



# CIENCIAUANL

Revista de divulgación científica y tecnológica  
de la Universidad Autónoma de Nuevo León



- **Industria del nopal, hasta la última gota**
- **Calefacción solar con almendros**
- **Fuerza magnética en la limpieza del aire**
- **Metales pesados en la bahía de Acapulco**



Año 27,  
Número 126  
julio -agosto 2024



Una publicación bimestral de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Santos Guzmán López  
Rector

Dr. Juan Paura García  
Secretario general

Dr. Juan Manuel Alcocer González  
Secretario de investigación científica y desarrollo tecnológico

Dr. Guillermo Elizondo Riojas  
Director Ciencia UANL

Melissa del Carmen Martínez Torres  
Editora

#### Consejo Editorial

Dr. Sergio Estrada Parra (Instituto Politécnico Nacional, México) /  
Dr. Miguel José Yacamán (Universidad de Texas, EUA) / Dr. Juan Manuel Alcocer González (Universidad Autónoma de Nuevo León, México) /  
Dr. Bruno A. Escalante Acosta (Instituto Politécnico Nacional, México)

Redes y publicidad: Jessica Martínez Flores  
Diseño: Orlando Javier Izaguirre González  
Corrector de inglés: Mariana Sofía Saucedo Leal  
Corrección: Luis Enrique Gómez Vanegas  
Asistente administrativo: Claudia Moreno Alcocer  
Portada: Francisco Barragán Codina  
Webmaster: Mayra Silva Almanza

Ciencia UANL, Año 27, N° 126, julio-agosto de 2024. Es una publicación bimestral, editada y distribuida por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Dirección de Investigación. Domicilio de la publicación: Av. Manuel L. Barragán 4904, Campus Ciudad Universitaria, Monterrey, N.L., México, C.P. 64290. Teléfono: + 52 81 83294236, <https://cienciauanl.uanl.mx>, [revista.ciencia@uanl.mx](mailto:revista.ciencia@uanl.mx). Editora responsable: Melissa del Carmen Martínez Torres. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2021-060322550000-102, Licitud de Título y Contenido: 14914, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor; ISSN-E: en trámite. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: 1437043. Responsable de la última actualización de este número: Melissa del Carmen Martínez Torres. Impresa por: Serna Impresos, S.A. de C.V., Vallarta 345 sur, Centro, C.P. 64000, Monterrey, Nuevo León, México. Fecha de terminación de impresión: 01 de julio de 2024, tiraje: 1,400 ejemplares. Fecha de última modificación: 01 de julio de 2024.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Prohibida su reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido editorial de este número.

Publicación indexada al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, LATINDEX, CUIDEN, PERIÓDICA, Actualidad Iberoamericana, Biblat.

Impreso en México  
Todos los derechos reservados  
© Copyright 2024

## Ciencia UANL

### COMITÉ ACADÉMICO

#### CIENCIAS DE LA SALUD

*Dra. Lourdes Garza Ocañas*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS EXACTAS

*Dra. Ma. Aracelia Alcorta García*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS AGROPECUARIAS

*Dra. María Julia Verde Star*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS NATURALES

*Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS SOCIALES

*Dra. Veronika Sieglin Suetterlin*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

*Dra. María Idalia del Consuelo Gómez de la Fuente*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS DE LA TIERRA

*Dr. Carlos Gilberto Aguilar Madera*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

### COMITÉ DE DIVULGACIÓN

#### CIENCIAS DE LA SALUD

*Dra. Gloria María González González*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS EXACTAS

*Dra. Nora Elizondo Villarreal*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS AGROPECUARIAS

*Dr. Hugo Bernal Barragán*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS NATURALES

*Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS SOCIALES

*Dra. Blanca Mirthala Taméz Valdés*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

*Dra. Yolanda Peña Méndez*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

#### CIENCIAS DE LA TIERRA

*Dr. Héctor de León Gómez*  
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

# ÍNDICE

## 6 EDITORIAL

### 8 CIENCIA Y SOCIEDAD



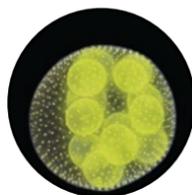
**¿Campos magnéticos?**  
Una propuesta innovadora para mejorar los procesos biológicos de limpieza del aire  
Mónica Cortés Castillo, Armando Encinas Oropesa, Sonia Lorena Arriaga García

### 16 OPINIÓN



**Arroyos de la bahía de Acapulco: principales acarreadores de metales pesados hacia el mar**  
Alejandro Hermelindo Ramírez Guzmán, Giovanni Hernández Flores, Jazmin Alaide López Díaz

### 24 EJES



**Rompiendo barreras celulares: métodos aplicados en la extracción de lípidos en microalgas**  
Luis Alfredo Ortega Clemente, Ivonne Mena Vázquez, Lorena Rodríguez Ramírez

### 32 SECCIÓN ACADÉMICA

33

**Formulación de una microemulsión elaborada con keroseno y surfactantes mono-ramnolípidos**  
Josefina Barrera Cortés, Perla Fabiola Pacheco Juárez, Marlen Hernández Hermenegildo

39

**ESAC: un paso más hacia la calefacción solar verde**  
Javier Melchor Trujeque-Gil, Octavio García Valladares, Geonel Rodríguez Gatorno, Milenis Acosta Díaz, Dallely Melissa Herrera Zamora

46

### CURIOSIDAD



**Transformando la industria del nopal: biorrefinerías y el camino hacia la bioeconomía circular**  
Kenia Aylín Carrillo Verástegui, Héctor M. Poggi Varaldo, Carlos Escamilla Alvarado

54

### AL PIE DE LA LETRA



**Energía en el siglo XXI**  
Héctor Mario Poggi-Varaldo

58

### CIENCIA DE FRONTERA



**El cuidado del ambiente desde una perspectiva holística: el enfoque de la doctora Leticia Durand Smith**  
María Josefa Santos-Corral

66

### SUSTENTABILIDAD



**La apicultura como práctica para la sustentabilidad**  
Pedro César Cantú-Martínez

77

### COLABORADORES

# 126

## EDITORIAL

Giovanni Hernández Flores\*

\* CONAHCyT-Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, México.  
Contacto: gherandez@conahcyt.mx

**A**ncestralmente el agua, la tierra, el aire y el fuego han sido considerados por la humanidad como elementos indispensables para que la vida de los organismos de este planeta pueda desarrollarse. El agua es, sin duda, uno de los ingredientes principales para que todas las reacciones bioquímicas puedan ser posibles. La tierra representa la fuente de nutrientes y minerales que alimentan de manera directa o indirecta a todos los organismos. El aire es en realidad una mezcla de gases en la que el oxígeno es el componente de interés para los organismos aerobios, mientras que el bióxido de carbono es utilizado por los organismos anaerobios y las plantas. Finalmente, el fuego hace alusión a un proceso de combustión a través del cual se produce energía luminosa o calorífica que puede ser empleada o convertida a otro tipo de energía aprovechable. En el caso de los organismos, la respiración –aerobia o anaerobia– es un proceso de oxidación, que no es otra cosa que una combustión lenta a través de la cual, los

organismos obtienen la energía para mantenerse vivos.

La disposición del agua de buena calidad, un suelo fértil y libre de contaminantes, el oxígeno como parte de una mezcla de aire no contaminado y la energía: son los ingredientes principales para prolongar la existencia de la humanidad. Uno solo o la combinación de menos de los cuatro elementos señalados no sostienen la vida. Lamentablemente, las actividades antrópicas y la falta de conciencia para aprovechar eficientemente los recursos naturales que nos brinda nuestro hogar han generado el deterioro de la calidad del agua, el desgaste o contaminación de los suelos agrícolas, la contaminación del aire y el agotamiento de fuentes energéticas.

La Asociación de Biotecnología, Ingeniería Ambiental y Energías Renovables, Asociación Civil



(ABIAER, AC), consciente de la problemática global que está enfrentando la sociedad, es una red de investigadores nacionales e internacionales que busca contribuir con propuestas científicas destinadas a un futuro sostenible. Además, está consciente de que la ciencia carece de sentido si no se difunde, divulga o aplica. La ciencia es universal y así mismo debe ser su acceso a ella. Los tecnicismos y palabras rimbombantes secuestran el conocimiento. La traducción del inglés al español, o mejor aún, independientemente del idioma, la traducción del lenguaje científico a un lenguaje coloquial y asequible es una de las claves para el empoderamiento universal de la ciencia.

Este número especial es una selecta compilación de investigaciones que fueron presentadas durante el Simposio Ambiente y Bioenergía celebrado en 2022 y organizado por la ABIAER, AC. En este evento se abordaron diferentes temáticas acerca de la problemática que enfrentamos relacionada con el agua, el suelo, el aire y, por supuesto, fuentes de energía alternas a los combustibles fósiles. Como resultado, algunos artículos dentro de este número especial comparten información valiosa. Por ejemplo, sobre cómo los arroyos juegan un papel preponderante en la movilidad de metales pesados en la bahía de Acapulco y que la contaminación no siempre tiene su origen por la acción y presencia de las personas.

Otro ejemplo es una investigación que propone el aprovechamiento integral del nopal. Es decir, como una fuente de alimento, producción de antioxidantes y su conversión a biocombustibles a través de conceptos vanguardistas como economía circular y biorrefinerías. Otra investigación que merece ser de dominio público es entender cómo un campo magnético contribuye con la eliminación de algunos contaminantes gaseosos del aire. Comentar en esta sección cada uno de los trabajos presentados en este número especial demora a los lectores para que vayan directamente a los artículos que sean de su interés.

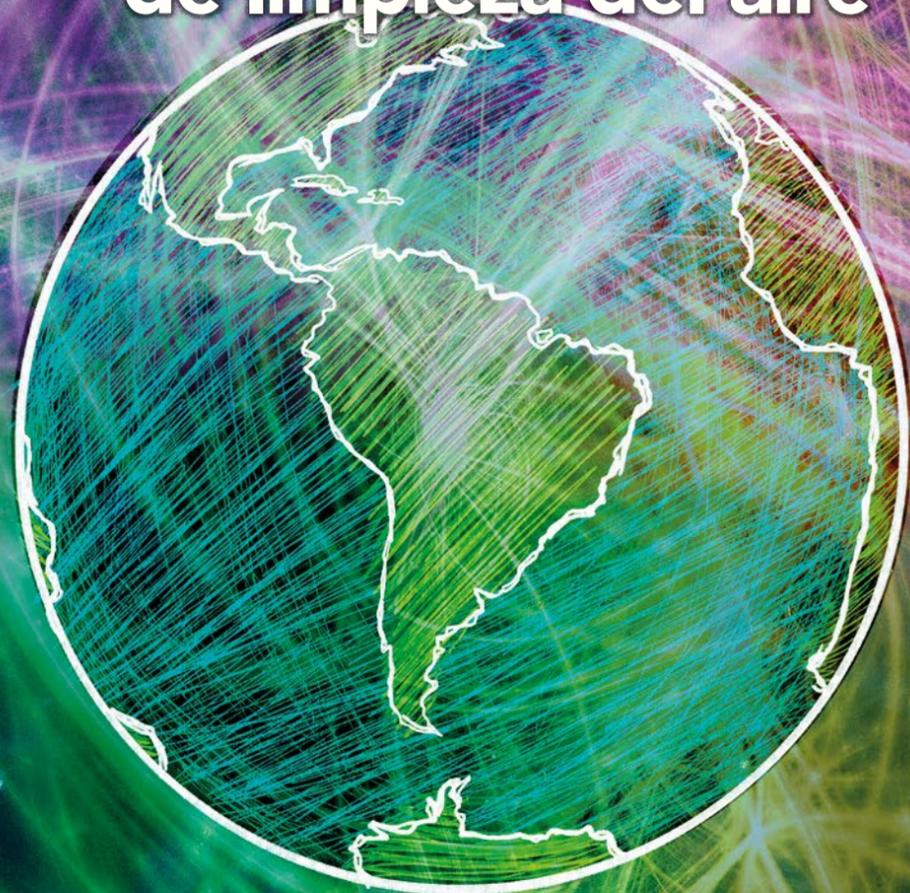
Finalmente, invitamos a todos los lectores de este número especial a sumar esfuerzos y tomar conciencia para hacer uso responsable de los recursos naturales que nos brinda la madre Tierra y que en su conjunto hacen posible la vida en nuestro planeta. Único planeta que es capaz de albergar vida, al menos hasta que se demuestre lo contrario.

Si tienes propuestas o inquietudes ambientales para compartir o discutir y te interesa contribuir con un mejor mañana, no dudes en afiliarte a la ABIAER, AC (<https://abiaer.com/>). Tus acciones o tu voz pueden marcar la diferencia para que la humanidad persista.

Descarga aquí nuestra versión digital.



# ¿Campos magnéticos? Una propuesta innovadora para mejorar los procesos biológicos de limpieza del aire



Mónica Cortés-Castillo\*, Armando Encinas-Oropesa\*, Sonia Lorena Arriaga-García\*

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.126.1>

\* Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica,  
San Luis Potosí, México.  
Contacto: [sonia@ipicyt.edu.mx](mailto:sonia@ipicyt.edu.mx)

## CAMPO MAGNÉTICO, GENERACIÓN Y SUS APLICACIONES

Un campo magnético (CM) es una región en donde se ejerce una fuerza de atracción o repulsión generada por un imán o por una bobina, los primeros se fabrican con tierras raras (neodimio y boro) o hexaferritas. Las bobinas, por su parte, están constituidas por un alambre conductor enrollado, por el cual debe circular una corriente eléctrica para crearlo. Nuestro planeta podría ser considerada el imán más grande derivado del CM que posee (0.25-0.65 Gauss), el cual es originado por el núcleo sólido y una zona rica en metales (hierro y níquel), en donde la fricción de partículas propicia el campo magnético, que al igual que cualquier otro, consta de dos polos: el norte y el sur.

El CM terrestre es muy importante, permite que la vida como la conocemos se desarrolle. Por ejemplo, nos sirve de protección contra la radiación proveniente del espacio, principalmente del Sol, además es aprovechado por algunos animales (mariposas monarcas, tortugas o aves) durante su fase de migración (figura 1).

El CM terrestre no es el único con grandes aplicaciones, en general, los campos magnéticos tienen empleo en la vida diaria, por ejemplo, en telecomunicaciones los podemos encontrar en las líneas de media y alta tensión, en transformadores eléctricos, en electrodomésticos (microondas, licuadoras, refrigeradores, computadoras, televisiones) y antenas de radiofrecuencia. Son importantes porque se utilizan en los sistemas de navegación, también se les puede usar en Medicina, Física y Astrofísica, así como en la ingeniería, Química, Ciencias de la Tierra y de los materiales, entre muchas más disciplinas. El área que vamos a tratar en este artículo se enfoca en el uso de CM en tecnologías de biorremediación, en la producción de bioenergía, en el tratamiento de agua residual y específicamente en la biorremediación de contaminantes del aire.

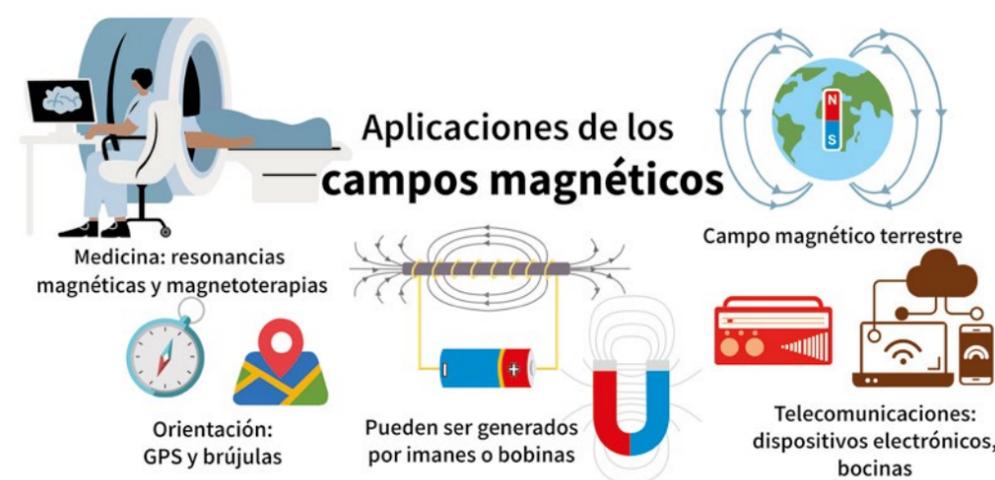


Figura 1. Campo magnético y sus aplicaciones.

La biotecnología es una interdisciplina que se enfoca en el uso de organismos vivos (células, bacterias y hongos, enzimas, etcétera), acoplados a tecnologías o métodos para resolver problemas de contaminación, producir compuestos o bienes de interés. Los campos magnéticos en biorremediación surgieron recientemente a manera de estrategia que busca estimular las actividades de los microorganismos y favorecer la eliminación de contaminantes en aire y agua o bien mejorar la generación de bioenergía. Tal es el caso del biohidrógeno (Arriaga *et al.*, 2023), o la obtención de biogás a partir de residuos orgánicos (Liu *et al.*, 2023). La exposición a CM de procesos biológicos de tratamiento de líquido se ha usado en el saneamiento de agua residual, la remoción de metales y de colorantes (Wang *et al.*, 2021). En investigaciones en suelos se han usado en la estimulación y crecimiento de plantas (Carbonell *et al.*, 2017) y remoción de contaminantes metálicos (Quan *et al.*, 2018).

Si bien la mayoría de las investigaciones están enfocadas en el saneamiento de agua, también existen, aunque escasos, estudios sobre el uso en el tratamiento de contaminantes gaseosos por medio de desarrollos biológicos, específicamente en la biofiltración de gases contaminantes (Quan *et al.*, 2018).

Dentro de los mecanismos que desencadenan el uso de CM en procedimientos biológicos (figura 2) está el incremento de la actividad enzimática, la aceleración de los procesos metabólicos, el aumento en las tasas de crecimiento microbianas y en la transferencia de masa de gases, por ejemplo, el oxígeno a las células microbianas, facilitando la respiración aeróbica. Estos campos también afectan la permeabilidad de las membranas celulares microbianas, lo que favorece el transporte de nutrientes, aumentando la producción de ATP y la actividad celular, todo esto contribuye a eficientizar la remoción de los contaminantes (Chen *et al.*, 2024).

Los CM ayudan a aumentar el crecimiento y selección de microorganismos específicos, permitiendo que sólo aquellos mejor adaptados crezcan y nos den más resultados (figura 2). Si bien la exposición de los microorganismos a CM puede ejercer influencia en su comportamiento, este efecto depende de muchos factores: el tipo (estático o variante en el tiempo) y la magnitud del campo magnético, las especies (bacteria u hongos), la temperatura, la duración de la exposición (minutos, horas, días) y los medios de cultivo (sales y minerales), entre otros.

