73-85.
10. Corbara, B. (2021). Ant Gardens. En C. K. Starr (Ed.), *Encyclopedia of Social Insects* (pp. 1-4). Springer.
11. Chomicki, G., Janda, M., & Renner, S. S. (2017). The assembly of ant-farmed gardens: mutualism specialization following host broadening. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1850), 20161759. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1759>
12. Morales-Linares, J., Flores-Palacios, A., Corona-López, A. M., & Toledo-Hernández, V. H. (2021). Diversity and interactions of the epiphyte community associated with ant-gardens are not influenced by elevational and environmental gradients. *Journal of Vegetation Science*, 32(5), e13076. <https://doi.org/10.1111/jvs.13076>
13. Morales-Linares, J., Flores-Palacios, A., Corona-López, A. M., & Toledo-Hernández, V. H. (2021). Structure and robustness of the Neotropical ant-gardens network under climate change. *Insect Conservation and Diversity*, 14(5), 635-646. <https://doi.org/10.1111/icad.12497>
14. Tylianakis, J. M., Laliberté, E., Nielsen, A., & Bascompte, J. (2010). Conservation of species interaction networks. *Biological Conservation*, 143(10), 2270-2279. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.004>



Uso de parasitoides como herramienta clave en la agricultura sostenible de México: retos y perspectivas ante el cambio climático

Jaime González-Cabrera¹, Humberto Reyes-Prado², Agustín Jesús Gonzaga-Segura^{2,3*}

¹Departamento de Control Biológico, Centro Nacional de Referencia de Control Biológico,

²Laboratorio de Ecoetología de Insectos, Escuela de Estudios Superiores del Jicarero

de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y ³Laboratorio de Ecología Química de Insectos, Estancia Posdoctoral por México-CONAHCYT del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN.

*jgonzaga8603@gmail.com

Resumen

Se describe la importancia del uso de parasitoides como agentes de control biológico de plagas agrícolas en México y se analiza cómo el cambio climático podría, en teoría, reducir su eficiencia, lo que provocaría daños más severos en los cultivos. También presenta cinco estrategias para mitigar estos efectos negativos, que podrían aplicarse en otras regiones debido a la naturaleza global del cambio climático.

Palabras clave: agroecología, control biológico, seguridad alimentaria.

Introducción

México es un referente internacional en la agricultura de exportación. En 2022, fue el séptimo exportador mundial, con ingresos económicos superiores a los generados por el turismo, las remesas y el petróleo^{1,2}. Esta notable importancia se atribuye no solo a la excelente calidad de los productos agrícolas, sino también al compromiso de la industria con prácticas sostenibles y ambientalmente responsables, como el uso frecuente y generalizado de parasitoides en el control de plagas. Los parasitoides son micro avispas de ≤ 3 mm de tamaño que depositan sus huevos sobre o dentro del cuerpo de los insectos plaga (huéspedes), provocando

su muerte. Su especificidad los convierte en una opción ecológica para el control de plagas, lo que reduce la necesidad de intervenciones químicas nocivas y contribuye a la salud de los ecosistemas y sistemas agrícolas¹.

La historia de uso de los parasitoides en México se remonta a 1922, cuando se introdujeron de manera inoculativa dos parasitoides de Cuba y Perú para controlar a las plagas agrícolas conocidas como barrenadores del tallo de la caña de azúcar (*Diatraea* spp. y *Eoreuma loftini*); subsecuentemente, se introdujo un parasitoide (*Eretmocerus serius*) para controlar la mosca prieta en 1938, y así sucesivamente hay una gran historia de 32 eventos de control biológico hasta 2020¹. Hoy en día, el uso de parasitoides se ha ampliado y diversificado, registrándose la reproducción de 32 especies en insectarios nacionales con fines comerciales. Destacan los parasitoides *Trichogramma* (figura 1a) que, desde 1962, han sido reproducidos y liberados por millones para el control de diversos lepidópteros plaga, como la palomilla de los cereales (figura 1b), el gusano bellotero, el cogollero, el rosado, el soldado y los barrenadores de la caña de azúcar. Estos parasitoides se liberan en aproximadamente 1.5 millones de hectáreas para proteger cultivos como algodón, caña de azúcar, chile serrano, col, girasol, maíz, naranjo, nogal, soya y tomate¹. Como consecuencia de dichas liberaciones masivas, se ha registrado un promedio nacional de parasitismo del 56 %, junto con ahorros económicos significativos. Por ejemplo, la reducción del daño causado por el barrenador en la región de Sinaloa representa un ahorro anual de 25 millones de pesos¹.

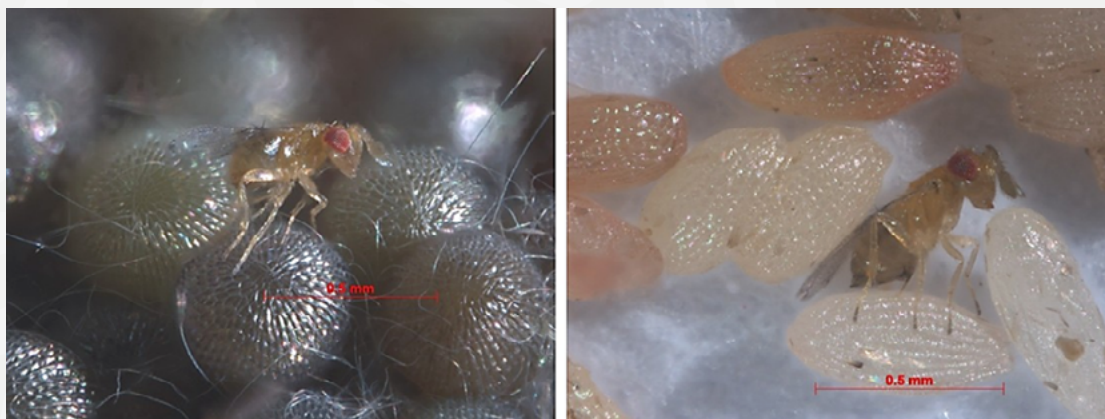


Figura 1. Microavispa parasitoides del género *Trichogramma* parasitando huevos del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) (a) y de la palomilla de los cereales (*Sitotroga cerealella*) (b).

Además del uso exitoso de los parasitoides *Trichogramma*, existen otros que se han reproducido y liberado de manera masiva a nivel nacional para combatir plagas que ponen en riesgo la seguridad alimentaria del país, al ocasionar pérdidas del 100 % en cultivos de importancia nacional. Entre ellas, destaca el parasitoide *Anagyrus callidus* (figura 2a) que se ha reproducido y liberado de manera masiva para el combate de la cochinilla rosada del Hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*) (figura 2b). De septiembre de 2020 a junio de 2021, se liberaron 23 millones de individuos de *A. callidus* en doce entidades federativas del país con presencia de esta plaga, y estas acciones, junto con la liberación masiva de 407 100 depredadores (*Cryptolaemus montrouzieri*), han permitido mantener la plaga a niveles que no representan daños económicos para los cultivos¹.



Figura 2. Avispa parasitoide de la especie *Anagyrus callidus* (a) donde está parasitando a su huésped la cochinilla rosada del Hibisco (b).

Discusión

El uso eficaz de parasitoides como agentes de control de plagas agrícolas está en riesgo de perder su efectividad ante los efectos inminentes del cambio climático. El aumento de las concentraciones de gases como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, clorofluorocarbonos, metano y ozono en la atmósfera ha provocado incrementos significativos en las temperaturas de la superficie terrestre. Se prevé un calentamiento global de 2-4 °C para finales del siglo xxi. En términos generales, se espera un incremento en la frecuencia de fenómenos ambientales extremos como huracanes, inundaciones, lluvias torrenciales, sequías prolongadas, olas de calor, frentes fríos e incendios³, lo que afectará fuertemente la agricultura. Por ejemplo, el maíz desempeña un papel crucial en la autosuficiencia alimentaria en México, ya que se cultiva para consumo humano en todos los estados del país (7 472 000 ha por año). Este cultivo se realiza principalmente en zonas rurales, en pequeñas fincas, y sigue prácticas agrícolas de bajos insumos, caracterizadas por el uso de semillas nativas y por requerimientos mínimos de capital y mano de obra. En estas condiciones de baja tecnología se teoriza que la presencia de algún fenómeno ambiental extremo (previamente listado) tendrá efectos desastrosos en el cultivo^{1,2}.

Aunque estos eventos extremos también afectarán a las plagas, el cambio climático incidirá mayormente en la eficiencia de los parasitoides por cuatro razones principales:

- I. Los parasitoides son hasta seis veces más pequeños que las plagas agrícolas, lo que los hace más susceptibles a fluctuaciones de temperatura debido al mayor intercambio térmico con el ambiente^{3,4}.
- II. Se espera que las plagas expandan sus nichos o hábitats. Los parasitoides, al tener menor capacidad de vuelo que las plagas, se verán limitados para alcanzar estos nuevos nichos geográficos, lo que reducirá la efectividad del control biológico^{3,4}.
- III. Los parasitoides producidos en laboratorio tienen menor diversidad genética que las plagas agrícolas. En crías masivas, las condiciones estables favorecen la selección de fenotipos adaptados y el constante apareamiento dentro de la misma colonia reduce

la diversidad genética con el tiempo. Si los parasitoides tienen menos diversidad genética, podrían enfrentar dificultades para sobrevivir en campo abierto^{3,4,5}.

- IV. La temperatura óptima de desarrollo de los parasitoides es significativamente más baja que la de las plagas (25 °C contra 28 °C, respectivamente), por lo que teóricamente un aumento de las temperaturas tendrá un impacto negativo en las poblaciones de parasitoides, mientras que favorecerá la tasa de reproducción de las plagas^{3,4}.