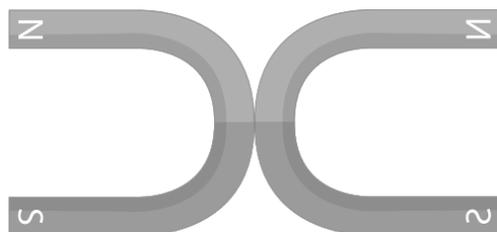


Figura 2. Rol de los CM en procesos de biorremediación.

### ACOPLAMIENTO DE UN PROCESO DE BIOFILTRACIÓN DE AIRE CON CAMPOS MAGNÉTICOS

La biofiltración es un tipo de biorremediación basada en el paso de una corriente de aire contaminado a través de un reactor que contiene microorganismos inmovilizados en un soporte poroso, éstos emplean los contaminantes como fuente de carbono y energía y lo transforman en dióxido de carbono y agua.

Podemos encontrar los contaminantes gaseosos en ambientes interiores y exteriores, se originan por una amplia gama de fuentes de emisión que incluyen industrias (petroquímica, alimentaria, textil), transporte, agricultura, productos de limpieza, entre otras. En IPICYT actualmente estamos estudiando los procedimientos de biotratamiento de aire con estimulación por campos magnéticos de baja intensidad suscitados por imanes y bobinas Helmholtz. Si bien la biofiltración de tolueno, hexano, acetato de etilo, metanol, entre otros ya se ha estudiado, el objetivo principal del proyecto es conocer el efecto del campo magnético en la estimulación de la actividad microbiana para mejorar el proceso de biodegradación de contaminantes gaseosos (acetato de etilo, como modelo), además de medir el efecto de parámetros: crecimiento de biomasa y contenido de exopolisacáridos (EPS), cuya función es formar y mantener la estructura de la biopelícula, además de promover la transferencia de electrones y degradación de contaminantes.

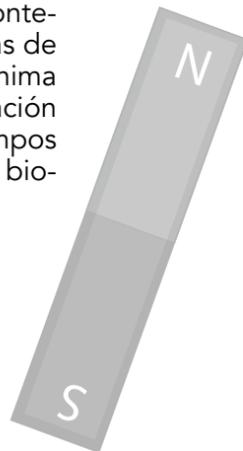
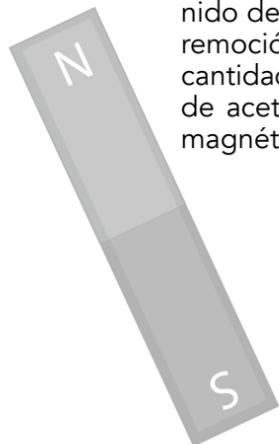


En la realización de este innovador proyecto se compararon tres sistemas de biofiltración idénticos con un volumen efectivo total de 1.1 L denominados R<sub>0</sub>, R<sub>10</sub> y R<sub>30</sub>. R<sub>0</sub> fue el reactor control sin exposición al campo magnético; R<sub>10</sub> se expuso a una densidad de flujo magnético de 10 militesla (mT) y R<sub>30</sub> a 30 mT. En el interior de los reactores se colocó perlita y lodo activado proveniente de una planta tratadora de aguas residuales ubicada en la ciudad de San Luis Potosí. Los biofiltros fueron alimentados con vapores de acetato de etilo y medio mineral con el objetivo de mantener las condiciones favorables para los microorganismos presentes encargados de realizar la biodegradación del contaminante gaseoso. El experimento completo se llevó a cabo durante un periodo de 97 días dividido en tres etapas: la primera correspondió a una carga de entrada (IL) de 120 g m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> seguida de 180 g m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> y concluyó con una IL de 220 g m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>. Durante el periodo de operación se empleó un equipo de cromatografía de gases que determinó las concentraciones de acetato de etilo.

En el análisis de contenido de biomasa y sólidos suspendidos volátiles se usó el método de peso seco estándar. Por último, para conocer la cantidad de contenido celular se extrajeron los exopolisacáridos en donde se tomó 1 g de muestra con perlita y biomasa (Liu y Fang, 2002), posteriormente fueron sonicadas por 7.5 min, seguido de centrifugación en frío a 4 °C por 20 min. Se continuó con la filtración con una membrana de diálisis y por último con la liofilización por 36 horas a fin de determinar el contenido celular en peso (mg EPS g<sup>-1</sup> de perlita).

El campo magnético fue generado mediante dos pares de bobinas en configuración Helmholtz, las cuales, al poseer las mismas dimensiones y estar separadas a una distancia igual al radio de éstas, ocasionan un CM homogéneo (Ramsden, 2011). En la medición de la intensidad del CM se utilizó un aparato especial llamado Teslámetro HT20. Al término de la investigación se demostró (tabla I) que la eficiencia de remoción (ER) y la capacidad de eliminación (CE) fueron ligeramente mayores en aquellos reactores expuestos a CM que en el control sin exposición a éste.

El reactor control sin exposición a CM (R<sub>0</sub>) alcanzó el menor contenido de biomasa (tabla II) y fue el que presentó las tasas más bajas de remoción de contaminantes, que se asocia directamente con la mínima cantidad de biomasa encontrada en el mismo para la biodegradación de acetato de etilo. Por el contrario, los reactores sujetos a campos magnéticos (R<sub>10</sub> y R<sub>30</sub>) presentaron mayores concentraciones de bio-



**Tabla I. Capacidad de eliminación, eficiencia de remoción por etapas para cada reactor. E1, corresponde a IL de 120 g m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; E2 a IL 180 g m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> y E3 a IL de 220 g m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.**

Etapa	CE, g m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>			ER, %		
	R0	R10	R30	R0	R10	R30
E1	112.2±7.6	109.8±7.8	111.7±4.2	97.1±2.8	98.6±1.07	98.8±0.78
E2	153.07±1.7	169.03±8.3	157.68±1.3	91.7±1	96.3±3.2	90.2±5.8
E3	203.2±6.8	204±1.1	203.6±1.2	95.4±2.7	95.06±2.1	93.9±3.1

masa. Por lo que se concluye que el CM estimula el crecimiento celular según se ha reportado en estudios previos al utilizar CM (Ludek, Vladimir y Jan 2002). La producción de EPS más alta se obtuvo en R<sub>30</sub> expuesto a 30 mT, por lo que, a mayor intensidad de CM, mayor producción de EPS.

**Tabla II. Valores de biomasa y contenido celular por biofiltro.**

Reactor	Biomasa, gVS g <sup>-1</sup> perlita	Contenido celular, mg EPS g <sup>-1</sup> perlita
R <sub>0</sub>	360.8	17.6
R <sub>10</sub>	436.4	17.8
R <sub>30</sub>	497.7	31

## CONCLUSIONES

La exposición al campo magnético en R<sub>10</sub> y R<sub>30</sub> generado por las bobinas Helmholtz estimuló a los microorganismos a consumir mejores cantidades de vapores de acetato de etilo obteniendo mayores eficiencias de remoción, capacidades de eliminación y aumento en la producción de biomasa. El rendimiento fue el siguiente: 30 mT > 10 mT > 0 mT.

Aunque el R<sub>10</sub> tiene mejores tasas de ER y EC, el R<sub>30</sub> fue el biorreactor que obtuvo mayor producción de EPS de 31 mg g<sup>-1</sup> de perlita y una significativa cuantificación de biomasa con 497.7 g VS g<sup>-1</sup> perlita seca, logrando que la exposición al campo magnético promueva varios pasos metabólicos de los microorganismos presentes en la degradación del gas contaminante. El aumento en la producción de EPS debido a la exposición de campo magnético obtenido en este estudio puede extrapolarse a procesos biológicos cuyo interés principal es la producción de biopolímeros a partir de la valorización de emisiones como la de acetato de etilo comúnmente encontrada en la industria de fabricación de pinturas (adhesivos y recubrimientos), en la industria farmacéutica, cosmética, y en la síntesis de polímeros biodegradables y sostenibles.

Además, de manera general aprendimos qué son los campos magnéticos, cómo se generan, en qué aplicaciones los encontramos, pero lo más importante es que, aunque no podemos verlos, todos los días los utilizamos y ahora estamos conscientes de su importancia.

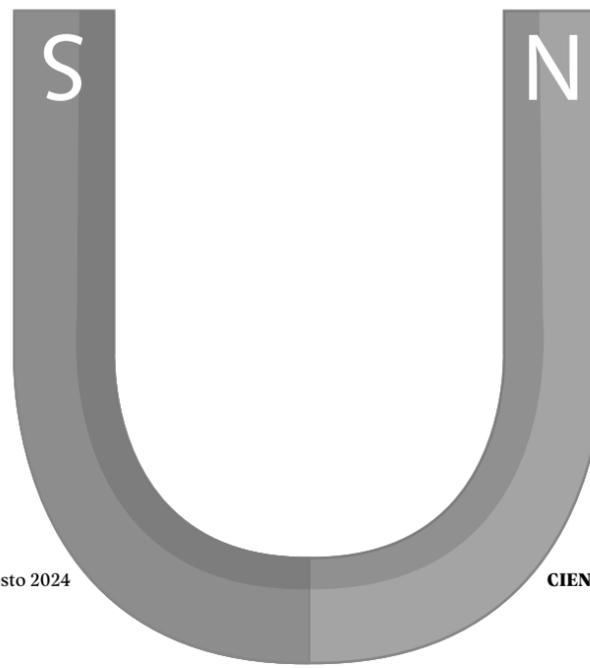
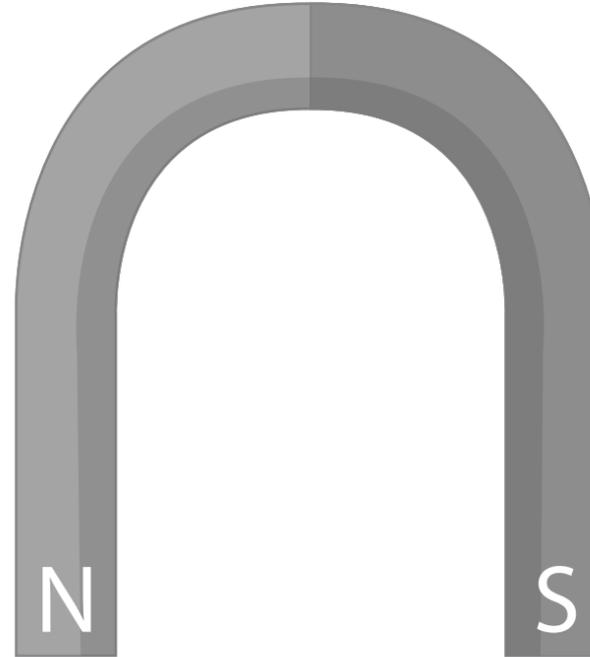
### INVESTIGACIÓN EN EL IPICYT

En el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), ubicado en la ciudad de San Luis Potosí, el grupo de trabajo de la doctora Sonia Arriaga, en conjunto con el doctor Armando Encinas y estudiantes, investigan el efecto del CM en fases de biodegradación de contaminantes del aire.

Si bien el proceso de biofiltración se utiliza para la biodegradación de contaminantes gaseosos, posee desventajas cuando se tratan contaminantes recalcitrantes o hidrofóbicos, el acoplamiento de campos magnéticos a los procesos de biofiltración aumenta el desempeño del tratamiento. Actualmente se realiza la investigación del efecto de CM para la biofiltración de vapores de acetato de etilo y hexano, en las cuales se han medido varios parámetros de respuesta: concentración de biomasa, viabilidad, coeficientes de partición, composición de la comunidad microbiana, entre otros.

### REFERENCIAS

Arriaga, Sonia, Carboni, María Federica, y Lens, Piet N.L. (2023). Effect of Static Magnetic Field Exposure on Biohydrogen Production via Dark Fermentation of Glucose, *Process Safety and Environmental Protection*, 176:375-88, Doi: 10.1016/j.psep.2023.06.022  
 Buchachenko, A.L. (2024). Enzymatic ATP Synthesis under Magnetic Control, in *Magnetic Effects Across Biochemistry, Molecular Biology and Environmental Chemistry*, Elsevier, 57-67.



Carbonell, María Victoria, Flórez, Mercedes, Martínez, Elvira, *et al.* (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos, *Intropica*, Doi: 10.21676/23897864.2282.  
 Chen, Sirui, Yamei, Jin, Na, Yang, Liwen, Wei, *et al.* (2024). Improving Microbial Production of Value-Added Products through the Intervention of Magnetic Fields, *Bioresource Technology*, 393.  
 Liu, Hong, y Fang, Herbert H.P. (2002). Extraction of Extracellular Polymeric Substances (EPS) of Sludges, *Journal of Biotechnology*, 95(3):249-56, Doi: 10.1016/S0168-1656(02)00025-1  
 Liu, Lijianan, Sining, Yun, Kaijun, Wang, Teng, Ke, *et al.* (2023). Enhanced Anaerobic Co-Digestion under a Magnetic Field by a Synergistic Host-Guest Strategy: Focusing on Accelerant, Biogas Yield, Fertilization and Coupled Effect, *Chemical Engineering Journal*, 476, Doi: 10.1016/j.cej.2023.146508  
 Ludek, Strásák, Vetterl, Vladimír, y Smarda, Jan. (2002). Effects of Low-Frequency Magnetic Fields on Bacteria Escherichia Coli, *Bioelectrochemistry*, 161-64.  
 Qu, Maomao, Jiamei, Chen, Qiquan, Huang, Jinliang, Chen, *et al.* (2018). Bioremediation of Hexavalent Chromium Contaminated Soil by a Bioleaching System with Weak Magnetic Fields, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 128:41-47, Doi: 10.1016/j.ibiod.2016.08.022  
 Quan, Yue, Hao, Wu, Chunyu, Guo, Yu, Han, *et al.* (2018). Enhancement of TCE Removal by a Static Magnetic Field in a Fungal Biotrickling Filter, *Bioresource Technology*, 259:365-72, Doi: 10.1016/j.biortech.2018.03.031  
 Ramsden, E. (2011). *Hall-Effect Sensors: Theory and Application*, Newnes, Elsevier.  
 Wang, Yilin, Xin, Gu, Jianing, Quan, Guohua, Xing, *et al.* (2021). Application of Magnetic Fields to Wastewater Treatment and Its Mechanisms: A Review, *Science of The Total Environment*, 773:145476, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145476

Recibido: 04/12/2023  
 Aceptado: 15/04/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.





# Arroyos de la bahía de Acapulco: principales acarreadores de metales pesados hacia el mar

Alejandro Hermelindo Ramírez-Guzmán\*

ORCID: 0000-0003-4446-0968

Giovanni Hernández-Flores\*

ORCID: 0000-0001-8464-832X

Jazmin Alaide López-Díaz\*

ORCID: 0000-0002-1557-8636

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.126.2>

\* Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, México.  
Contacto: halessandro2@hotmail.com, ghernandez@conahcyt.mx

En la última década se ha despertado un especial interés por la posible contaminación con metales pesados (MP) de la bahía de Acapulco, un destino turístico internacional (Bahena-Román *et al.*, 2021). Los MP son un grupo de elementos químicos, tóxicos para plantas, animales, microorganismos y, por supuesto, los humanos. El consumo o una exposición constante a éstos se traduce en afectaciones directas a la salud pública. El abanico de enfermedades que pueden ocasionar es extenso y depende del MP que estemos hablando. Algunos males asociados con ellos son dermatitis, gingivitis, saturnismo, convulsiones, cefaleas, gota, osteoporosis, depresión, infertilidad, problemas en el embarazo, abortos, mutaciones genéticas, cáncer y muchas otras alteraciones fisiológicas (Martínez-Castrejón *et al.*, 2022).

Sin embargo, para sorpresa, varios MP nos acompañan en la vida diaria y los encontramos dentro de nuestro hogar en pinturas, cubiertos, computadoras, televisiones e incluso medicamentos. En algún momento, estos objetos serán desechados y si no son manejados adecuadamente se convertirán en una fuente de contaminación de suelo y agua. Asimismo, no debemos olvidar que los MP pertenecían a la estructura de las rocas del subsuelo –antes de ser extraídos por las actividades mineras– o de los riesgos sobre los cuales construimos ciudades; estos últimos susceptibles a una disgregación por acciones naturales con una rapidez imperceptible en el reloj biológico humano.

Entonces, esto significa que existen dos posibles orígenes de los MP estudiados y reportados en el puerto de Acapulco: antrópico por actividades humanas o natural a través de los procesos de desgaste de las piedras. Por una cuestión de reputación –bien ganada–, siempre que se habla de contaminación por MP o por cualquier otro agente, se asume que es por actividades industriales o domésticas, por lo que es necesario aclarar que no siempre es culpa de nosotros.



## ¿QUÉ DEBEMOS ENTENDER COMO CONTAMINACIÓN?

Si queremos hablar de contaminación, debemos tener claro el significado de la palabra. Supongamos que hay una hoja de papel, blanca en su totalidad, sin usarse. Luego, alguien con un bolígrafo negro o de color marca un punto sobre la superficie. Ésta ya no será completamente blanca, la tinta modificó la condición original. Otro escenario puede ser que alguien derrame refresco

o café sobre ella. Al principio se observará humedad, una vez seca quedará una mancha y quizá cristales de azúcar sobre la superficie y tal vez con el paso de los días aparezca moho.

Un escenario que también se puede considerar es dejar esta hoja expuesta a la intemperie por un par de días. Una capa de polvo se depositará o algunos insectos se colocarán sobre ella e incluso defecarán ahí. En estos ejemplos: la tinta, el refresco y el café son componentes externos. Originalmente no estaban en el papel y son una consecuencia de la actividad humana. Por otro lado, el polvo, los insectos y sus heces también lo son, en este caso ninguna persona tuvo la culpa, pero sí la naturaleza. Indistintamente del origen, ambos son considerados impurezas.

Es decir, contaminar ocurre cuando componentes externos son incorporados de manera natural o por acciones humanas a un lugar donde no pertenecen y modifican el estado original; se reconocen al menos tres grandes grupos de éstos: físicos, químicos y biológicos. Por lo tanto, es crucial diferenciar e identificar el origen de los elementos incorporados.