Tal como se mencionó anteriormente, en comparación con las plagas agrícolas, los parasitoides no tienen la misma capacidad evolutiva de adaptación a los efectos negativos inminentes ocasionados por el cambio climático. Por tanto, es crucial preparar mejores parasitoides para que puedan enfrentar con mayor éxito este escenario. Las acciones que se podrían hacer son las siguientes:

- I. Utilizar huéspedes de mayor tamaño. El huésped es la única fuente de nutrientes para las larvas del parasitoide; por ello, los huéspedes de mayor tamaño generan parasitoides más grandes, que son más fecundos, longevos y con mayor capacidad de búsqueda⁴.
- II. Preservar la diversidad genética de las colonias de parasitoides. La diversidad genética de las colonias de parasitoides puede preservarse mediante el mantenimiento de líneas distintas, aisladas entre sí, para evitar el flujo de genes entre ellas^{4,5}.
- III. Reproducción de parasitoides en condiciones ambientales fluctuantes. Adaptar esta estrategia de cría en insectarios implica producir linajes más tolerantes a las fluctuaciones ambientales, lo que simula en parte las condiciones variables del campo^{4,5}.
- IV. Selección artificial hacia parasitoides de mayor tamaño. Basándonos en que hay variabilidad genética en las poblaciones silvestres, se debe iniciar un proceso de selección artificial cuyo objetivo sea aumentar sistemáticamente la prevalencia de los genes asociados con cuerpos de mayor talla^{4,5}.
- V. Monitorear la calidad de los parasitoides producidos en el insectario. El monitoreo permite garantizar su viabilidad, mantener su comportamiento funcional, prevenir problemas genéticos y asegurar su tolerancia ambiental, lo que garantiza que los insectos liberados cumplan con los estándares necesarios para maximizar su eficiencia en el campo⁶.

Conclusiones

Ante la inminente disminución de la efectividad de los parasitoides en el modelo agrícola actual y los posibles efectos negativos sobre la seguridad alimentaria del país, resulta urgente que las colonias mantenidas en laboratorios adopten las prácticas mencionadas previamente. La implementación de estas prácticas podría ayudar a mitigar el reto actual que enfrenta la agricultura mexicana. Dado que el cambio climático tendrá un impacto global, las propuestas aquí presentadas podrían ser aplicables en otras regiones del mundo.

Referencias bibliográficas

1. Arredondo, H. C., Tamayo, F., & Rodríguez, L. A. (2020). *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades*. Biblioteca Básica de Agricultura.
2. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Panorama Agroalimentario 2022*. www.gob.mx/siap/documentos/panorama-agroalimentario-2021?idiom=es
3. Furlong, M. J., & Zalucki, M. P. (2017). Climate change and biological control: the consequences of increasing temperatures host-parasitoid interactions. *Current Opinion in Insect Science*, 20: 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.03.006>.
4. Resh, V. H., & Cardé, R. T. (2009). *Encyclopedia of insects*. Academic press, USA.
5. Leung, K., Ras, E., Ferguson, K. B., Ariëns, S., Babendreier, D., Bijma, P., Bourtzis, K., Brodeur, J., Bruins, M. A., Centurión, A., Chattington, S. R., Chinchilla-Ramírez, M., Dicke, M., Fatouros, N. E., González-Cabrera, J., Groot, T. V. M., Haye, T., Knapp, M., Koskinioti, P., Hesran, S. L., Lyrakis, M., Paspati, A., Pérez-Hedo, M., Plouvier, W. N., Schlötterer, C., Stahl, J. M., Thiel, A., Urbaneja, A., Zand, L. van de, Verhulst, E. C., Vet, L. E. M., Visser, S., Werren, J. H., Xia, S., Zwaan, B. J., Magalhães, S., Beukeboom, L. W., & Pannebakker, B. A. (2020). Next-generation biological control: the need for integrating genetics and genomics. *Biological Reviews*, 95(6), 1838-1854. <https://doi.org/10.1111/brv.12641>
6. Van Lenteren, J. C. (2003). *Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures*. Cabi Publishing.



Control biológico de una plaga de frutillas en México: un caso de éxito de manejo agrícola frente al cambio climático

Agustín Jesús Gonzaga-Segura^{1,3*}, Jaime González-Cabrera², Víctor Rogelio Castrejón-Gómez³

¹Laboratorio de Ecoetología de Insectos, Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ²Departamento de Control Biológico, Centro Nacional de Referencia de Control Biológico y ³Laboratorio de Ecología Química de Insectos del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN.

*jgonzaga8603@gmail.com

Resumen

El uso de insumos químicos a nivel mundial es imperativo para mejorar la producción de alimentos. Sin embargo, estas prácticas tienen un impacto perceptible en el cambio climático global. Para mitigar los efectos negativos del uso agrícola de derivados químicos, se destaca el control biológico como alternativa para el manejo de plagas. El uso de la avispa parasitoide *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae), es un caso exitoso en México del control biológico de la mosca del vinagre de las alas manchadas *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae), una plaga importante de las frutillas, porque liberar a este parasitoide en campos agrícolas se reduce hasta 50 % de la plaga, lo que permite disminuir el uso de insecticidas químicos con repercusiones en el desarrollo sostenible y las buenas prácticas del manejo ambiental.

Palabras clave: agroecología, insectos benéficos, seguridad alimentaria.