### TE CUENTO QUE... LAS ROCAS PONEN SU GRANITO DE ARENA

Así es, literalmente, las rocas se desintegran y algunas participan en el surgimiento de las arenas. Este fenómeno recibe diferentes nombres: intemperización, meteorización, disgregación, desgaste, descomposición, destrucción o transformación –como se le quiera llamar–. La interacción de los riesgos con el aire, variaciones de temperatura, animales, microorganismos, personas y, por supuesto, el agua, es un suceso diario responsable de la formación de suelos y de la composición química acuática, contribuyendo, en algunos casos, con la liberación de MP y generando contaminación natural en los sitios donde se descomponen (Krauskopf y Bird, 2003).



### PERO ¿QUÉ SON LOS FAMOSOS METALES PESADOS?

Los MP son un grupo de elementos químicos que encontramos en la tabla periódica. Su primera característica es que son metales y, por lo tanto, conducen la electricidad. Entre los integrantes de este grupo se encuentran: cobre (Cu), hierro (Fe), aluminio (Al), bario (Ba), cobalto (Co), níquel (Ni), cromo (Cr), vanadio (V), plomo (Pb), mercurio (Hg), manganeso (Mn), magnesio (Mg), cadmio (Cd), zinc (Zn), estroncio (Sr), estaño (Sn), oro (Au), plata (Ag), arsénico (As), selenio (Se) y antimonio (Sb). En el caso de As, Se y Sb, ¡son, pero no son!, estos elementos son clasificados como metaloides, no obstante, por sus características químicas son aceptados en el grupo de los MP.

Ahora, cuando hablamos de MP, los metales a los que nos referimos tienen el adjetivo pesado, que los diferencia de los demás que no pertenecen a este grupo, por ejemplo, sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca). El adjetivo calificativo pesado tiene que ver con su densidad ( $\rho$ ), es decir, la relación que existe entre su masa y su volumen. Para pertenecer al grupo de MP no sólo tienen que ser metales, además deben tener una  $\rho \geq 5 \text{ g/cm}^3$ , un valor cinco veces superior al del agua pura,  $1 \text{ g/cm}^3$  (Mathuriya y Yakhmi, 2014).

En la forma sólida, como comúnmente conocemos a los MP, no son peligrosos y muchos están presentes en nuestra vida diaria. Sin embargo, se hacen invisibles cuando se disuelven en agua. Así aumenta el riesgo de ingerirlos y causarnos toxicidad o problemas de salud si no son parte de nuestros requerimientos alimenticios. En el caso de aquellos elementos que sí necesitamos: Fe, Zn, Mo, Mn, Cu y Co, también pueden causar toxicidad si excedemos la dosis diaria necesaria.



## FINALMENTE, ¿CÓMO SE MOVILIZAN LOS METALES PÉSADOS EN ACAPULCO?

Retomando el tema de Acapulco, en esta importante ciudad se llevó a cabo un estudio sobre la química del agua de los principales arroyos que desembocan en la bahía. El objetivo fue identificar la presencia de MP y determinar su origen mediante el uso de isótopos de estroncio (Sr). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Geoquímica de la Universidad Autónoma de Guerrero. Los cationes totales y solubles se determinaron mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) utilizando un equipo Perkin Elmer Optima 3200 DV.

En la verificación de la calidad de los datos se utilizaron estándares certificados de alta pureza para la calibración del ICP-AES. Además, las conclusiones también se basan en las relaciones isotópicas de Sr que se midieron por espectrometría en un instrumento VGA de la Universidad de Arizona. Los resultados indican que el líquido que corre en estos arroyos es principalmente de lluvia. No obstante, en todos los caudales se determinó una cantidad de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) superior a los 10 mg/L, concentración que excede la NOM-127-SSA1-2021 (norma que establece los límites máximos permisibles en el agua de uso y consumo humano en México). Dicho hallazgo sugiere la presencia de aguas negras incorporadas al cauce de los arroyos. Además, se encontró que la concentración de Fe, Mn, Cr, As y Al supera los niveles máximos permitidos por la NOM-127-SSA1-2021. De esta manera, el análisis isotópico demostró que dichos MP presentan la misma firma que las rocas graníticas que afloran en la bahía. Esto indica que los MP encontrados en el agua de los arroyos pertenecían a los peñascos autóctonos y que su presencia se debe a un proceso de descomposición por acción de la lluvia.

Este descubrimiento es relevante porque sugiere que la concentración y origen de tales MP son principalmente consecuencia de procesos naturales y no por actividades humanas. Sin embargo, se debe tener precaución al utilizar el término contaminación en este contexto. Las montañas que rodean la bahía de Acapulco son de granito y la formación que sustenta la famosa

isla de La Roqueta también. Aquí, los MP a los que nos referimos pertenecían a la composición rocosa y sólo se están desplazando de un lugar a otro por una acción de intemperización. Las corrientes de los arroyos mueven elementos que se desprenden de las piedras hacia sitios diferentes, desde áreas más elevadas a zonas más bajas (figura 1).

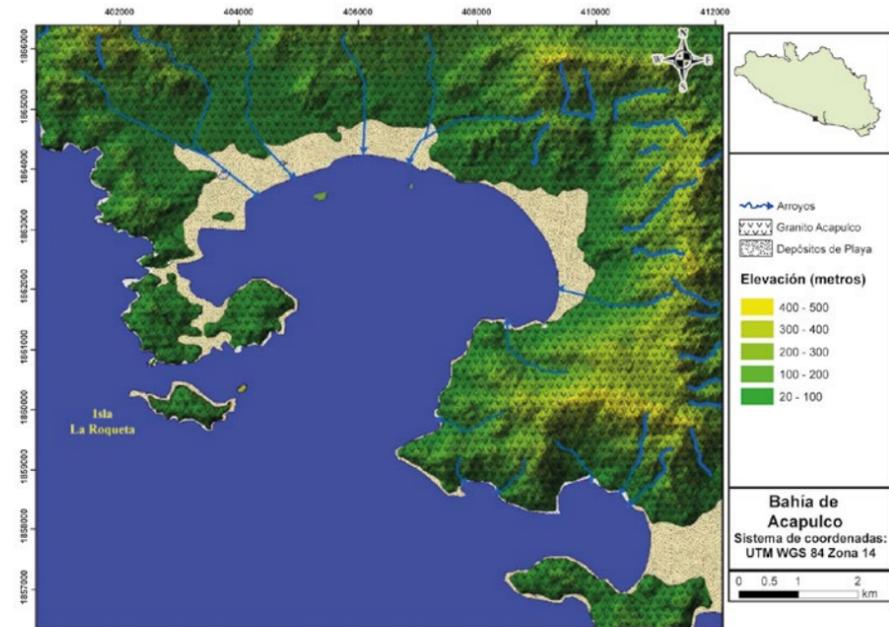


Figura 1. Niveles de altura, flujos de los arroyos y constitución rocosa sobre la que se encuentra asentada la bahía de Acapulco.

En resumen, se destaca el papel esencial de los arroyos y ríos como actores clave para la movilización de contaminantes tipo MP (Ramírez-Javier *et al.*, 2023). Por otro lado, en un estudio realizado por Bahena-Román *et al.* (2021) se evidenció la presencia de MP en el sedimento marino (arenas) de la bahía de Acapulco. Sus resultados coinciden con los de este estudio en que los MP encontrados en las arenas tienen su principal fuente de origen en las rocas de granito de Acapulco.

Estos hallazgos permiten atar cabos. Los MP originados por la interacción del agua de lluvia con las formaciones de granito vecinas, son conducidos hacia el mar a través de los arroyos. En el mar, afortunadamente, por las condiciones fisicoquímicas, los MP precipitan y pasan a formar parte de la constitución de las arenas y disminuyen su posibilidad de generar un efecto adverso a la salud pública. Esto confirma que los océanos son el destino final tanto de MP y de otros agentes de origen natural y antrópico (Bahena-Román *et al.*, 2021).

Es importante enfatizar que, en el presente estudio se observa un fenómeno de movilización de los MP desde su origen hasta un destino final con características similares. Dicho razonamiento nos impide hablar propiamente de un proceso de contaminación por MP en la bahía de Acapulco.



## CONCLUSIÓN

Los arroyos de la bahía de Acapulco transportan principalmente agua de lluvia, pero hay evidencia de desechos de drenaje. En la que fluye desde las áreas de mayor elevación hasta la zona más baja se detectó la presencia de MP como Fe, Mn, Cr, As y Al, superando los valores establecidos por la normatividad mexicana aplicable al agua de uso y consumo humano. Éstos tienen su origen y liberación a partir de la interacción de las precipitaciones con las rocas de granito circundantes y son transportados hacia la playa donde la composición rocosa es la misma que en la zona de mayor elevación. Es decir, en la bahía se observa un fenómeno de movilidad de MP no necesariamente de origen antrópico. Además, en el mar se presenta de dilución y precipitación de los MP disminuyendo su concentración o eliminándolos de la fase acuosa. Esto significa que, hasta el día de hoy, el aporte de MP hacia la bahía de Acapulco no representa un riesgo para la salud pública.



## REFERENCIAS

- Bahena-Román, M.S., Talavera-Mendoza, O., García-Ibáñez, S., *et al.* (2021). Source of detritus and toxic elements of seabed sediments from Acapulco Bay (southern Mexico) and their ecological risk. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112797.
- Diario Oficial de la Federación. (2021). *Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua Para Uso y Consumo Humano. Límites Permisibles de la Calidad del Agua*, Secretaría de Salud, Diario Oficial de la Federación: Ciudad de México, México, 2022.
- Krauskopf, K.B., Bird D.K. (2003). *Introduction to geochemistry*, New York, McGraw-Hill.
- Martínez-Castrejón, M., Ramírez-Nava, J., López-Díaz, J.A., *et al.* (2022). Acid mine drainage treatment using chicken eggshell waste, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 411-427, <https://doi.org/10.20937/RICA.54409>
- Mathuriya, A.S., y Yakhmi, J.V. (2014). Microbial fuel cells to recover heavy metals. *Environmental Chemical Letters*, 12, 483-494, <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0474-2>
- Ramírez-Javier, J. C., Ramírez-Guzmán, A. H., Hernández-Flores, G., Hernández, M. A., Talavera-Mendoza, O., Salgado Souto, S. A., *et al.*, A. (2023). Heavy Metal Dispersion in a Hydrological Sub-Basin as Consequence of Mining Activity in Taxco, Guerrero (Southern Mexico), *Water*, 15, 1950, <https://doi.org/10.3390/w15101950>

Recibido: 04/12/2023  
Aceptado: 14/03/2024

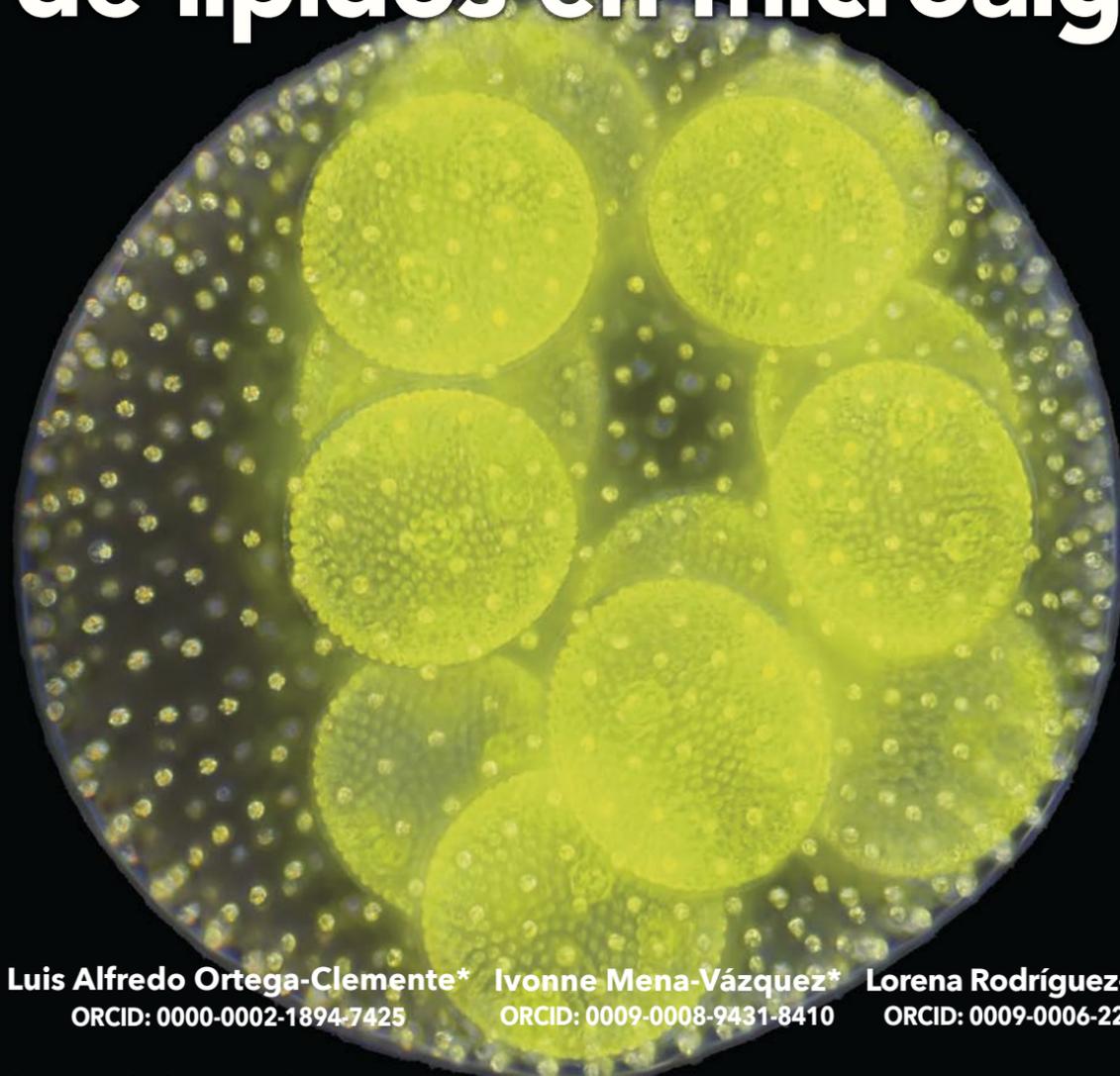
Descarga aquí nuestra versión digital.





Ejes

# Rompiendo barreras celulares: métodos aplicados en la extracción de lípidos en microalgas



Luis Alfredo Ortega-Clemente\*  
ORCID: 0000-0002-1894-7425

Ivonne Mena-Vázquez\*  
ORCID: 0009-0008-9431-8410

Lorena Rodríguez-Ramírez\*  
ORCID: 0009-0006-2258-8628

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.126.3>

\* TecNM/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz.  
Contacto: [luisortega@bdelrio.tecnm.mx](mailto:luisortega@bdelrio.tecnm.mx); [ivonne18429@gmail.com](mailto:ivonne18429@gmail.com); [218n0002@itstb.edu.mx](mailto:218n0002@itstb.edu.mx)



En la actualidad, diversos métodos han sido desarrollados al extraer lípidos de microalgas con la finalidad de aprovechar el perfil único de ácidos grasos que incluyen saturados e insaturados, los cuales poseen un potencial como materia prima para una variedad de productos, aplicaciones alimentarias, cosméticas y fuente de energía: biometano, biodiesel e incluso combustibles de aviación. Sin embargo, la elección del sistema es crucial, ya que la composición y cantidad depende de la especie de microalga y de la técnica de extracción (Shanmuganathan *et al.*, 2023), puesto que se deben considerar algunos factores: tiempo de procesamiento, eficiencia, seguridad, viabilidad económica, preservación de las características y la naturaleza de los residuos generados (Straessner *et al.*, 2023).

Estos procedimientos se clasifican en dos categorías principales: mecánicos y no mecánicos, los segundos incluyen la extracción con solventes, fluidos supercríticos y líquidos iónicos, mientras que los primeros implican técnicas como la extracción asistida por microondas y ultrasonidos. El conocimiento de estos métodos es esencial si se quiere aprovechar al máximo el potencial de los lípidos de las microalgas como una fuente valiosa de energía y de productos sostenibles.

## MÉTODOS QUÍMICOS DE EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS EN MICROALGAS

El principio aplicado en la extracción de lípidos de microalgas con solventes se basa en el concepto de "lo semejante disuelve a lo semejante", el mecanismo y la interacción se observa en la figura 1A (Khoo *et al.*, 2023), difusión del solvente a la superficie de la microalga, adsorción del solvente a través de la pared celular hacia el citoplasma, interacción entre los lípidos neutros y el solvente para formar complejos de lípidos orgánicos por fuerzas de van der Waals, desorción del complejo hacia el exterior a través de la pared celular por un gradiente de concentración, difusión del complejo hacia la fase fluida.





El mecanismo de extracción de lípidos neutros involucra la disolución del solvente, sin embargo, algunos forman complejos con lípidos polares, los cuales están fuertemente unidos a las proteínas de la pared celular por puentes de hidrógeno y fuerzas electrostáticas. Si se desea romper estas asociaciones y extraer eficientemente los lípidos neutros se necesita emplear un solvente polar (metanol, etanol o isopropanol), la combinación de un solvente orgánico polar y otro no polar facilita la extracción de los lípidos neutros (Russell y Rodríguez, 2023).

Entre las técnicas más relevantes se encuentra el método Folch, que consiste en la adición de una mezcla de cloroformo y metanol (Folch *et al.*, 1957). Por otra parte, se menciona la de hexano-alcohol (metanol, etanol o isopropanol), proceso desarrollado por Bligh y Dyer (1959), que implica la maceración de las microalgas en mezcla de cloroformo, metanol y agua en proporciones específicas (Wetterwald *et al.*, 2023).

La figura 1B muestra el principio de extracción de las técnicas mencionadas, destacan por la obtención de triglicéridos y los fosfolípidos, pero requieren precauciones debido al uso de cloroformo, metanol y hexano, productos tóxicos e inflamables. En la extracción Soxhlet, la muestra es colocada en el aparato de Soxhlet, comúnmente es utilizado hexano como solvente (figura 1C) en el que se emplea un baño caliente repetitivo con el solvente haciendo más eficiente la extracción. La importancia de este sistema radica en su habilidad para extraer una amplia variedad de lípidos y manejar grandes volúmenes de muestra, siendo esencial al momento de entender las características lipídicas de diversas cepas de microalgas, sin embargo, requiere un volumen mayor de solventes generando mayor cantidad de residuo (Matchim-Kamdern y Lai, 2023).

Existen más metodologías que mencionan Santos-Sánchez *et al.* (2016), quienes concluyen que, de los anteriores, el paso más importante es la ruptura celular, que se puede lograr utilizando el disolvente apropiado combinado con sonicación o microondas. Sin embargo, coinciden en

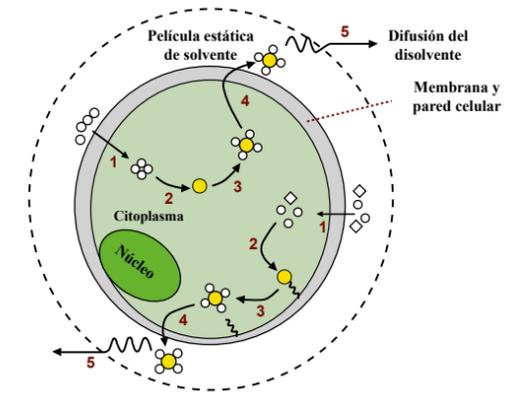
el empleo del disolvente que genera residuos tóxicos, lo que dificulta las aplicaciones industriales (Santos-Sánchez *et al.*, 2016).

Los fluidos supercríticos implican el uso de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en estado intermedio, entre gas y líquido, al aplicarle condiciones específicas de temperatura y presión superiores a su punto crítico (Mienis *et al.*, 2023) disuelve los lípidos permitiendo su extracción. Además, los fluidos supercríticos son amigables con el medio ambiente. Las ventajas de éste incluyen la alta selectividad, la ausencia de residuos químicos y la posibilidad de ajustar y optimizar las condiciones y extraer específicamente ciertos tipos de lípidos de excelente calidad, reduciendo los tiempos.

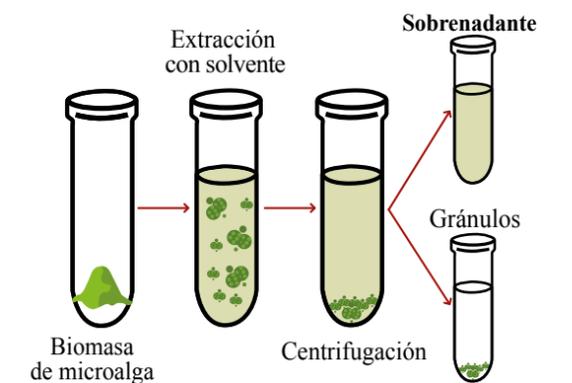
De igual forma, los líquidos iónicos tienen un catión orgánico y un anión inorgánico a temperatura ambiente. Durante el procesamiento, las microalgas se mezclan con un líquido iónico que interactúa con los lípidos y los disuelve de manera eficiente y selectiva, separándolos de las células y extrayéndolos de la biomasa. Las ventajas incluyen la capacidad para manipular las propiedades físicas y químicas del líquido iónico, bajo impacto ambiental, biodegradables, lo que hace que sea económico, viable y ecológico en la generación de biocombustibles y otros productos de interés industrial (Xie *et al.*, 2023).

## MÉTODOS MECÁNICOS

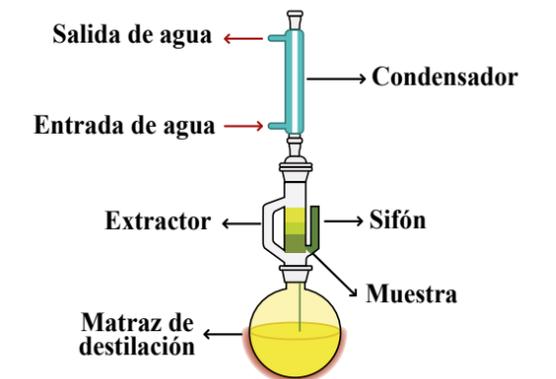
Los métodos mecánicos implican el uso de fuerza física para romper las paredes celulares de las microalgas mediante presión, cizallamiento o vibración y permitir la liberación de los lípidos. Tienen amplias ventajas: no contaminan la biomasa, garantizan la pureza de los productos finales, reducen la degradación, no requieren temperaturas elevadas y se promueve la preservación de los lípidos, evitan el uso de solventes químicos y reducen el impacto ambiental, son versátiles a la hora de aplicarlos en la investigación biotecnológica, en la industria de biocombustibles y otros



A) Con disolventes orgánicos.



B) con solventes.



C) Soxhlet.

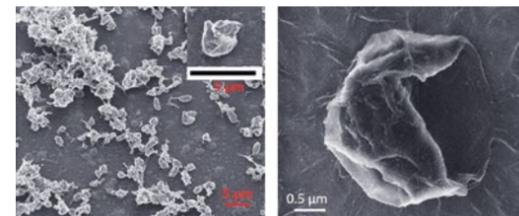
Figura 1. Métodos mecánicos de extracción de lípidos en microalgas.

géneros relacionados con la energía. Sin embargo, presentan la desventaja de que algunos de los procesos son lentos y se necesitan grandes cantidades de biomasa.

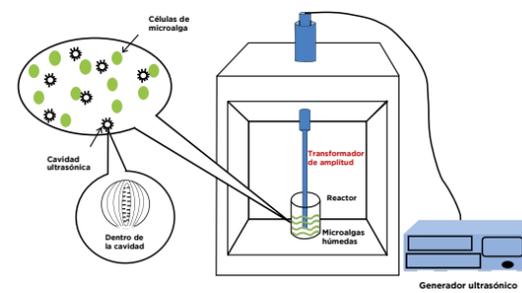
El molino de cuencas implica la trituración y molienda en cuencas especializadas, utilizando la fuerza mecánica para romper las células (figura 2A). La importancia de éste radica en su capacidad de garantizar una extracción de hasta 75% de lípidos. Algunas ventajas son: selectividad y posibilidad de procesar grandes volúmenes de muestra de manera continua y eficaz (Russell y Rodríguez, 2023). Otra estrategia es la homogeneización a alta presión, que implica someter la muestra a presión a través de una válvula o boquilla, lo que resulta en una ruptura mecánica de las células y una liberación de los lípidos. La importancia de esta técnica radica en garantizar una extracción completa, es eficaz en microalgas con paredes celulares rígidas, presenta eficiencia y potencial de preservar los lípidos extraídos, reduce el impacto ambiental y tiempo de proceso.

La ultrasonificación es otra tecnología innovadora basada en lisis celular (figura 2B) en la propagación de ondas ultrasónicas de alta frecuencia que provocan microcavitación y cambios de presión, rompen las paredes celulares y liberan los lípidos intracelulares. Las ventajas son: eficiencia energética, velocidad y selectividad, es útil para microalgas delicadas, es suave, no requiere temperaturas elevadas y permite su aplicación en una amplia gama de cepas.

El microondas utiliza radiación electromagnética no ionizante de alta frecuencia, ésta penetra las células de las microalgas y estimula las moléculas de agua, generando calentamiento y presión interna que facilita la ruptura de la pared celular y permite la liberación eficaz de los lípidos. Las ventajas de este método



A) Ruptura celular.



B) Ultrasonificación.

Figura 2. Métodos químicos de extracción de lípidos en microalgas (Yao *et al.*, 2018).



incluyen extracción rápida, eficiencia, menor consumo de energía y puede realizarse a temperaturas más bajas en comparación con las tradicionales.

Finalmente, el campo eléctrico pulsado implica el empleo de pulsos eléctricos intensos y de corta duración a las células, los cuales crean perforaciones en la membrana celular, facilitando la liberación de los lípidos almacenados. Ofrece la ventaja de ser una técnica no térmica, se puede ajustar a diferentes especies y se pueden procesar volúmenes variables de muestra, lo que facilita su aplicación en la investigación científica (Santos-Sánchez *et al.*, 2016, Niu *et al.*, 2023).

## CONCLUSIÓN

Los sistemas de extracción de lípidos de microalgas juegan un papel crucial en la generación sostenible de biocombustibles y otros productos energéticos. El uso del método Folch, hexano-alcohol, Bligh y Dyer y Soxhlet sigue presentando desafíos con el uso de solventes tóxicos, pero proporcionan una forma efectiva de extraer lípidos a nivel laboratorio. Por otro lado, los procedimientos mecánicos: molino de cuencas, homogeneización a alta presión, ultrasonido, microondas y campo eléctrico pulsado, aprovechan la fuerza física para romper las células y liberar los lípidos, ofreciendo preservación de lo extraído, reduciendo el impacto ambiental al evitar el uso de químicos y altas temperaturas, usados mayormente a nivel industrial debido a las cantidades de biomasa empleada.

Además, las técnicas emergentes, fluidos supercríticos y los líquidos iónicos, también han ampliado las posibilidades de forma selectiva, ya que permiten una extracción eficiente y específi-



ca de diferentes tipos de lípidos, proporcionando una vía hacia una producción sostenible y de alta calidad en la industria de los biocombustibles y la biotecnología, los cuales pueden ser aplicados a nivel planta piloto o incluso a nivel industrial. A pesar de que se necesita emplear mayor cantidad de biomasa, la variedad de métodos disponibles brinda opciones para adaptarse a diferentes tipos de microalgas.



## REFERENCIAS

- Bligh, Eg., y Dyer, Wj. (1995). A rapid method of total lipid extraction and purification, *Can Biochem Physiol*, 37(8), <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Folch, Jordi, y Sloane, Stanley. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues, *Journal of Biological Chemistry*, 226, [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- Khoo, Kuan, Ahmad, Imran, Chew, Kit, *et al.* (2023). Enhanced microalgal lipid production for biofuel using different strategies including genetic modification of microalgae: A review, *Progress in Energy and Combustion Science*, 96, <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2023.101071>
- Matchim, Kamdem, y Lai, Nanjun. (2023). Alkyl carbamate ionic liquids for permeabilization of microalgae biomass to enhance lipid recovery for biodiesel production, *Heliyon*, 9(1), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12754>
- Mienis, Esther, Vandamme, Dries, y Foubert, Imogen. (2023). Enzyme-assisted disruption of oleaginous microalgae to increase the extraction of lipids: Nannochloropsis as a case study, *Current Opinion in Food Science*, 51, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101034>
- Niu, Qi, Prins, Wolter, y Ronsse, Frederik. (2023). Microalgae fractionation and pyrolysis of extracted microalgae biopolymers, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 172, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.106000>



Russell, Callum, y Rodríguez, Cristina. (2023). Lipid extraction from *Chlorella vulgaris* y *Haematococcus pluvialis* using the switchable solvent DMCHA for biofuel production, *Energy*, 278, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127983>

Santos-Sánchez, N.F., Valadez-Blanco, R., Hernández-Carlos, B., *et al.*, (1916). Lipids rich in  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids from microalgae, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7818-8>

Shanmuganathan, Rajasree, Le, Quynh, Hoang, Aloufi, Abeer, *et al.* (2023). High efficiency lipid production, biochar yield and chlorophyll a content of *Chlorella* sp. microalgae exposed on sea water and TiO<sub>2</sub> nanoparticles, *Environmental Research*, 232, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116263>

Straessner, Ralf, Nikolausz, Marcell, Silve, Aude, *et al.* (2023). Holistic exploitation of pulsed electric field-treated and lipid extracted microalgae *Auxenochlorella* protothecoides, utilizing anaerobic digestion (AD), *Algal Research*, 69, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102950>

Wetterwald, Laure, Leybros, Antoine, Fleury, Gatien, *et al.* (2023). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of neutral lipids from dry and wet *Chlorella vulgaris* NIES 227 microalgae for biodiesel production, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110628>

Xie, Zhen, Meng, Xianguang, Yu, Siteng, *et al.* (2023). Continuous extraction and application potential of value-added products from a promising microalga *Coelastrella auxenochlorella* SDEC-28 for green microalgae-based industry, *Journal of Cleaner Production*, 13(9364), <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.139364>

Yao, Shunyu, Mettu, Srinivas, Law, Sam, *et al.* (2018). The effect of high-intensity ultrasound on cell disruption and lipid extraction from high-solids viscous slurries of *Nannochloropsis* sp. Biomass, *Algal Research*, 35, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.09.004>

**Recibido: 27/11/2023**  
**Aceptado: 12/04/2024**



Descarga aquí nuestra versión digital.





# SECCIÓN ACADÉMICA

## Formulación de una microemulsión elaborada con keroseno y surfactantes mono- ramnolípidos

**ESAC: un paso más hacia la calefacción  
solar verde**



## Formulación de una microemulsión elaborada con keroseno y surfactantes mono-ramnolípidos

Josefina Barrera-Cortés\*  
ORCID: 0000-0001-9348-4275

Perla Fabiola Pacheco-Juárez\*

Marlén Hernández-Hermenegildo\*

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.1264>

### RESUMEN

Se desarrolló una microemulsión estabilizada con biosurfactantes mono-ramnolípidos producidos en reactor de tanque agitado a partir de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC9027 (cepa no patógena). La microemulsión fue elaborada con keroseno, agua destilada, mono-ramnolípidos y etanol como cosurfactante. Estos componentes fueron integrados con agitación mecánica y ultrasonido. El diámetro de gota analizado en TEM fue de 209 nm. El índice de cremación de 27% permitió verificar la estabilidad de la microemulsión.

Palabras clave: biosurfactante, cosurfactante, microemulsión, ramnolípidos.

La contaminación del suelo con hidrocarburos es motivo de gran preocupación debido a los efectos negativos en la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas. Aunque los surfactantes son comúnmente utilizados para realizar la tarea de desorción de este tipo de contaminantes, presentan ciertas limitaciones cuando los hidrocarburos están fuertemente adheridos a las partículas de suelo. En este contexto, las microemulsiones podrían ser una alternativa prometedora, gracias a su mayor capacidad de penetración, estabilidad, mayor solubilidad de hidrocarburos y reducido impacto ambiental, ya que son preparadas con una menor cantidad de surfactante.

### ABSTRACT

*A microemulsion stabilized with mono-rhamnolipid biosurfactants produced in a stirred tank reactor from Pseudomonas aeruginosa ATCC9027 (non-pathogenic strain) was developed. The microemulsion was prepared with kerosene, distilled water, mono-rhamnolipids and ethanol as a cosurfactant. These components were integrated with mechanical stirring and ultrasound. The droplet diameter analyzed in TEM was 209 nm. The cremation index of 27% allowed verifying the stability of the microemulsion.*

Keywords: biosurfactant, cosurfactant, microemulsion, rhamnolipids.

Las microemulsiones son mezclas de líquidos inmiscibles estabilizadas por un surfactante y pueden ser del tipo aceite en agua (O/W) o agua en aceite (W/O) (Khan *et al.*, 2011). Las características de estos fluidos son de interés para el suministro de agentes activos de tipo lipofílico (McClements *et al.*, 2007). Las emulsiones se aplican en la elaboración de alimentos, bebidas, cosméticos y medicamentos, además de la desorción de contaminantes (Ashaolu, 2021). Por el diámetro de gota (Dg), son clasificadas en macro (Dg > 500 nm), micro o nanoemulsiones (Dg de 1-200 nm) (Tadros, 2014).

\* Instituto Politécnico Nacional, Alcaldía Gustavo A. Madero, México.  
Contacto: jbarraera@cinvestav.mx

Los surfactantes pueden ser sintéticos y orgánicos, no obstante, dada la contribución a la contaminación ambiental de los sintéticos, surfactantes degradables de origen microbiano como los ramnolípidos están en curso de estudio. Éstos son generados por bacterias del género *Pseudomonas*, principalmente, y están constituidos por una o dos ramnosas unidas a una cadena de ácido graso no polar, cuya longitud dependerá de la especie de microorganismo que las produce (Randhawa y Rahman, 2014). Surfactantes ramnolípidos de una ramnosa son llamados mono-ramnolípidos; con dos, di-ramnolípidos.

El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de la capacidad de una mezcla de mono-ramnolípidos derivados de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, para microemulsificar keroseno. La emulsión formada podría tener aplicación en la solución de problemas de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 fue obtenida de la Colección Nacional de Cultivos Microbianos y Celulares del Cinvestav-IPN. La cepa fue propagada en caldo nutritivo (BD Bioxon) a 37°C y 150 rpm por 24 h (Innova 40 de New Brunswick Scientific), y recuperada por centrifugación a 10,000 rpm por 15 min (Allegra X-22R Centrifuge de Beckman Coulter) para su liofilización (liofilizador Labconco FreeZone 2.5) y posterior conservación a 4°C (refrigerador Nieto modelo RB630ANC). Los mono-ramnolípidos fueron producidos con el método reportado por Zhang *et al.* (1997), pero con glicerol a 3% (pureza 99%, High Purity) como fuente de carbono. Los mono-ramnolípidos fueron separados por extracción líquido-líquido con acetato de etilo (1:1) (pureza 99.5%, Química Rique). El surfactante fue purificado por cromatografía en columna (sílica gel activada, 60-200 Mesh, de J.T. Baker) y conservado a -76°C (Ultracongelador Thermo Scientific TSE320A modelo 931) (Guatemala-Hernández *et al.*, 2021).

La microemulsión fue elaborada por un método de alta energía (agitación-ultrasonido) variando la composición de los diferentes componentes:

mono-ramnolípidos de 1.8 a 5.29%; etanol de 2.8 a 16%; keroseno de 1.1 a 104%; y agua desionizada de 60.9 a 91.1%. Los ramnolípidos en solución alcohólica (10%) (pureza >99.5% Química Rique) fueron mezclados (parrilla de calentamiento Heidolph MR Hei-Tec) con keroseno (1.1-104%) (J.T. Baker). Posteriormente se adicionó agua desionizada lentamente bajo condiciones de agitación (1,400 rpm) y aumento gradual de temperatura (de 45°C a 70°C) buscando observar un cambio en la textura de la emulsión, de opaca a transparente. Emulsiones de apariencia lechosa fueron tratadas posteriormente con ultrasonido (40 KW en ciclos de 4 min) (ultrasonic procesor Hielscher UP200Ht).

La microemulsión fue analizada para determinación de pH (potenciómetro Eutech, Oakton, Vernon Hills, IL, USA), Dg (microscopía electrónica de transmisión, TEM), tipo de emulsión (test de tinción y fusión de gota) y estabilidad. El análisis TEM se realizó con muestras de microemulsión de 10 µL colocadas en rejillas de cobre y teñidas durante 1 min con ácido fosfotúngstico filtrado y ajustado a pH 7.0 (Lemus-de la Cruz *et al.*, 2022). El exceso de líquido de las muestras se secó con papel de filtro Whatman y las muestras se observaron directamente en el TEM JEM-1400 (JEOL, Peabody, MA, EE. UU.). La estabilidad de la microemulsión se determinó a partir del índice de cremación. El análisis comprendió la centrifugación de las microemulsiones a 1,500 rpm durante 30 min. El índice de cremación se calculó a partir de la siguiente ecuación:  $\%IC = (CC/CT) \times 100$ , donde CC es la altura de la capa de la crema y CT es la altura total del fluido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de surfactantes mono-ramnolípidos

Los mono-ramnolípidos obtenidos de *P. aeruginosa* (ATCC 9027) fueron obtenidos en una concentración de 1.2 gramos por litro de medio de cultivo (g L<sup>-1</sup>). La estructura de estos surfactantes fue analizada por resonancia magnética nuclear y reportados en Guatemala-Hernández *et al.* (2021).