Introducción

A nivel mundial, el cambio climático es el principal riesgo ambiental al que se enfrenta la humanidad. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) registró en el 2024 una temperatura 1.5 °C más alta que en épocas preindustriales¹. Este fenómeno ha perjudicado la producción de alimentos², lo cual es alarmante si se considera, además, que en 2050 la población humana mundial será de 9 000 millones³, lo que pone en

riesgo la seguridad alimentaria y nos enfrenta a la necesidad de producir una mayor cantidad de alimentos. En los sistemas agrícolas, se ha optado por el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos⁴, sin embargo, estas prácticas perjudican al ambiente y a la salud humana y, además, generan aproximadamente 24 % de gases invernadero⁵. Se estima que el uso de plaguicidas a nivel mundial es de 3.5 millones de toneladas⁶, mientras que, en México, con 32 millones de hectáreas para la agricultura, se utilizan cerca de 2 kg de plaguicidas por hectárea⁷. Por lo tanto, se requieren cambios en la forma de producir alimentos y la implementación de estrategias sostenibles y amigables con el medio ambiente que disminuyan las consecuencias del cambio climático y provean seguridad alimentaria. En este aspecto, el control biológico, que se define como el uso de insectos benéficos para el control natural de insectos plaga⁸, puede ser una alternativa viable y sostenible para los agroecosistemas.

Las frutillas, como arándanos, frambuesas, fresas y zarzamoras (figura 1a) son el principal producto mexicano de exportación que supera incluso a la cerveza y al tequila⁹. El país produce entre 450 000 y 550 000 toneladas de frutillas por año, lo que equivale a un poco más de 700 millones de dólares y a 500 000 empleos directos en veintidós estados¹⁰. Sin embargo, la producción de frutillas se ve afectada por plagas agrícolas que causan daño directo. A nivel mundial, la principal plaga de las frutillas es el insecto conocido como mosca del vinagre de alas manchadas, *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) (figura 1b), originaria de Asia y actualmente presente en América y Europa; en particular, en México se detectó por primera vez en el año 2011¹¹.



Figura 1. Vista general de una parcela de zarzamora en Cuauhtémoc, Colima (a), donde se observa la mosca del vinagre, *Drosophila suzukii* (b) y la fruta dañada por esta plaga (c).

D. suzukii se considera de alto riesgo para la industria mundial de frutillas, lo que ocasiona pérdidas de hasta el 100 % en las parcelas agrícolas (figura 1c). Para controlar esta plaga, el método principal es el uso de plaguicidas químicos; sin embargo, las consecuencias de utilizarlos son el daño al medio ambiente y a la salud humana porque la fruta puede estar contaminada por los insecticidas utilizados; además, se ha demostrado que estos productos no logran un buen control de esta plaga¹². Por lo anterior, desde la aparición de *D. suzukii* en México se están evaluando métodos ecológicos y sustentables para el combate de la mosca; entre los que se encuentra el denominado control biológico¹³. A partir de los primeros estudios, se ha observado que el principal insecto benéfico que ataca a *D. suzukii* es la avispa *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) (figura 2a), un parasitoide *D. suzukii*.

En México, la avispa *T. drosophilae* se detectó como enemigo natural que ataca las pupas de *D. suzukii* (figura 2b) en campos de frutillas de Colima y Jalisco entre 2013 y 2015. Como resultado de esta investigación, se implementó su reproducción en condiciones de laboratorio en 2015, en el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB) en Tecomán, Colima, con la finalidad de establecer una cría masiva de este insecto¹⁴.

Actualmente, el uso de *T. drosophilae* para el control de la mosca *D. suzukii* está produciendo buenos resultados en la producción de frutillas. En parcelas agrícolas de Jalisco, se ha controlado hasta el 50 % de esta mosca, liberando 4500 adultos de *T. drosophila* por hectárea cada 15 días durante la fructificación¹⁵. Este tipo de prácticas agrícolas sustentables y amigables con el medio ambiente ha funcionado como método de control de insectos plaga fuera y dentro de los cultivos de frutillas, lo que permite reducir el uso de insecticidas químicos y favorecer la cosecha de productos más saludables.

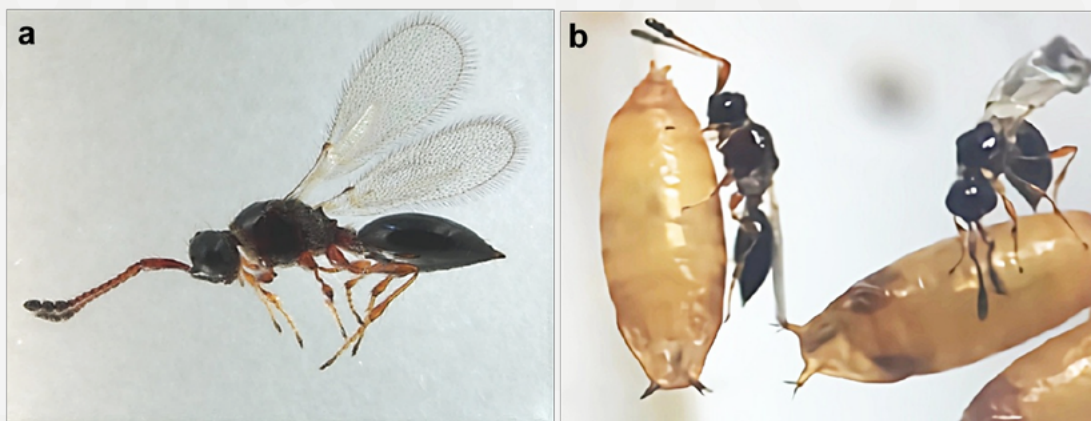


Figura 2. Parasitoide *Trichopria drosophilae* (a) y su ataque a pupas de *Drosophila suzukii* (b).