### Keroseno emulsificado con mono-ramnolípidos

La variación porcentual de los diversos componentes empleados en la formulación de la micro-emulsión deseada dio lugar a los valores de Dg que se presentan en la tabla I. El menor Dg fue de 209.2 nm y fue obtenido con la formulación: mono-ramnolípidos, 1.9%; etanol, 15.2%; agua desionizada, 77%, y keroseno, 6% (%Rha/%Eth=0.13; %H<sub>2</sub>O/%Ker =12.8). El aumento de la relación %H<sub>2</sub>O/%Ker entre 12 y 34, para una relación %Rha/%Eth de 0.13 incrementó el Dg en 12%. Al aumentar la relación %Rha/%Eth, entre 0.13 y 17, para una relación %H<sub>2</sub>O/%Ker de 34, el Dg incrementó en 44%.

A pesar del estrecho rango de variación de los diferentes componentes de la microemulsión, la variación del Dg permitió observar la importancia de la concentración en que se adicionan los surfactantes mono-ramnolípidos en etanol (%Rha/%Eth). Este resultado podría atribuirse al papel del etanol, que actúa como cosurfactante y solvente en la mezcla de mono-ramnolípidos, ya que estos últimos son poco solubles en agua. En el papel de cosurfactante, el etanol facilita la formación de una capa monomolecular del surfactante alrededor de las gotas de aceite, evitando la coalescencia y la separación de fases (Gupta *et al.*, 2016).

Forgiarini *et al.* (2008) reportaron que el tipo y la cantidad de alcohol determinarán el nivel de estabilidad de una emulsión, ya que los alcoholes muy hidrofílicos (de cadena corta) se solubilizarán preferiblemente en la fase acuosa, mientras que los alcoholes más lipofílicos (de cadena más larga) lo harán en la fase oleosa.

El desarrollo de una microemulsión demanda una cantidad de surfactante del orden de 20% (Asaolu, 2021). En el presente trabajo, la baja concentración utilizada (1.9%) podría atribuirse a la

Tabla I. Efecto de las relaciones (%Rha/%Eth) y (%H<sub>2</sub>O/%Ker) en el diámetro de gota de la microemulsión %Ker/%H<sub>2</sub>O/%Rha producidos por *P. aeruginosa*.

%Rha/%Eth	%H <sub>2</sub> O/%Ker	Diam. gota (nm)
0.13	12.8	209.2
0.13	23.6	216.4
1.25	34.9	223.5
0.13	42.3	257.5
1.73	34.5	325.2

%Rha: mono-ramnolípidos; %Eth: etanol; %H<sub>2</sub>O: agua desionizada; %Ker: keroseno.



Figura 1. Microemulsión keroseno (6%), agua (76.9%), etanol (15.2%) y mono-ramnolípidos (1.9%) obtenidos de *P. aeruginosa*.

estructura molecular de los mono-ramnolípidos, conformada por congéneres de diferente longitud de cadena de carbonos (Guatemala-Hernández *et al.*, 2021). Se asume que estructuras moleculares

variadas facilitan los procesos de desorción en los procesos de remediación de suelos contaminados con mezclas complejas de hidrocarburos (Saeedi *et al.*, 2014). Nanoemulsiones preparadas con ramnolípidos en dosis de 23% fueron reportadas por Bai y McClements (2016), y Al-Sakkaf y Onaizi (2023). Los primeros utilizaron como fase oleosa aceites vegetales y animales, en tanto que los segundos, hidrocarburos del petróleo. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son congruentes con lo reportado por estos autores.

Se observó que el aumento de mono-ramnolípidos disminuye el tiempo de disgregación con ultrasonido del keroseno (figura 2), no obstante, el diámetro de gota estuvo determinado por otros factores: la relación %H<sub>2</sub>O/%Ker. Por ejemplo, en una acumulación de mono-ramnolípidos de 1.9%, el aumento en la relación %H<sub>2</sub>O/%Ker de 12.8 a 42.3, disminuyó el tiempo de disgregación de 39.5 a 25.5 minutos, sin embargo, el diámetro de gota incrementó de 209 nm a 257 nm; mayor tiempo de ultrasonido no generó cambios significativos. Para una concentración de mono-ramnolípidos de 3.8%, el diámetro de gota disminuyó de 223 nm a 216 nm al bajar la relación %H<sub>2</sub>O/%Ker de 34.9 a 23.6. El aumento adicional de mono-ramnolípidos de 37% a 5.2%, pero manteniendo constante la relación %H<sub>2</sub>O/%Ker en 34.5 no favoreció la disgregación del keroseno, por el contrario, aumentó el diámetro de gota de 223 nm a 325 nm.

De acuerdo con Di *et al.* (2008), la formación de una microemulsión es función de las características de sus diferentes componentes, de su concentración y de la energía aplicada en la disgregación de la fase discreta. Lo reportado por estos autores corrobora los resultados obtenidos en el presente trabajo.

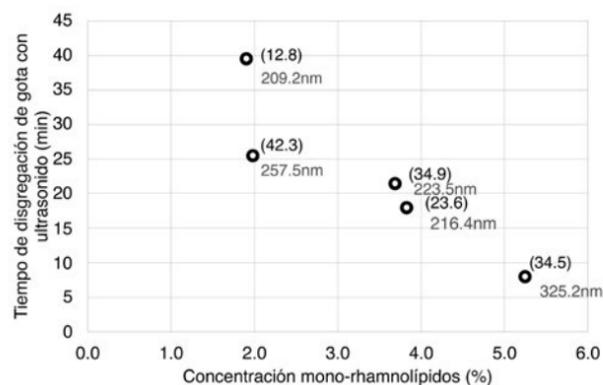


Figura 2. Tiempo de disgregación de gota con ultrasonido (40 KW) en función de la concentración de la mezcla de mono-ramnolípidos. Entre paréntesis (%H<sub>2</sub>O/%Ker). En rojo, fuera del paréntesis, se indica el diámetro de gota de la microemulsión.

## Caracterización de la microemulsión

La tinción de la microemulsión con cristal violeta permitió identificar y verificar la elaboración de la emulsión O/W deseada como se muestra en la figura 3.

El pH de la microemulsión se registró en un rango de 7.4-7.9, con una variación bimensual de 0.1. De acuerdo con Enríquez (2016), la variación de pH afecta la rigidez de las películas interfaciales agua-aceite. En el presente estudio la variación bimensual en 0.1 del pH corrobora la estabilidad de la emulsión formada.

El índice de cremación se registró en porcentajes inferiores a 5%. La capa de crema en la superficie de una microemulsión es resultado de la concentración de las gotas más grandes y menos densas de la fase dispersa, que tienden a ascender debido a la gravedad. Singh *et al.* (2017) reportaron que a menor porcentaje de cremosidad, mayor estabilidad de la emulsión. El valor de 5% aquí determinado indica la estabilidad de la emulsión formada.

En la figura 4 se muestra una micrografía del análisis TEM de la emulsión de composición 1.9/15.2/76.9/6 (%Rha/%Eth/%H<sub>2</sub>O/%KER). La morfología circular de la gota es un indicador de la estabilidad de la emulsión preparada. El Dg calculado mediante el análisis TEM en todas las emulsiones preparadas (tabla I) estuvo en el rango 209 nm-325 nm, lo cual nos permite identificarlas como microemulsiones.

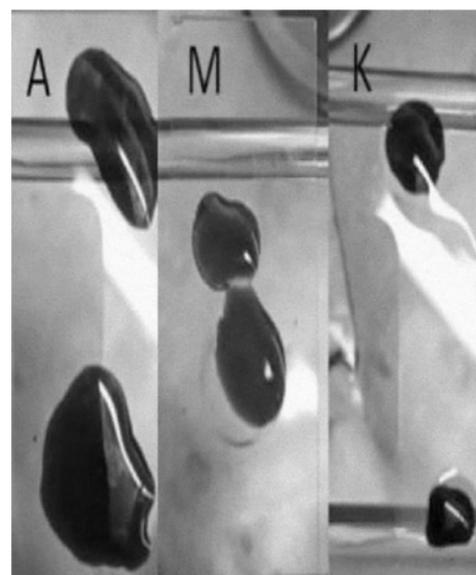


Figura 3. Test de tinción. Verificación de la elaboración de una microemulsión del tipo O/W.

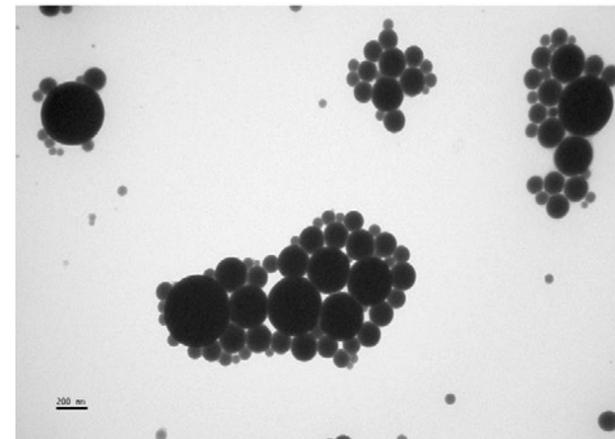


Figura 4. Análisis TEM de la emulsión de composición (%) 1.9/15.2/76.9/6 (mono-ramnolípidos/etanol/agua/keroseno).

Bai y McClements (2016) reportaron Dg en el rango 130 nm-167 nm, en nanoemulsiones O/W preparadas con una mezcla de mono y di-ramnolípidos a manera de agente surfactante y como fase oleosa aceite de maíz, aceite de pescado y aceite de limón. El mayor Dg obtenido en el presente trabajo, superior entre 25 y 60% al reportado por estos autores, podría atribuirse tanto a la compleja estructura molecular del keroseno, conformado por hidrocarburos alifáticos y aromáticos, además de la menor variedad en estructuras moleculares de los mono-ramnolípidos producidos por *P. aeruginosa* ATCC9027 (Guatemala-Hernández *et al.*, 2021). Una mezcla más diversificada de mono-ramnolípidos pudo haber favorecido el proceso de disgregación del keroseno; no obstante, para los propósitos de este estudio, el Dg obtenido se considera satisfactorio.

## CONCLUSIÓN

Surfactantes mono-ramnolípidos generados por la cepa no patógena *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 permitieron microemulsificar keroseno en agua. Éstos son poco solubles en agua, por lo que fue necesario adicionarlos en etanol, solvente que jugó, además, el papel de cosurfactante. El keroseno es una mezcla compleja de hidrocarburos aromáticos y alifáticos de una larga cadena de carbonos, por tanto, su microemulsi-

ficación demandó aplicar ultrasonido al reducir el diámetro de gota hasta 209.2 nm. Se asume que este diámetro de gota es adecuado para la aplicación de la microemulsión en problemas de desorción de hidrocarburos sorbidos en partículas de suelo.

## REFERENCIAS

- Al-Sakkaf, M.K., y Onaizi, S.A. (2023). Crude oil/water nanoemulsions stabilized by rhamnolipid biosurfactant: Effects of acidity/basicity and salinity on emulsion characteristics, stability, and demulsification, *Fuel*, 344:128052.
- Ashaolu, T.J. (2021). Nanoemulsions for health, food, and cosmetics: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 19:33813395.
- Bai, L., y McClements, D.J. (2016). Formation and stabilization of nanoemulsions using biosurfactants: Rhamnolipids, *Journal of Colloid and Interface Science*, 479:71-79.
- Di, S., Escalona, Y., Quijada, K., *et al.* (2008). Estudio del mezclado de emulsiones concentradas de aceite en agua aplicando la metodología de superficie de respuesta, *Revista Facultad de Ingeniería, UCV*, 23(3):53-64.
- Enríquez, O. (2016). *Fundamentos de las emulsiones agua-aceite crudo y su aplicación en la industria petrolera* (tesis de pregrado), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Forgiarini, A., Pietrangeli, G., Arandia, *et al.* (2008). *Influencia del tipo de alcohol sobre la formación de nanoemulsiones de aceite de soja-en-agua*, Universidad de los Andes Mérida, 501, Venezuela.
- Guatemala-Hernández, C., Barrera-Cortés, J., Cerda García-Rojas, C.M., *et al.* (2021). Weathered Railroad Diesel Removed from a Loamy Sand Soil by Means of Mono-rhamnolipids, *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 30(3):350372.
- Gupta, A., Eral, H.B., Hatton, T.A., *et al.* (2016). Nanoemulsions: formation, properties and applications, *Soft Matter*, 12(11):2826-2841.

Khan, B.A., Akhtar, N., Khan, H.M.S., *et al.* (2011). Basics of pharmaceutical emulsions: A review, *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(25):2715-2725.

Lemus-de la Cruz, A.S., Barrera-Cortés, J., Lina-García, L.P., *et al.* (2022). Nanoemulsified Formulation of *Cedrela odorata* Essential Oil and Its Larvicidal Effect against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), *Molecules*, 27:2975.

McClements, D.J., Decker, E.A., y Weiss, J. (2007). Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components, *Journal of Food Science*, 72:R109-R124.

Randhawa, K.K.S., y Rahman, P.K.S.M. (2014). Rhamnolipid biosurfactants-past, present, and future scenario of global market, *Frontiers in microbiology*, 5(454):1-7.

Saeedi, L.H., Assadi, M.M., Heydarian, S.M., *et al.* (2014). The Production and Evaluation of a Nano-biosurfactant, *Petroleum Science and Technology*, 32(2):125-132.

Singh, Y., Meher, J.G., Raval, K., *et al.* (2017). Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery, *Journal of Controlled Release*, 252:28-49.

Tadros, T.F. (2014). *An Introduction to Surfactants*, De Gruyter, Berlin, Boston.

Zhang, Y., Maier, W.J., y Miller, R.M. (1997). Effect of rhamnolipids on the dissolution, bioavailability, and biodegradation of phenanthrene, *Environmental Science & Technology*, 31:2211-17.

Recibido: 27/11/2023  
Aceptado: 13/03/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.



# ESAC: un paso más hacia la calefacción solar verde

Javier Melchor Trujeque-Gil\*  
ORCID: 0009-0004-0643-8676

Octavio García-Valladares\*\*  
ORCID: 0000-0001-9478-4157

Geonel Rodríguez-Gattorno\*  
ORCID: 0000-0001-7438-6311

Milenis Acosta-Díaz\*\*\*  
ORCID: 0000-0002-9277-4649

Dallely Melissa Herrera-Zamora\*\*  
ORCID: 0000-0003-0263-1087

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.126.5>

## RESUMEN

Estudios recientes han demostrado el potencial de los recubrimientos absorbentes solares ecológicos (por sus siglas en inglés ESAC) derivados de biomasa lignocelulósica como alternativa a las del mercado actual. Sin embargo, las biomasa reportadas hasta el momento son limitadas, así como la información sobre su aplicación en sistemas termosolares reales. Por esta razón, este trabajo se enfocó en el estudio de las propiedades ópticas de un nuevo ESAC producido a partir de los frutos del almendro (*Terminalia catappa* sp.) y su comparativa con un recubrimiento comercial bajo condiciones reales de operación. Los resultados mostraron que el ESAC de este árbol presentó una selectividad (relación absorptancia ( $\alpha$ )/emitancia ( $\epsilon$ )) de 1.084, superior al de la pintura comercial, 0.948; demostrando competitividad para su comercialización.

Palabras clave: biocarbón, energía termo-solar, recubrimientos absorbentes solares ecológicos, *Terminalia catappa*

## ABSTRACT

Recent studies have shown the potential of Ecological Solar Absorber Coatings (ESAC) derived from lignocellulosic biomass as an alternative to those on the current market. However, the reported biomasses so far are limited, as well as the information on its application in real solar-thermal systems. For this reason, this work focused on the study of the optical properties of a new ESAC produced from the fruits of the almond tree (*Terminalia catappa* sp.) and its comparison to a commercial coating under real solar conditions. The results showed that the ESAC of this tree presented a selectivity (absorptance relation ( $\alpha$ )/emittance ( $\epsilon$ ) ratio) of 1.084, higher than the commercial paint, 0.948, demonstrating competitiveness for commercialization.

Keywords: biochar, solar-thermal energy, ecological solar absorber coatings, *Terminalia catappa*

El auge de las energías renovables como alternativa a los combustibles fósiles para satisfacer la demanda energética mundial las ha llevado a convertirse en una nueva fuente de contaminantes. Esto se debe a los residuos generados durante la manufactura de los dispositivos proporcionados por las industrias; además del uso de materiales especiales, a menudo perjudiciales hacia el medio ambiente, con el fin de ofrecer altas eficiencias. Los revestimientos absorbentes solares (SAC por sus siglas en inglés; figura 1a) son cruciales en la industria al maximizar la absorción solar ( $\alpha$ ) y

minimizar las pérdidas térmicas ( $\epsilon$ ) de los calentadores de placa plana. Sin embargo, su fabricación y el contenido de metales pesados (cadmio, cobalto, níquel y plomo) los hacen costosos y ambientalmente impactantes.

La presencia de estos materiales en los colectores solares representa un riesgo ambiental si son desechados inadecuadamente tras el término de su vida útil. Por ello se han realizado estudios, por ejemplo, el de López-Sosa *et al.* (2020), Martínez-Mireles *et al.* (2022) y González-Canché *et*

\* CINVESTAV-IPN, Mérida, México.

\*\* Universidad Nacional Autónoma de México, Morelos, México

\*\*\* Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

al. (2021), en búsqueda de sustituir los metales tóxicos presentes en los SAC por alternativas ecológicas, sin perder las propiedades selectivas que los caracterizan. Estos esfuerzos han resultado en el desarrollo de recubrimientos absorbentes solares ecológicos (ESAC). Según López Sosa *et al.* (2020), un SAC tradicional está formado por un sustrato metálico cubierto con una fina película de pintura que se compone de un pigmento, una resina y un solvente. Los ESAC, por otro lado, son una versión más sustentable y de bajo costo de los SAC, utilizando materiales carbonáceos de biomasa lignocelulósicas (biocarbón) como pigmentos en lugar de metales pesados. El propósito de estas coberturas es utilizar las propiedades térmicas de ciertos alótropos de carbono (grafeno u óxido de grafeno) en la tecnología solar térmica. El inconveniente es que se requieren temperaturas de alrededor de los 1,000°C para que se formen estas estructuras en grandes cantidades, lo cual le resta al factor ecológico de las mismas.

Adicionalmente, las biomasa utilizadas en la obtención de ESAC: cáscaras de coco (Martínez-Mireles *et al.*, 2022), hollín de biomasa forestal (López-Sosa *et al.*, 2020), cáscaras de naranja agria (González-Canché *et al.*, 2021), y su aplicación en sistemas solar-térmicos reales son limita-

das. Por otro lado, los frutos del árbol *Terminalia catappa* son considerados desecho por carecer de un uso en particular y encontrarse en abundancia en regiones tropicales. De acuerdo con la bibliografía, se les ha utilizado como biosorbentes de metales pesados (Hevira *et al.*, 2015), fármacos (Palanivel *et al.*, 2015) y en la producción de biodiesel (Dos-Santos *et al.*, 2008). Sin embargo, no se les ha reportado ninguna aplicación en el área térmico-solar. De ese modo, el objetivo de este trabajo es utilizar estos frutos a manera de pigmento que ayude a generar una pintura que al ser depositada tenga propiedades ópticas competitivas con las del mercado actual. Para ello se estudiará el efecto del espesor del recubrimiento sobre sus propiedades ópticas de absorción solar ( $\alpha$ ) y emisión térmica ( $\epsilon$ ) y se compararán con los de la pintura comercial Hi-TEMP de Zynolyte.

## METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en este trabajo se divide en la obtención del pigmento, la síntesis y el depósito de las pinturas, comercial y de almendro, y su caracterización. Todo el proceso se resume en la figura 1b.



Figura 1. a) Representación gráfica de la funcionalidad de los recubrimientos absorbentes solares (SAC) en los calentadores de placa plana. b) Diagrama de flujo metodológico.

## Obtención del pigmento de almendro Síntesis de la pintura y su depósito

Se recolectaron alrededor de 60 frutos al pie de los árboles que se encontraban dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, se les retiró la semilla y se les dejó secar al sol por tres días. Pasado el tiempo se les trituró con una licuadora de 100 W hasta lograr un polvo que pudiese atravesar un tamiz de 1 mm de diámetro de apertura. A este polvo se le nombró simplemente almendro (ALM) y se le realizó un análisis termogravimétrico (TGA) en atmósfera de aire estándar donde se determinó que la temperatura a la cual se produce la máxima descomposición en estas condiciones es a los 425°C (figura 2c). El proceso de carbonización no debería ser tan demandante energéticamente, al respecto se propuso que el tiempo de tratamiento térmico fuera de sólo 15 min, muy corto en comparación con el trabajo de González-Canché *et al.* (2021), de 1 h. De ese modo, siguiendo las mismas condiciones del TGA se carbonizó el polvo de *T. catappa* en un horno de alta temperatura y se dejó enfriar dentro del mismo hasta que alcanzó temperatura ambiente. Al material carbonáceo obtenido se le nombró almendro tratado térmicamente (ALM-TT). El rendimiento del proceso fue 34.68%.

Para asegurar que el carbón conseguido pudiese disolverse correctamente se le redujo el tamaño de partícula con ayuda de un molino de bolas, el polvo resultante podía atravesar un tamiz de 0.01 mm de apertura. Posteriormente se le realizó un lavado con el que se retiró cualquier impureza restante y se obtuvo un material con una concentración de carbono muy alta. Se utilizó una solución de 250 ml de HCl a 5% en peso preparada a partir de una solución madre de HCl a 37% en peso. El producto final fue molido con un mortero, reservado y nombrado pigmento carbonáceo de almendro (ALM-PC).

En un vaso de precipitado se mezclaron 19.78 g del pigmento carbonáceo de *T. catappa* con 101.00 g de xileno de grado industrial con pureza de 90% como solvente y 92.95 g de la resina comercial Isóomex ID 455 C a 400 rpm por 30 minutos hasta tener una solución homogénea. Los sustratos fueron placas de 10 x 10 cm de aluminio reciclado de una imprenta, previamente lavadas; con una solución jabonosa preparada con 1% en peso de jabón Alconox, lijadas; con lijas de agua en orden de 320, 400, 600, 1,000, 1,200 y 2,000 granos, y pulidas con alúmina de micropulido de 1 y 0.3  $\mu$ m de Buehler-Micropolish II. Para depositar la pintura de almendro se empleó una pistola por gravedad. En total se recubrieron tres sustratos, cada uno con un número distinto de capas que iba de una a tres. Al sustrato que tenía una capa se le designó S1, al que tenía dos S2 y al que tenía tres S3. La pintura comercial Hi-TEMP de Zynolyte se depositó vía aerosol cubriendo con una sola capa al sustrato correspondiente, al cual se le denominó S4.

## Caracterización del pigmento y los recubrimientos

Para observar qué fases cristalinas estaban presentes en cada parte del proceso de obtención del pigmento carbonáceo de *T. catappa* se utilizó el equipo Bruker D-8 Advance con radiación Cu-K $\alpha$  ( $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$ ), con esto se llevó a cabo la difracción por rayos X, operando a 40 kV y 30 mA. El tiempo y tamaño de paso fueron de 0.5 s y 0.02° (2 $\theta$ ), respectivamente. Con el objetivo de conocer la estructura gráfica del material carbonáceo se realizó un estudio de microscopía Raman confocal con AFM, empleando el equipo WITEC Alpha 300 con un láser de neón operando con una  $\lambda=488 \text{ nm}$  y referencia de silicio. Con un tiempo de integración de dos segundos, 20 acumulaciones y un objetivo de 50x de magnificación. El análisis termogravimétrico realizado sobre 5 mg de polvo de

almendro se llevó a cabo con el equipo Discovery TA-Instruments de 25 a 700°C con un flujo de gas igual a 25 ml/min.

Al comparar el desempeño térmico entre las cubiertas se empleó un soporte con triplay reciclado en el que se montaron los sustratos a una misma inclinación y se les adhirieron sensores de temperatura en la parte trasera. El diseño de este soporte sirvió al replicar las condiciones a las que un colector solar real se enfrentaría si es montado en la ciudad de Mérida, Yucatán. Así los sustratos terminaron con una inclinación de 21° respecto al suelo y mirando hacia el sur. Se realizaron mediciones por tres días seguidos en abril de 2023. La dinámica consistió en medir por 30 minutos las temperaturas que registraban los sustratos al ser expuestos a la radiación solar de Mérida. Para mantener la uniformidad de las mediciones, todas se realizaron a  $\pm 1$ h del medio día solar. Además de los cuatro sustratos a los que se les depositó la pintura, se utilizó un quinto que no estaba recubierto a modo de control, al que se le nominó S0.

Las curvas de absorbancia solar y emitancia térmica de cada recubrimiento fueron medidas con un espectrofotómetro en el rango UV-VIS-NIR. La absorbancia promedio fue calculada ponderando el espectro de reflectancia frente al espectro de radiación solar estándar ASTM G173-03, mientras que la emitancia promedio se calculó ponderando los espectros de emisión frente a la función de radiación del cuerpo negro a 100°C.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la biomasa y del pigmento

La figura 2a muestra los patrones de difracción del ALM, ALM-TT y ALM-PC. El patrón de DRX del ALM muestra que su estructura es principalmente amorfa. De acuerdo con Gonzalez-Canché *et al.* (2021), el montículo exhibido en  $2\theta=22$  está relacio-

nado con la naturaleza cristalina de la celulosa contenida en las biomásas lignocelulósicas. Los picos en  $2\theta=14.9^\circ$ ,  $24.4^\circ$ ,  $30^\circ$  y  $38.3^\circ$  pertenecen a sales de oxalato de calcio monohidratado, conocidas también como whewellitas. La presencia de este mineral en los almendros puede deberse a que muchas plantas regulan sus niveles de calcio a través de él (Jáuregui-Zúñiga y Cárcamo, 2004). Por otro lado, en el patrón de DRX del ALM-TT se observan picos en  $2\theta=28.4^\circ$ ,  $40.5^\circ$  y  $29.3^\circ$  que indican la formación de cloruro de potasio y carbonato de calcio producto del tratamiento térmico. Por último, la ausencia de picos en el patrón de DRX del ALM-PC puede indicar el desordenamiento de las fases presentes en el pigmento por la remoción de las impurezas durante el lavado con HCl. Cabe destacar que la presencia de las crestas localizadas entre  $10^\circ$  y  $17^\circ$ , y entre  $20^\circ$  y  $30^\circ$ , se corresponden a los planos (001) y (002), respectivamente, de la estructura del grafito (Gonzalez-Canché *et al.*, 2021; Martínez-Mireles *et al.*, 2022). La permanencia de estos planos tras el lavado advierte la supervivencia de algunas fases gráficas dentro de la estructura amorfa del ALM-PC.

La figura 2b muestra la aparición de las tres bandas distintivas de los materiales con estructura tipo óxido de grafeno (D, G y 2D) en los espectros Raman de ALM-TT y ALM-PC, mientras que en el espectro del ALM no se observa ninguna señal significativa. La relación entre las intensidades de los picos D y G que aparecen en la figura son una medida del grado de desorden estructural contenido en el ALM-TT y ALM-PC, las cuales indican que el TT en aire efectuado sobre los almendros promovieron la formación de estructuras gráficas y que tras el lavado éstas no se vieron afectadas, pues se observa que el valor  $I_D/I_G$  disminuyó de 0.6733 a 0.6235, indicando la reducción del desorden estructural dentro del material.

En la figura 2c se muestran las curvas obtenidas del análisis termogravimétrico y térmico diferencial realizado sobre el ALM en las que se observan tres picos que indican las temperaturas con mayor pérdida de masa, la primera, que ronda entre 30 y 150°C, se puede asociar con la pérdida de humedad remanente contenida en *T. catappa*. Mientras que al segundo (290°C) y tercer

(425°C) pico se les asocia con la descomposición de los componentes principales de las biomásas lignocelulósicas: hemicelulosa, celulosa y lignina, que es el caso de la planta que estudiamos aquí; lo cual se corresponde con lo reportado por Gonzalez-Canché *et al.* (2021).

### Desempeño térmico de los recubrimientos

Las temperaturas alcanzadas por cada recubrimiento tras ser expuesto a la radiación solar real se muestran en las figuras 2d, 2e y 2f. Donde se observa que los de almendro son capaces de alcanzar temperaturas iguales o incluso mayores que los de la pintura comercial HI-Temp de Zynolyte. En especial aquellos sustratos con una y dos capas. En cambio, se observa que la que posee tres capas de pintura es la que menor temperatura alcanza, pero por encima del control (S0), esto es indicativo de que debe existir un grosor límite para el cual las propiedades térmicas alcanzan un máximo y pasado éste decaen.

### Absortancia solar y emitancia térmica de los recubrimientos

En la figura 2g se observan los espectros de radiación solar estándar ASTM G173-03 y el de emisión de un cuerpo negro a 100°C (arriba) con los que fueron ponderados los revestimientos. También se muestran sus respectivas curvas de reflectancia (abajo-izquierda) y sus espectros de emisión (abajo-derecha) en el rango que va de los 200 nm a los 15,000 nm; es decir, del ultravioleta al infrarrojo.

En la tabla I se puede observar que las placas con 1, 2 y 3 capas de pintura de almendro (S1, S2 y S3, respectivamente) presentaron absorbancias muy similares entre sí, siendo sus valores muy próximos a 85% y ligeramente mayores que el presentado por la pintura comercial de Zynolyte (S4), que mostró una absorbancia de 84.21%. Por otro lado, las emitancias varían de manera considerable de un recubrimiento a otro. Siendo S1 el de menor valor, 78.12%, y S4 con el valor de emitancia más alto, 88.81%.

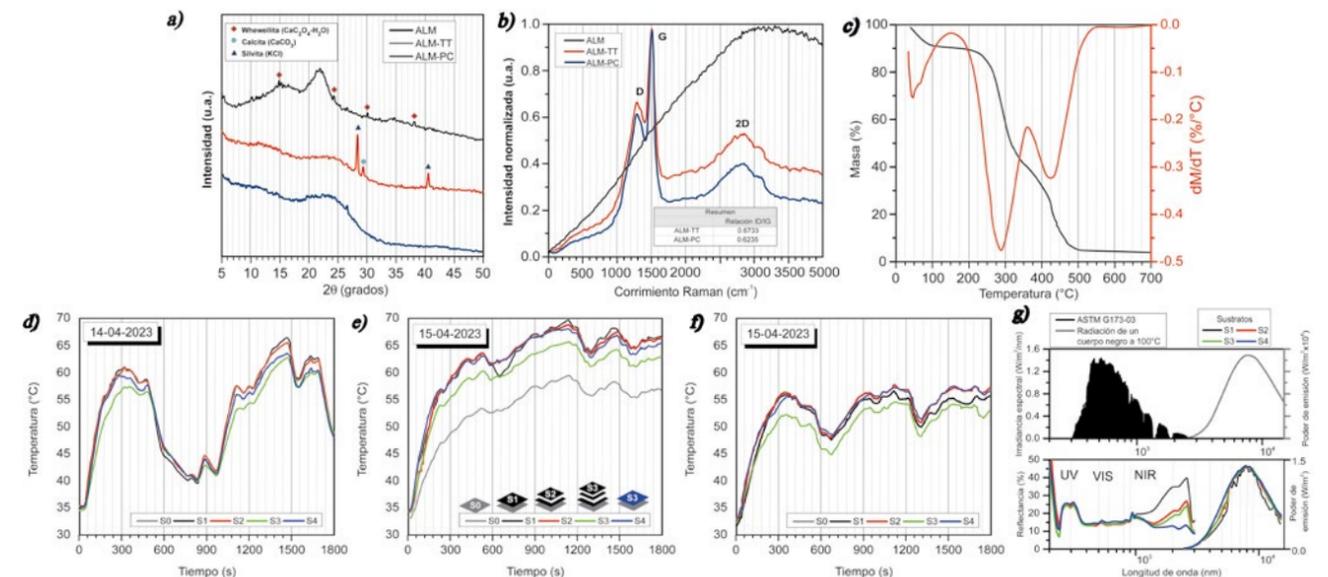


Figura 2. a) Difractograma del ALM, ALM-TT y ALM-PC. b) Espectro Raman del ALM, ALM-TT y ALM-PC. c) Termograma del ALM. Comportamiento térmico de los sustratos bajo condiciones reales de radiación solar en los días d) 14, e) 15 y f) 16 de abril de 2023. g) Curvas de reflectancia y emitancia de los sustratos.

Para conocer cuál ofrece las mejores propiedades selectivas, basta con mirar sus relaciones  $\alpha/\varepsilon$ ; de modo que el que posea la mayor relación  $\alpha/\varepsilon$  tendrá la mayor selectividad, es el caso de aquél que tiene una capa. Seguido del de dos, luego el de tres y por último el comercial. Comparando los valores de selectividad obtenidos en este trabajo con los reportados por López-Sosa *et al.* ( $\alpha=96.8\%$ ,  $\varepsilon=924\%$ ,  $\alpha/\varepsilon= 1.04$ ), que han sido los más altos hasta el momento, se observa que los ESAC desarrollados aquí alcanzan una mayor selectividad.

**Tabla I. Comparación de las absorptancias y emitanancias promedio de los recubrimientos de almendro.**

Sustrato	$\alpha$ (%)	$\varepsilon$ (%)	$\alpha/\varepsilon$
S1	84.71	78.12	1.084
S2	85.28	85.99	0.992
S3	85.26	87.13	0.979
S4	84.21	88.81	0.948

## CONCLUSIONES

Los resultados del análisis fisicoquímico apuntan a que el pigmento de almendro obtenido en este trabajo posee una estructura de tipo óxido de grafeno (GO), sin embargo, hacen falta mayores estudios que confirmen si podría considerarse un óxido de grafeno reducido (rGO) u otra clase de GO. Por otro lado, los análisis realizados sobre los recubrimientos corroboran el impacto que tiene el grosor de éstos sobre sus propiedades selectivas. Se observó que el aumento en las capas de pintura en los de almendro no mejoró los valores de absorptancia, pero sí empeoró los valores de emitanancia al aumentarles de valor.

Comparando las selectividades de estos recubrimientos con lo reportado previamente en la bibliografía y con los valores del comercial, puede concluirse que los ESAC de almendro cuentan con valores de absorptancia y emitanancia parecidos con los del mercado actual empleados en colectores solares domésticos ya que probaron alcanzar temperaturas de alrededor de los 70°C. Pese a que la metodología mostrada posee un alto consumo energético y emplea ácidos fuertes, en comparación con la manera con la que se fabrican los SACs tradicionales, existe una clara disminución del impacto ambiental por la disminución del tiempo de tratamientos térmicos y por el uso de materiales locales como *T. catappa* en las regiones tropicales, pues ya no hay necesidad de importar materia prima especial de otros países.

Con ayuda gubernamental o empresarial los ESAC podrían ser la clave no sólo de la reducción del impacto ambiental que tiene la industria térmica-solar actualmente, también de los costos por la facilidad de su producción y potencial escalamiento. En definitiva, en la búsqueda de satisfacer de manera responsable la creciente demanda de tecnologías sustentables y la búsqueda de nuevos y mejores materiales, no sólo aquéllos derivados del carbono, se deben crear estudios que desarrollen metodologías amigables con el medio ambiente. Este trabajo, y los que le precedieron, son el primer paso para que esto ocurra.

## REFERENCIAS

Jáuregui-Zúñiga, David, y Moreno Cárcamo, Abel. (2004). La biomineralización del oxalato de calcio en plantas: retos y potencial, *Revista de Educación Bioquímica*, 23 (1), pp. 18-23.

Dos Santos, IC.F, de Carvalho, Sandra, Solleti, J.I., *et al.* (2008). Studies of *Terminalia catappa* L. oil: Characterization and biodiesel production,

*Bioresource Technology*, 99(14), 6545-6549, DOI: 10.1016/j.biortech.2007.11.048

Hevira, Linda, Munaf, Edison, y Zein, Rahmiana. (2015). The use of *Terminalia catappa* L. fruit shell as biosorbent for the removal of Pb(II), Cd(II) and Cu(II) ion in liquid waste, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(3), 79-89.