Perspectivas

El uso de *T. drosophilae* es una estrategia biológica que ha dado resultados importantes para el control de *D. suzukii*. Debido a este manejo, la industria de frutillas en México sigue creciendo, genera más empleo y permite mayor rentabilidad del cultivo. Este tipo de estrategias se puede copiar hacia otros cultivos de importancia agrícola, lo que permitiría tener agroecosistemas más sostenibles y reducir el uso de insecticidas. Hoy en día, el control biológico es una herramienta importante para el manejo de plagas agrícolas, además que su uso es

importante para la salud de los consumidores y el ambiente. Su empleo mitiga el impacto del cambio climático al reducir en 50 % la aplicación de insecticidas en campo abierto, y en 90 % en invernaderos¹⁶.

Referencias bibliográficas

1. World Meteorological Organization. (2025). *wmo confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level*. <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>
2. Owino, V., Kumwenda, C., Ekesa, B., Parker, M. E., Ewoldt, L., Roos, N., Lee, W. T., & Tome, D. (2022). The impact of climate change on food systems, diet quality, nutrition, and health outcomes: A narrative review. *Frontiers in Climate*, 4, 941842. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.941842>
3. United Nations. (2011). *World Population Prospects: The 2010 Revision: Volume I: Comprehensive Tables*. <https://doi.org/10.18356/08b807d4-en>
4. Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Regional Office for Latin America and the Caribbean*. <https://www.fao.org/americas/en>
6. Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Singh Sidhu, G. P., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., Parihar, R. D., Dar, O. I., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1, 1446. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
7. Calderon, R., García-Hernández, J., Palma, P., Leyva-Morales, J. B., Zambrano-Soria, M., Bastidas-Bastidas, P. J., & Godoy, M. (2022). Assessment of pesticide residues in vegetables commonly consumed in Chile and Mexico: Potential impacts for public health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 108(1), 104420. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104420>
8. DeBach, P. (1964). *Biological Control of Insect Pests and Weeds*. Chapman and Hall.
9. Hernández, Enrique. (2023, 24 de abril). Berries superan a la cerveza y el tequila: son el alimento mexicano con más ventas al mundo. *Forbes*. <https://www.forbes.com.mx/berries-superan-a-la-cerveza-y-el-tequila-son-el-alimento-mexicano-con-mas-ventas-al-mundo/>
10. Méxicoport. (2023, 13 de julio). Alcanza exportación de berries los cuatro mil 700 millones de dólares. <https://mexicoport.com/alcanza-exportacion-de-berries-los-cuatro-mil-700-millones-de-dolares/>
11. Centre for Agriculture and Biosciences International. (2014). Crop protection compendium. Data sheets: *Drosophila suzukii*.
12. DiGiacomo, G., Hadrich, J., Hutchison, W. D., Peterson, H., & Rogers, M. (2019). Economic impact of spotted wing drosophila (Diptera: Drosophilidae) yield loss on Minnesota raspberry farms: a grower survey. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), 1-6. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz022>.
13. González-Cabrera, J., Moreno-Carrillo, G., Sánchez-González, J. A., Mendoza-Ceballos, M. Y., & Arredondo-Bernal, H. C. (2019). Single and combined release of *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera:

- Diapriidae) to control *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Neotropical Entomology*, 48(6), 949-956. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00707-3>
14. González-Cabrera, J., Sánchez-González, J. A., Fuentes-Guardiola, L. T., Moreno-Carrillo, G., Córdoba-Urtiz, E. G., Cobián-Castellanos, R., Mendoza-Ceballos, M. Y., García-García, R. E., & Arredondo-Bernal, H. C. (2022). *Técnicas para la reproducción masiva y liberación en campo de Trichopria drosophilae* (Perkins), parasitoide de la mosca del vinagre de alas manchadas. www.gob.mx/senasica/documentos/manuales-cnrcb
 15. González-Cabrera, J., Moreno-Carrillo, G., López-Juárez, A. A., Anguiano-Amezcu, J. A., Sánchez-González, J. A., Mendoza-Ceballos, M. Y., & Arredondo-Bernal, H. C. (2023). Laboratory and field performance of *Trichopria drosophilae* reared on *Drosophila melanogaster* and *D. suzukii*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 26(2), 102091. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2023.102091>
 16. Bale, J. S., van Lenteren, J. C, & Bigler, F. (2008). Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363(1492), 761-776. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>



Sinantropía del género *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae): una invasión exitosa a ambientes antropizados

Dulce Ocampo¹, Francisco Riquelme^{1*}, Leticia Valencia-Cuevas²

¹Laboratorio de Sistemática Molecular, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos y ²Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

* francisco.riquelme@uaem.mx

Resumen

El género *Loxosceles* agrupa especies de arañas de importancia médica toxicológica. De comportamiento crepuscular y retraído, depredadores oportunistas y de aptitud sinantrópica, no suelen ser agresivas con humanos. A pesar de su naturaleza tóxica, su mordedura tiende a ser accidental. En América, *Loxosceles* se distribuye predominantemente en regiones tropicales y subtropicales, mostrando una rápida adaptación a ecosistemas perturbados por actividad humana. Recientemente, se observa un mayor rango de distribución de *Loxosceles* asociado a alteraciones climáticas. En un escenario de cambio climático acelerado, se espera un incremento en la frecuencia de mordedura de estas arañas, con afectaciones en la salud pública.