López-Sosa, Luis Bernardo, Hernández-Ramírez, Luis Mariano, Gonzáles-Avilés, Mauricio, *et al.* (2020). Ecological solar absorber coating: A proposal for the use of residual biomass and recycled materials for energy conversion, *Solar Energy*, 202, 238-248, DOI: 10.1016/j.solener.2020.03.102

González-Canché, Nancy Guadalupe, Carrillo Baeza, José Gonzalo, Escobar-Morales, Beatriz, *et al.* (2021). Physicochemical and Optical Charac-

terization of *Citrus aurantium* Derived Biochar for Solar Absorber Applications, *Materials*, 14, 47-56, DOI: 10.3390/ma14164756

Sathishkumar, Palanivel, Arulkumar, Mani, Ashokkumar, Veeramuthu, *et al.* (2015). Modified phytowaste *Terminalia catappa* fruit shells: a reusable adsorbent for the removal of micropollutant diclofenac. *Royal Society of Chemistry*, 5, 30950-30962, DOI: 10.1039/c4ra11786g

Martínez-Mireles, Paola Elizabeth, Peña-Cruz, Manuel Ignacio, Escobar-Morales, Beatriz, *et al.* (2022). Physicochemical and optical properties of a sustainable and low cost solar absorber coating based on activated carbon from coconut shell, *MRS Advances*, 32(7), 991-996, DOI: 10.1557/s43580-022-00438-5

Recibido: 27/11/2023  
Aceptado: 18/03/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.



# TRANSFORMANDO LA INDUSTRIA DEL NOPAL:

## BIORREFINERÍAS Y EL CAMINO HACIA LA BIOECONOMÍA CIRCULAR

Kenia Aylín Carrillo-Verástegui\*, Héctor M. Poggi-Varaldo\*\*,  
Carlos Escamilla-Alvarado\*

\* Universidad Autónoma de Nuevo León, Apodaca, México.

\*\*CINEVESTAV-IPN Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Contacto: carlos.escamillav@uanl.edu.mx; kenia.carrillovrs@uanl.edu.mx;  
lazarillodetormes1001@gmail.com



El nopal es una planta emblemática de México, presente en la cultura del país desde la gastronomía hasta la arqueología; es un símbolo nacional y de identidad mexicana. Por nopal (en inglés como *prickly pear* o cactus, y chumbera en España) se le conoce indistintamente a una gran variedad de especies y géneros de cactáceas, la más común, comestible y de mayor nivel económico en el mundo, conocida por su nombre científico, es *Opuntia ficus-indica*. Las pencas –o cladodios jóvenes– y la tuna son alimentos muy nutritivos y el conocimiento tradicional mexicano les ha atribuido beneficios medicinales para tratar la arteriosclerosis, la diabetes, la gastritis y la hiperglucemia (Aruwa et al., 2019). Por su constitución, son fuente renovable de materias primas de alto valor agregado: carbohidratos, antioxidantes y pigmentos. Adicionalmente, su transformación en biocombustibles y fertilizantes es posible y deseable ante la necesidad de encontrar alternativas de energía y de nutrientes orgánicos (Quintanar-Orozco et al., 2018).

Debido a sus diversas aplicaciones, esta planta multifacética sería una excelente propuesta para convertirse en un cultivo aprovechable mediante su procesamiento exhaustivo utilizando el concepto de biorrefinería.





## DISTRIBUIDO POR TODO EL MUNDO

Esta planta, originaria de Mesoamérica, crece en todo el planeta, especialmente en América Latina, el Mediterráneo, África, Medio Oriente, Australia e India, gracias a que necesita poca agua, soporta el calor y puede crecer en suelos pobres o secos (Stintzing y Carle, 2005). En América es posible encontrarlo desde Canadá hasta la Patagonia. Aunque México es el mayor consumidor en el mundo, Brasil se destaca en su eficiente cosecha y principal utilidad como forraje.

En México se han determinado 93 especies de *Opuntia* silvestres y ocho de *Nopalea*, de las cuales 62 son endémicas, con lo que se sugiere que este territorio es el centro de origen del

género (Scheinvar *et al.*, 2011). Las zonas semiáridas del país, especialmente en el norte, ocupan 3 millones de hectáreas con suelos de baja calidad, pero con especies que pueden usarse como alimento o forraje (Financiera Rural, 2011).

El uso comercial (forraje, verdura y tuna) abarca 75,489 hectáreas (SIAP, 2022), que generan 65 toneladas de pencas y de cuatro a ocho de desechos por hectárea al año. Si su cultivo se expandiera abarcando las tierras ociosas y los terrenos áridos y con bajos niveles de fertilidad, habría un incremento de hasta 200 millones de toneladas de pencas y 12 millones de toneladas de residuos anuales.

## DE NOPALES A ENERGÉTICOS

Dado que *Opuntia* es una biomasa rica en carbohidratos, se ha convertido en biometano, biohidrógeno y bioetanol, algunos de los bioenergéticos más populares. Carrillo-Verástegui *et al.* (2022) reportaron por primera vez la producción de hidrógeno a partir de tres tipos de *Opuntia* y determinaron que se podía obtener biometano de su biomasa previamente sometida a extracción de compuestos fenólicos. Aunque se obtiene menos bioetanol que de la caña de azúcar y la remolacha azucarera, su uso como bioenergético se justifica al no competir con su uso en alimentos debido al subaprovechamiento de la superficie disponible para su siembra, además de los residuos que se generan de su cosecha.



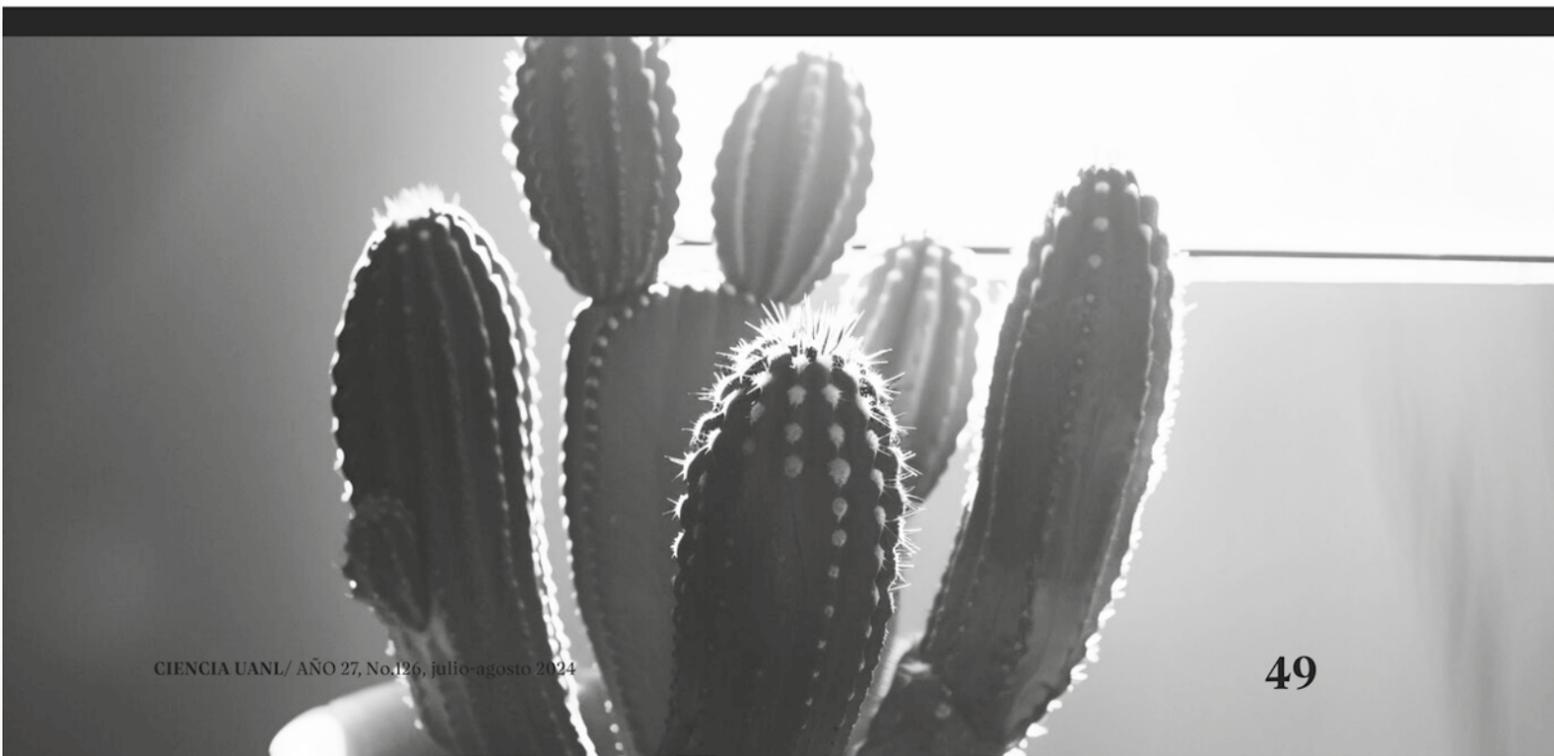
## EL NOPAL COMO FUENTE DE PRODUCTOS NATURALES BIOACTIVOS

*Opuntia* ha sido una fuente de antioxidantes, pectina, mucílago y bioadsorbente. Se le han atribuido propiedades antiproliferativas, neuroprotectoras y hepatoprotectoras. Los antioxidantes más reportados para *O. ficus-indica* son el ácido gálico, quercetina, isorhamnetina y kaempferol (Aruwa *et al.*, 2019). Por su parte, los flavonoides son compuestos de alto valor agregado ya que actualmente se pueden

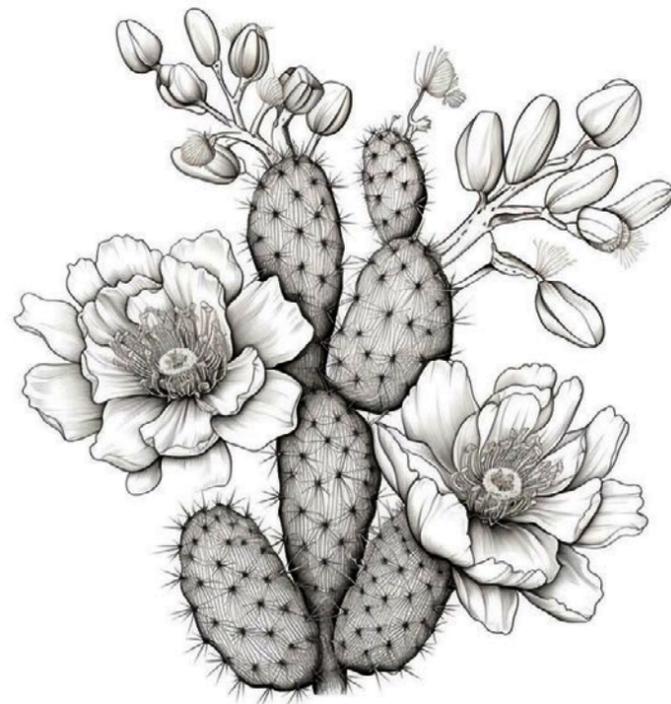
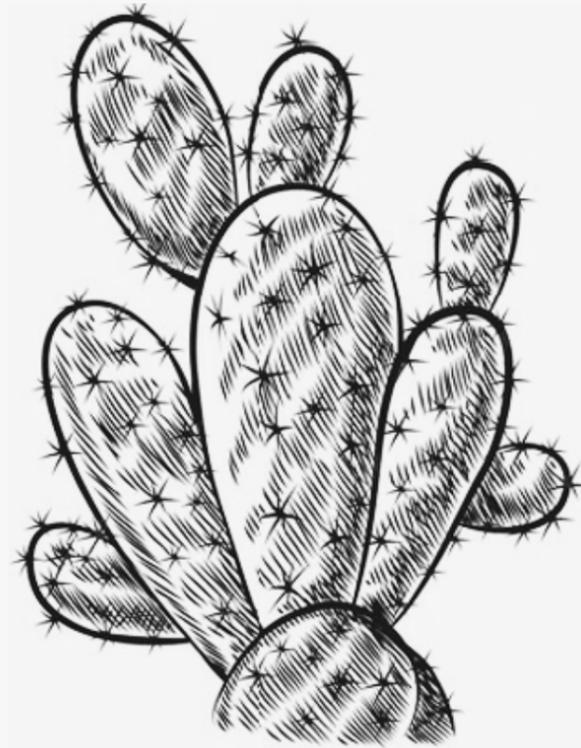
encontrar en cápsulas a manera de suplemento alimenticio, un ejemplo son las tabletas de 500 mg de quercetina que pueden costar \$800 pesos mexicanos las 60 unidades. Adicionalmente, los cladodios proveen vitaminas, carotenoides y ácidos orgánicos: oxálico y málico (Stintzing y Carle, 2005).

## DE LA ECONOMÍA LINEAL A LA BIORREFINERÍA DE NOPAL

Por su composición y características, presenta un gran potencial de uso como sustrato de biorrefinerías, es decir, "instalaciones versátiles dedicadas al uso eficiente y a la transformación exhaustiva de la biomasa en un espectro de bioproductos" (Rodríguez-Valderrama, 2018), y de su incorporación al concepto de bioeconomía circular, que a su vez consiste en el aprovechamiento holístico de los recursos naturales biomásicos, disminuyendo el desperdicio, minimizando impactos ambientales y maximizando la eficiencia en el uso de recursos (García-Bucio *et al.*, 2022).



El avance más relevante en este sentido es la propuesta teórica de Margain Sato Matsumoto (2019), la cual busca convertir al nopal y la tuna en materias primas de una cadena productiva que permite la obtención simultánea de fruto deshidratado para consumo humano, jugos y el aprovechamiento de los residuos en aceites, pectina, betanina, mucílago, biogás y fertilizante. En nuestro grupo de investigación también se ha avanzado notablemente en aspectos importantes sobre la biorrefinería. Ávila-Lara (2019) propuso el uso de hidrolizados de *Opuntia* en la generación de ácido succínico y recuperar oxalato decalcio.



Además, Carrillo-Verástegui et al. (2022) han explorado la extracción de compuestos con propiedades antioxidantes y la manufactura de metano e hidrógeno. Por otro lado, Villela-Buenrostro (2018) realizó estudios de factibilidad ambiental utilizando análisis de ciclo de vida. Estos trabajos evaluaron la viabilidad técnica y ambiental de estrategias integrables a la biorrefinerías de nopal, considerando imperativo el evitar la competencia por recursos naturales con la agricultura alimentaria.

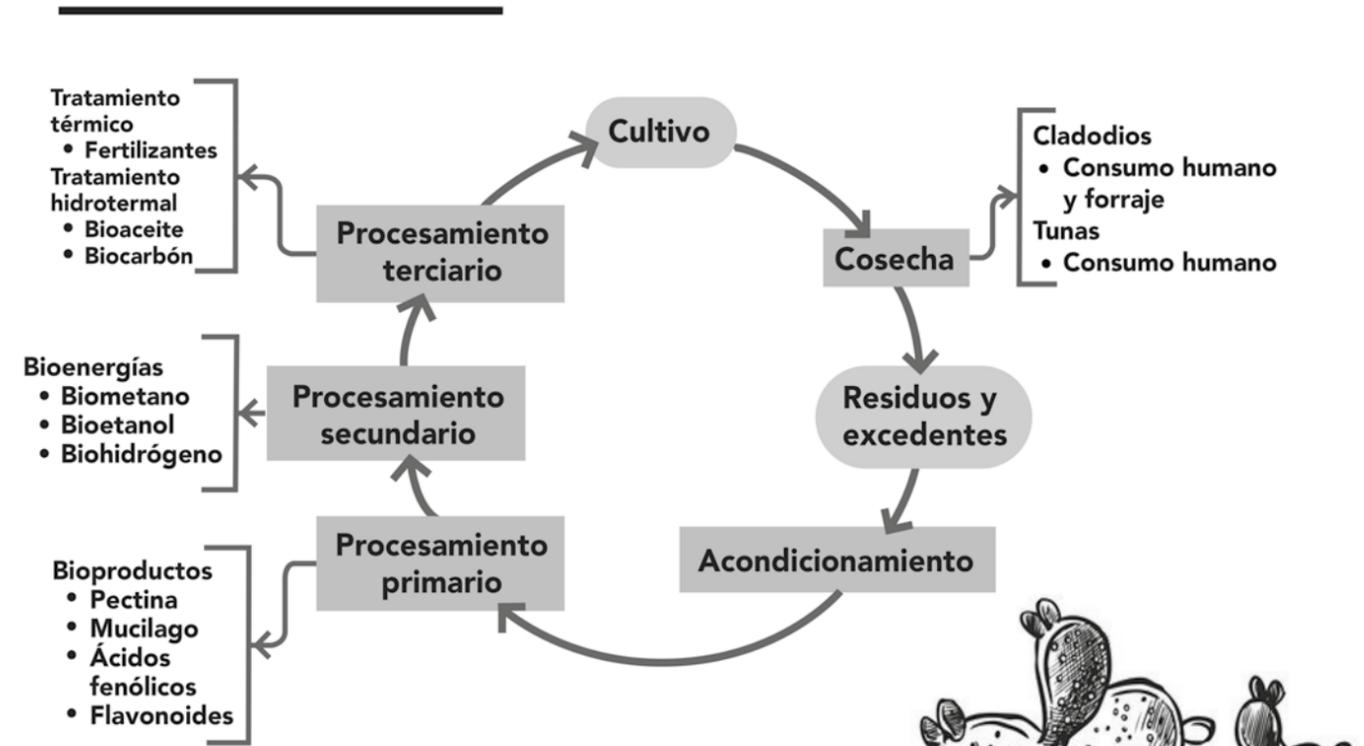
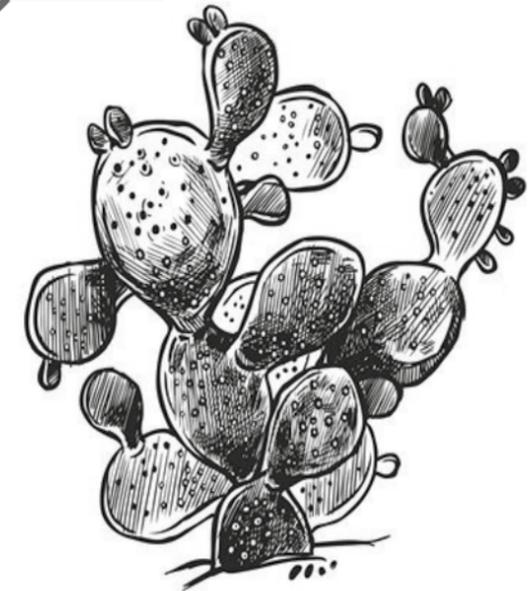


Figura 1. Circularidad del aprovechamiento del nopal.