Palabras clave: araña violinista, antropización, cambio climático, salud pública.

Introducción

Las arañas popularmente conocidas como reclusas, pardas, segadoras, rinconeras o violinistas, por su característica forma del prosoma que semeja un violín, pertenecen al género *Loxosceles* Heineken & Lowe, 1832.¹ Las especies de *Loxosceles* son de talla pequeña, miden entre 1 y 5 cm de largo, con patas largas y relativamente delgadas, y seis ojos dispuestos en un patrón distintivo de tres díadas en forma de U^{1,2}. La mordedura de estas arañas provoca un síntoma específico conocido como loxoscelismo^{2,3,4}. Este es un cuadro tóxico grave, algunas veces letal, que tiene efectos hemolíticos, vasculíticos, coagulantes y necrosantes^{4,5,6}.

Las especies del grupo de *Loxosceles reclusa* (*sensu lato*)⁷ son responsables de la mayoría de los casos de intoxicación por mordedura de araña en América^{5,6,7}. Temible por la intoxicación que le precede, frecuentemente se diagnostica loxoscelismo en zonas donde no hay registro de estas arañas o por una sobreinterpretación de los síntomas clínicos.² Todas las especies de *Loxosceles* presentan cierto grado de sinantropía, es decir, tienen la capacidad de sobrevivir y adaptarse a ecosistemas antropizados, donde el territorio, el paisaje y el entorno natural ha sido transformado por la actividad humana, tales como zonas urbanas, suburbanas y rurales². De comportamiento crepuscular y huraño, es común encontrar estas arañas agazapadas en espacios oscuros, secos e inactivos en ambientes antropizados^{1,2,3}, como jardines, cultivos, suelos, patios, almacenes, basureros, zotehuelas, tejados, armarios, alcobas, contenedores, maceteros, zapateras, cañerías, entre rocas, ruinas, escombros, chatarra, leños, zafras, grietas, cascotes, coladeras, pozos y rincones (figura 1).



Figura 1. Araña del género *Loxosceles*, vista dorsal. Abajo: arañas *Loxosceles* in situ.

La distribución global de *Loxosceles* incluye África, América, Australia y ciertas regiones de Asia y Europa^{8,9}. En América, el género se encuentra predominantemente en regiones tropicales y subtropicales áridas, semiáridas y húmedas de la parte Centro-Sur de Norteamérica, Centroamérica, Las Antillas y Sudamérica^{6,7,8,9}. En Norteamérica, *Loxosceles* se encuentra desde el medio este y sureste de los Estados Unidos hasta el norte,

centro y sur del territorio mexicano^{8,9}. En la región neotropical, incluyendo el centro y sur de México, Centroamérica, Las Antillas y Sudamérica, se han descrito cerca de 102 especies^{6,7,8,9}. En México, se conocen 39 especies distribuidas entre el norte y centro del territorio^{1,8,9}, donde predominan ecosistemas de selva seca, matorral xerófilo, pastizales y selva premontana. Existen otros registros de *Loxosceles* en la selva tropical húmeda al sur de México. *L. reclusa* se considera una especie introducida a México desde el sureste de los Estados Unidos¹. En años más recientes, algunas especies nativas del norte de México del grupo de *L. reclusa* se reportan en territorios más sureños, cuyo registro anteriormente se desconocía^{8,9}.



Figura 2. Mapa de la distribución del género *Loxosceles* en América. Abajo: análisis comparativo de la ocurrencia del género *Loxosceles* en los últimos cuarenta años con datos recuperados de GBIF (2024), wsc (2024), y adicionalmente Gersch & Ennik (1983) y Binford et al. (2008). Abajo: gráfica de registros de especies por año hasta diciembre de 2024.

En la figura 2, se observa la distribución actual del género *Loxosceles* en América, basado en datos obtenidos de World Spider Catalog 2024⁸, la librería de datos GBIF 2024⁹ y, adicionalmente, Gertsch & Ennik¹ y Binford et al.⁷ La mayor distribución se muestra en la porción más sureña de Estados Unidos, así como en el norte y centro de México, con climas cálidos y temperaturas promedio anuales que superan los 18 °C, incluso en invierno. Otros estudios han analizado el potencial de distribución de *Loxosceles* en el territorio de los Estados Unidos, usando a *L. reclusa*, bajo escenarios de cambio climático¹⁰. Los datos de distribución potencial predicen que la colocación de *L. reclusa* se ampliará significativamente hacia el norte, alcanzando regiones más septentrionales¹⁰. Aunque se observa una menor abundancia en Centroamérica y Sudamérica^{7,8,9}, la distribución de *Loxosceles* tiende a incrementarse en territorios con climas más tropicales. Esto sugiere que *Loxosceles* prefiere un hábitat con una estacionalidad marcadamente cálida, con largos periodos de estiaje e inviernos cortos. Predice además una respuesta adaptativa favorable ante el aumento de la temperatura promedio global^{11,12}.

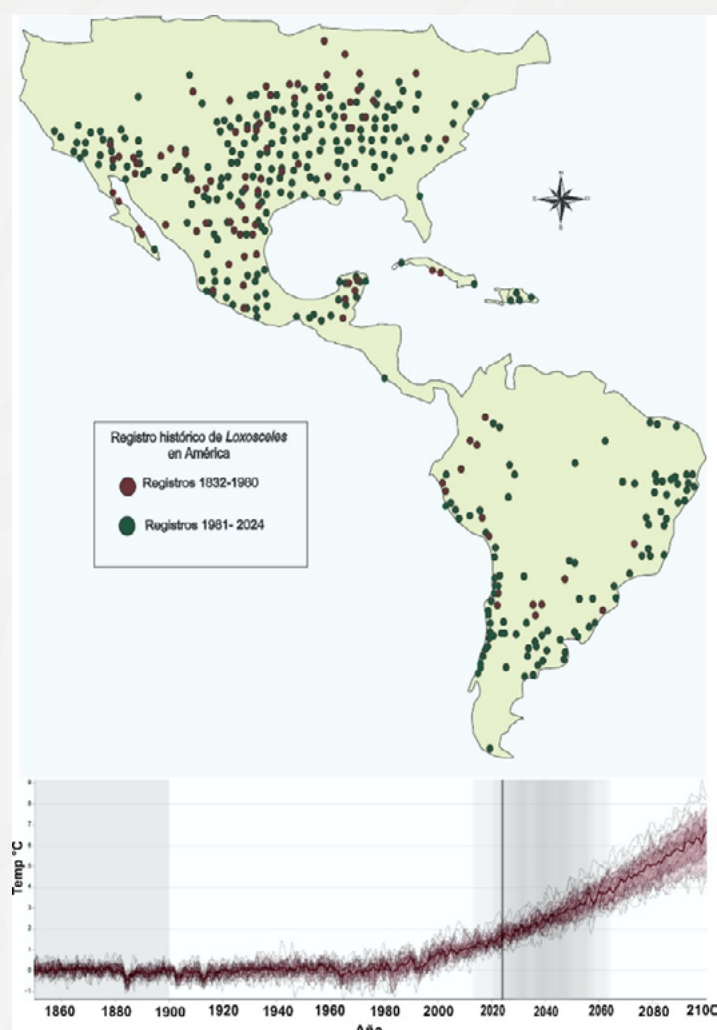


Figura 3. Registro histórico del género *Loxosceles* en América con datos de GBIF (2024) y wsc (2024). Abajo: gráfica de registro histórico de temperatura para América proyectados hasta el año 2100 con datos de World Meteorological Organization (2025) y Ripple et al. (2024).

La figura 3 muestra el registro histórico de *Loxosceles* en América desde los primeros que datan de 1832 hasta diciembre de 2024^{8,9}. Adicionalmente, en la figura 3 (abajo) se muestra la curva de crecimiento histórico de la temperatura promedio para América, proyectada hasta el año 2100^{13,14}.

Los factores ambientales son predictores de la distribución de los organismos en los ecosistemas, como el clima. El cambio climático está asociado directa o indirectamente a la disminución de la biodiversidad^{11,12}. Históricamente, los años más recientes son considerados entre los más cálidos en nuestro planeta, registrándose un incremento significativo en las temperaturas promedio anuales^{12,13,14}. Las emisiones de combustibles fósiles han alcanzado su máximo histórico y en julio de 2024 se registraron los tres días más calurosos de la historia^{13,14}. Los datos actuales predicen un calentamiento máximo de unos 2.7 °C para 2100^{13,14}. Asociada a esta alteración ambiental global, se ha calculado que la pérdida de la biodiversidad aumentará entre 70 % a 90 %¹¹. Sin embargo, algunos grupos de animales están adaptándose a estas variaciones de temperatura¹⁵, como los artrópodos terrestres, entre los que destacan los arácnidos e insectos. Estos están sobreviviendo a inviernos más cortos y cálidos, incrementando la frecuencia de su ciclo reproductivo, desplazándose a nuevas áreas de distribución e interactuando en ambientes antropizados que favorecen su sobrevivencia y reproducción, donde encuentran refugio y alimento. En consecuencia, ha aumentado también su interacción con poblaciones humanas, tal como ocurre con *Loxosceles*²⁻⁶.

El impacto del cambio climático y la antropización en la distribución de *Loxosceles* se encuentra escasamente documentado. Por ello, existen pocos datos sobre su nicho térmico. Las arañas tienden a elegir sus zonas de alimentación, refugio y reproducción en función de su tolerancia térmica⁵. Sin embargo, los datos actuales disponibles de su distribución^{8,9} (figuras 2 y 3), sugieren que las poblaciones de *Loxosceles* han respondido favorablemente ante estas fluctuaciones del clima, que incluye una tendencia a mayores temperaturas anuales y al cambio acelerado del paisaje^{12,13,14}. Esta respuesta positiva le ha permitido ampliar su área de distribución, cruzando de ambientes naturales a ambientes perturbados por la actividad humana. Esto es consistente con datos de estudios sobre el efecto del cambio climático global en especies de animales venenosos de ambientes terrestres^{10,15}. En la figura 2, se observa un análisis comparativo de la ocurrencia del género *Loxosceles* en los últimos cuarenta años^{8,9}. El número de registros ha aumentado significativamente. Entre las poblaciones de arañas con una historia adaptativa exitosa debe incluirse el clado *Loxosceles*, cuya área de distribución se ha ampliado a las urbanas, suburbanas y rurales en ambientes tropicales de Norteamérica, incluyendo México, cuya temperatura promedio anual tiende a incrementarse^{13,14}. Los datos sugieren que las temperaturas extremas y el cambio climático global^{11,12,13,14} pueden afectar significativamente la distribución de especies de animales tóxicos, ampliando su distribución, antes restringida local o regionalmente^{10,11,12,13,14,15}. Así, la frecuencia del contacto entre arañas del género *Loxosceles* y las poblaciones humanas tenderá a aumentar con repercusiones en la economía y gestión de la salud pública.

Referencias bibliográficas

1. Gertsch, W. J., Ennik, F. (1983). The spider genus *Loxosceles* in North America, Central America and the West Indies (Araneae, Loxoscelidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 175, 1-360.
2. Vetter, R. S. (2008). Spiders of the genus *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae): a review of biological, medical and psychological aspects regarding envenomations. *The Journal of Arachnology*, 36(1), 150-163. <https://doi.org/10.1636/RSt08-06.1>
3. Gremski, L., Trevisan-Silva, D., Ferrer, V., Matsubara, F., Meissner, G., Martins, A., Vuitika, L., Dias-Lopes, C., Ullah, A., De Moraes, F., Chávez-Olórtegui, C., Barbaro, K., Murakami, M., Arni, R., Senff-Ribeiro, A., Chaim, O., & Veiga, S. (2014). Recent advances in the understanding of brown spider venoms: From the biology of spiders to the molecular mechanisms of toxins. *Toxicon*, 83(1), 91-120. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2014.02.023>
4. Swanson, D. L., & Vetter, R. S. (2006). Loxoscelism. *Clinics in Dermatology*, 24(3), 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2005.11.006>
5. Canals, M., Alfaro, C., Veloso, C., Torres-Contreras, H., & Solís, R. (2013). Desiccation tolerance and thermal niche overlap between the corner spider *Loxosceles laeta* and a potential biological control, the tiger spider *Scytodes globula*. *Revista Ibero-Latinoamericana de Parasitología*, 72(1), 52-60.
6. Araujo, S. C., Castanheira P., Alvarenga, L. M., Mangili, O. C., Kalapothakis, E., Chávez-Olórtegui, C. (2003). Protection against dermonecrotic and lethal activities of *Loxosceles intermedia* spider venom by immunization with a fused recombinant protein. *Toxicon*, 41(3), 261-267. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(02\)00282-9](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(02)00282-9)
7. Binford G. J., Callahan M. S., Bodner M. R., Rynerson M. R., Núñez P. B., Ellison C. E., & Duncan, R. P. (2008). Phylogenetic relationships of *Loxosceles* and *Sicarius* spiders are consistent with Western Gondwanan vicariance. *Molecular Phylogenetic Evolution*, 49(2), 538-53. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.08.003>
8. Natural History Museum Bern. (2024). *World Spider Catalog: Version 26*. <https://doi.org/10.24436/2>
9. Global Biodiversity Information Facility. (2024). *GBIF Backbone Taxonomy* [Registros en línea]. <https://doi.org/10.15468/39omei>
10. Saupe, E. E., Papes, M., Selden, P. A., & Vetter, R. S. (2011). Tracking a medically important spider: climate change, ecological niche modeling, and the brown recluse (*Loxosceles reclusa*). *PloS one*, 6, e17731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017731>
11. World Wide Fund. (2019). *Clima, Naturaleza y un Futuro con 1.5°C. Climate Energy Practice*. Ginebra, Suiza. http://wwf.panda.org/our_work/climate_and_energy/climate_nature_future_report
12. Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (2007). *Cambio climático: informe de síntesis. contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC.
13. World Meteorological Organization. (2025). *Weather and Climate Extremes Archive*. <https://wmo.asu.edu/world-meteorological-organization-global-weather-climate-extremes-archive>

14. Ripple, W. J., Wolf, C.; Gregg, J. W., Rockström, J., Mann, M. E., Oreskes, N., Lenton, T. M., Rahmstorf, S., Newsome, T. M., Xu, C., Svenning, J. C., Cardoso Pereira, C., Law, B. E., & Crowther, T. W. (2024). The 2024 state of the climate report: Perilous times on planet Earth. *BioScience*, 74(12), 812-824. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae087>
15. Needleman, R. K., Neylan, I. P., & Erickson, T. (2018). Potential environmental and ecological effects of global climate change on venomous terrestrial species in the wilderness. *Wilderness & Environmental Medicine*, 29(2), 226-238. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2017.11.004>