La figura 1 muestra el enfoque de circularidad aplicado al aprovechamiento exhaustivo del nopal. La misma hace énfasis en la necesidad de utilizar primordialmente los cladodios y tunas para consumo humano, cuyos excedentes y residuos se valorizarán en bioproductos y bioenergéticos por medio de una sucesión de procesamientos hasta la obtención de fertilizantes y biocarbón, que se reintegran al sitio de cultivo y de esta manera cerrar el ciclo productivo. Es pertinente resaltar que se requiere evaluar fehacientemente la sostenibilidad de estos modelos, tomando en cuenta los aspectos ambientales, económicos y sociales, así como sus relaciones intrínsecas y con la bioeconomía circular (Nallapaneni et al., 2023).

El análisis bibliométrico de las palabras “*O. ficus-indica*”, “bioeconomía” y “biorrefinerías” señala que su novedad es tal que a nivel científico sólo existe un reporte que los aplica conjuntamente al aceite de las semillas de la tuna (Ciriminna *et al.*, 2017). El análisis de otros trabajos que relacionan dos de las tres palabras, muestra que éstos se centran en una sola parte de la planta (tuna o cladodios), en unos cuantos subproductos (ácidos orgánicos, solventes, antioxidantes), bienergéticos (metano) o residuos (hidrolizados), sin tomar en cuenta la necesidad de valorización holística de *Opuntia*.

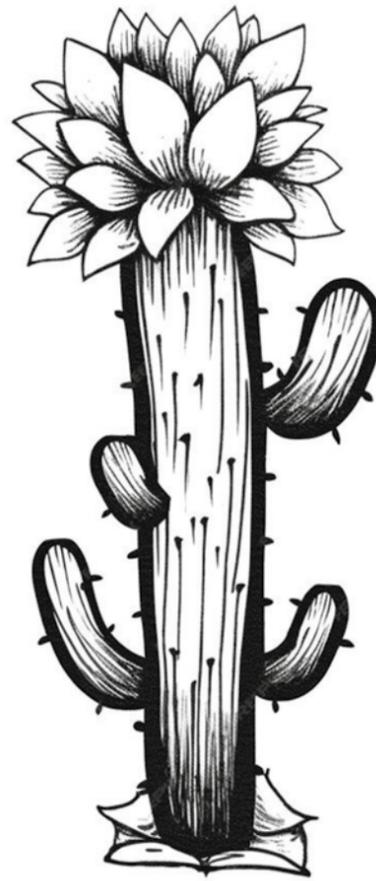
## REFLEXIONES FINALES

El nopal es un recurso versátil y valioso con diversos usos en la industria alimentaria, la medicina, la generación de bioenergía y la conservación del medio ambiente. Sus subproductos pueden competir exitosamente con aquéllos provenientes de fuentes fósiles. Su cultivo de bajo consumo de agua es adaptable a tierras áridas, semiáridas, en desuso o descuidadas. Su integración en la bioeconomía circular mediante biorrefinerías es virtualmente viable considerando que su siembra se realice preferentemente en áreas donde se evite competir con las tierras agrícolas destinadas a la producción de alimentos.

## REFERENCIAS

Aruwa, C.E., Amoo, S.O., y Kudanga, T. (2019). Phenolic compound profile and biological activities of Southern African *Opuntia ficus-indica* fruit pulp and peels, *Lwt*, 111(May), 337-344, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.028>  
 Ávila-Lara, A.I. (2019). *Evaluación del bagazo de Agave tequilana Weber variedad azul y de Opuntia ficus-indica en pretratamientos químicos y enzimáticos para su aplicación en la producción de ácido succínico*, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Carrillo-Verástegui, K.A., Escamilla-Alvarado, C., Escárcega-González, C.E., *et al.* (2022). Biohydrogen potential assessment of *Opuntia* spp.: Effect of inoculum-to-substrate ratio and residual biomass evaluation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(70), 30085-30096, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.138>  
 Ciriminna, R., Delisi, R., Albanese, L., *et al.* (2017). *Opuntia ficus-indica* seed oil: Biorefinery and bioeconomy aspects, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(8), 1-5, <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700013>



Financiera Rural. (2011). *Monografía del nopal y la tuna*, <https://www.yumpu.com/es/document/read/17605434/monografia-del-nopal-y-la-tuna-financiera-rural>

García-Bucio, P., Sotelo-Navarro, P.X., Poggi-Valardo, H.M., *et al.* (2022). Indicadores de la bioeconomía circular para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 78-92, <https://doi.org/10.20937/RICA.54350>

Margain Sato Matsumoto, P.K. (2019). *Estudio sobre la viabilidad técnica de biorrefinerías de Opuntia ficus-indica*, Universidad de Sevilla. Nallapaneni, M.K., Haque, M.A., y Patwary, S. (2023). It Is Time to Synergize the Circularity of Circular Bioeconomy with Sustainability and Resiliency Principles, *Sustainability (Switzerland)*, 15(16), <https://doi.org/10.3390/su151612239>

Quintanar-Orozco, E.T., Vázquez-Rodríguez, G.A., Beltrán-Hernández, R.I., *et al.* (2018). Enhancement of the biogas and biofertilizer production from *Opuntia heliabravoana* Scheinvar, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(28), 28403-28412, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2845-x>

Rodríguez-Valderrama, S. (2018). *Enfoque de biorrefinería para la producción de hidrógeno y metano a partir de residuos orgánicos*, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Scheinvar, L., Olalde Parra, G., y Sule, D. (2011). *Especies silvestres de nopales Mexicanos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Informe Final SNIB-Conabio, Proyecto No. GE005.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Anuario estadístico de la producción agrícola*, <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>  
 Stintzing, F.C., y Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses, *Molecular Nutrition and Food Research*, 49(2), 175-194. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400071>

Villela-Buenrostro, J.G. (2018). *Análisis de ciclo de vida de una planta de digestión anaerobia a partir de nopal para la generación de 1 MW de electricidad*, Instituto Politécnico Nacional.

Recibido: 27/11/2023  
 Aceptado: 19/02/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.





Al pie de la letra

## Biocombustibles

240

LA  
CIENCIA  
PARA  
TODOS

ECOLOGÍA

JOAQUÍN  
PÉREZ PARIENTE*Sus implicaciones energéticas,  
ambientales y sociales*Héctor Mario  
Poggi-Varaldo\*

\* Asociación de Biotecnología, Ingeniería Ambiental y Energías Renovables, A.C., Ciudad de México, México.

Contacto: lazarillodetormes1001@gmail.com

Energía  
en el  
siglo XXIPérez-Pariente, Joaquín.  
(2016). *Biocombustibles. Sus implicaciones energéticas, ambientales y sociales*, México, FCE/SEP/Conahcyt.

Me encontré con este libro en una feria-exhibición del Fondo de Cultura Económica (FCE) en el Cinvestav del IPN a fines del año pasado, en la que también iba a dar una conferencia el director del FCE, Paco Ignacio Taibo II, pero que no cristalizó debido a una enfermedad del titular.

Dos rasgos atrajeron mi atención sobre el libro: su título de *Biocombustibles* que funcionó como anzuelo principal, y el hecho de que el autor fue director del Instituto de Oleoquímica y Petróleo de España. Me pregunté, ¿qué podrá decir un petrolero español sobre los biocombustibles?, ¿se manifestará algún sesgo en contra de éstos? La respuesta a estos dos rasgos esperará hasta el final de la reseña.

El libro es pequeño, de divulgación, en rústica, y puedo adelantar que es una contribución valiosa en ese género. La edición está muy cuidada, e incluye figuras en colores,

varios cuadros informativos (tablas), Prólogo, contenido o índice principal, Glosario, y un corto Anexo de unidades de energía. Carece de índice alfabético al final, pero realmente no se extraña su ausencia.

El contenido se divide en cinco grandes secciones o capítulos, a saber: 1. Factores que condicionan el desarrollo de fuentes de energía alternativas; 2. Combustibles sintéticos obtenidos a partir de fuentes distintas del petróleo y de la biomasa; 3. Qué son y cómo se obtienen los biocombustibles; 4. Sostenibilidad de los biocombustibles-balances de emisiones de gases invernadero y de energía; 5. Conclusiones (que debió llamarse Conclusión).

Rescato cuatro puntos muy significativos: (i) el autor practica y recomienda el uso de balances de energía y de la EROI (*energy return on investment*), así como del índice de energía obtenible por unidad de masa de un combustible/energía fósil in-

vertida para obtener esa unidad de masa, que debe ser mayor a 5 preferiblemente (capítulos 2 y 4); (ii) la definición de energía renovable (Glosario) como aquella que se pueda regenerar completamente en periodo suficientemente largo de análisis (que no se agote, por ejemplo, la madera no es renovable si la deforestación y otras malas prácticas reducen su generación y la agotan o desaparecen; esto pasó en la Inglaterra de la Revolución Industrial); (iii) la recomendación de incorporar el análisis de ciclo de vida a biocombustible y especialmente a agrocombustibles (capítulos 4 y 5), puesto que además de no ser suficiente su potencial para sustituir la demanda energética actual y de mostrar un índice de energía obtenible cercano a 1 (muy bajo), su práctica y extensión podría tener consecuencias ambientales y sociales muy negativas, y (iv) el autor se esfuerza por demostrar las afirmaciones con cálculos matemáticos (balances de masa y energía) simples, que no exceden el álgebra de cuatro operaciones y la regla de proporcionalidad.

A pesar de mis dudas iniciales, Pérez-Pariente demuestra objetividad y acepta la crisis de la energía fósil y por consiguiente del petróleo. Va recorriendo las energías alternativas y en casi todas ellas demuestra sus limitaciones, y que no son suficientes para sustituir el petróleo y otras fuentes fósiles; además, determina, típicamente, la fracción máxima que puede cubrir cada tipo respecto a la demanda de energía fósil actual para que el lector se forme criterios y fije conceptos, nunca le pide que crea en sus opiniones, sino que se esfuerza por demostrar lo afirmado.

Así, los combustibles sintéticos no basados en petróleo, carbón y gas natural, no son candidatos factibles porque su contenido energético útil es del orden de la energía invertida para sintetizarlos (capítulo 2). Dentro de los biocombustibles, el autor demuestra que los agrocombustibles a lo sumo llegarían a suplir no más de 30% de la demanda actual aun con el imposible

escenario de que toda la tierra fértil se dedicara a generarlos (algo terrible en impactos negativos ambientales y sociales).

Cuando se desarrolla la alternativa de biodiesel a partir de algas, Pérez-Pariente demuestra que la producción de la roca fosfórica que se necesita como nutriente para cultivos de algas oleaginosas ya llegó a su máximo en los países que proveen de ese mineral, y que ese máximo ya lo están utilizando los cultivos agrícolas de alimentos humanos y animales. O sea, que el biodiesel procedente de algas está limitado por el fosfato (capítulo 4).

Queda la alternativa de biocombustibles a partir de residuos (aunque tampoco cubriría una fracción importante de la demanda actual) que debería aunarse a la solar, eólica, hidroeléctrica y otros tipos menores (geotérmico y mareas/olas) para que en conjunto conformen una plataforma de energías alternativas, suficientes y renovables o cuasi renovables.

Pérez-Pariente muestra madurez al dejar fuera de la matriz nueva de energías alternativas a la nuclear, toda vez que la opción comercial es de fisión y muy contaminante. La fisión nuclear no resistiría un análisis de ciclo de vida.

En conclusión, es un libro que mantiene su actualidad y el interés a pesar de haber sido publicado en 2016. Cumple cabalmente con su papel de divulgación y lo excede. Es una fuente de información valiosa para formar criterios en los lectores, y puede asistir en la docencia de cursos sobre bioenergías, biocombustibles, y en menor grado en los de sostenibilidad. El autor ha hecho un esfuerzo honesto y objetivo de análisis del tema energético en el siglo XXI, y la conclusión sobre la insuficiencia de los biocombustibles para sustituir la demanda energética fósil actual y, en particular, la de los agrocombustibles, está basada en balances de energía y masa simples pero correctos.



Descarga aquí nuestra versión digital.



# El cuidado del ambiente desde una perspectiva holística: el enfoque de la doctora Leticia Durand Smith

La doctora Leticia Durand Smith es licenciada y maestra en Biología por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y tiene un doctorado en Antropología por la Facultad de Filosofía y Letras de la misma institución. Ha desarrollado investigación en áreas protegidas de Los Tuxtlas (Veracruz), en la Sierra de Huautla (Morelos) y en la Selva Lacandona (Chiapas), sobre temas vinculados a la ecología política de la conservación. Actualmente desarrolla un proyecto ligado a las vertientes posthumanistas de la ecología política y la etnografía multiespecie, explorando la noción de agencia vegetal en torno al recalcado masivo de sargazo en el Caribe mexicano.

Además de su labor académica, donde ha publicado numerosos artículos, capítulos del libro y un libro, ha sido asesora en programas de Biología en la Secretaría de Educación Pública y colaboradora de la Conabio. Desde 2004 es investigadora del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la UNAM.



**María Josefa Santos-Corral\***  
 \*Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.  
 Contacto: [mjsantos@sociales.unam.mx](mailto:mjsantos@sociales.unam.mx)

## ¿Cuándo y cómo descubre la doctora Durand su vocación por la investigación?

Bueno, yo creo que mi vocación se encuentra vinculada a la historia de mis padres. Los dos son sociólogos y dedicaron su vida a la investigación. Desde chica siempre los vi leer y escribir, ellos platicaban de sus seminarios, de sus clases, de sus libros. Digamos que la investigación fue cercana a mí desde pequeña. Después, cuando empecé a hacer mi licenciatura en Biología, en la Facultad de Ciencias en 1986, me tocó una época en la que la disciplina de la ecología se estaba consolidando e institucionalizando en México. Se fundó, por ejemplo, el Centro de Ecología, todavía no era Instituto, en el que había muchos investigadores e investigadoras jóvenes, lo mismo ocurría en la Facultad de Ciencias. Todos eran muy entusiastas y comprometidos con su trabajo, algunos nos daban clases, a mí me parecía muy interesante, me encantaba lo que hacían, las largas temporadas de campo, en las que tenía que transformar las observaciones en datos, luego en gráficas y análisis, posteriormente reflexionar sobre cómo a partir de ellas podríamos entender lo que sucedía en el sistema o lo que hacían los animales.

Después hice mi servicio social en el Herbario del Instituto de Biología, que también era un lugar maravilloso, una colección gigante de plantas. Resultaba muy impresionante observar todas las que se encontraban ahí, cómo se preparaban y se guardaban, la información que se tenía en cada uno de los ejemplares, los lugares de donde provenían, etcétera.

Esos años en la licenciatura fueron muy emocionantes y pronto me di cuenta de que no había mejor plan que poder hacer eso toda la vida, esa posibilidad de dedicarse a estudiar, a leer y a entender que nos da la investigación, en Biología y en Antropología, además de conocer sitios nuevos, viajar, fue especial, me gustaba mucho. Así me acerqué y tuve la gran fortuna de poder quedarme ahí y continuar en ello.



## ¿Qué la lleva a elegir el tema de conservación del ambiente?

Creo que no fue una decisión muy consciente, más bien fue un camino que se fue abriendo poco a poco. Terminé mi licenciatura más o menos en 1992, en ese año se realizó la gran cumbre de la tierra en Río de Janeiro, y fue el auge de la idea de desarrollo sustentable. Estábamos alrededor de la nueva noción que era la biodiversidad, buscando la manera de fomentar la protección de los ecosistemas, de los genes, de las especies. La discusión, el interés, estaban ahí. Al mismo tiempo, durante mis años en la facultad y en las prácticas de campo, conocí lugares hermosos de México, la costa del Pacífico, la Isla Isabel en Nayarit, los bosques de Molango en Hidalgo, la selva de los Tuxtlas en Veracruz; de alguna manera comenzó a ser difícil pensar que todo eso pudiera, en algún momento, desaparecer. Simultáneamente existía una discusión acerca de las consecuencias de los grandes proyectos de desarrollo y de modernización en México: el Plan Chontalpa, la Revolución Verde y los efectos a los ecosistemas que estos proyectos habían tenido.

Coincidió, además, que era el sexenio de Ernesto Zedillo cuando se fortaleció la construcción del andamiaje institucional para la gestión ambiental, hubo este gran impulso a las áreas protegidas. Así, éstas y la conservación parecían, en general, una buena solución a los problemas ambientales, algo que teníamos que hacer, pero al mismo tiempo había un montón de derivaciones muy complejas en las comunidades que ahí vivían y que eran impactadas al decretar su territorio área protegida.

Me parecía bien indagar sobre la tensión entre el discurso global que la presenta como algo deseable, coherente, adecuado, y al mismo tiempo las dinámicas locales, donde las áreas protegidas y las restricciones en torno al uso de los recursos trastocan la vida de las personas, sus costumbres, sus formas de producción. Con ello en mente, durante mis



estudios de doctorado empecé a trabajar en los Tuxtlas, tratando de entender justo eso, la manera en que los habitantes locales comprenden y experimentan las políticas de conservación, cómo narran la degradación o la transformación del entorno, cómo lidian con eso. Así empecé mi actividad.





## ¿Cuándo se da cuenta que al abordar los asuntos de la conservación, además de la formación biológica necesita una en Ciencias Sociales?

Entre la licenciatura y el doctorado laboré algunos años en la Conabio. Llegué a colaborar con el primer estudio que publicó la Comisión sobre el país: un análisis del estado de la biodiversidad en México. Eso fue superinteresante, era la primera vez que se hacía ese tipo de trabajo en nuestro país y éramos un buen equipo. Lo que me sorprendió en la Comisión, bajo mi formación en Biología, era nuestro discurso de biólogos, en el que se hablaba demasiado de las especies, los ecosistemas, la importancia de preservar sin ver las consecuencias negativas para alguien, o que hubiera otras formas más allá de las que venían de la práctica hegemónica.

En el trabajo de campo que realicé durante la licenciatura en la Isla Isabel, en las costas de Nayarit, me di cuenta de eso. Ahí los biólogos trabajábamos con las aves marinas, pero había pescadores que vivían en la isla y con quienes interactuábamos, sin embargo en nuestros artículos no figuraban. No sabíamos lo que hacían, sus problemas, lo que experimentaban, es decir, esas comunidades no representaban un tema para los biólogos o la conservación, desde la perspectiva biológica eran otras las preocupaciones. De manera que cuando llegué a la Conabio y empezamos a hacer el análisis de la biodiversidad, me va quedando claro que las comunidades no pueden dejarse de lado, sino que todo está mezclado, que no podemos hablar de biodiversidad, de defensa, si no consideramos a las personas que habitan esos espacios; que la conservación tiene sus costos. Ahí fue que decidí hacer mi doctorado en Antropología y también fui feliz.



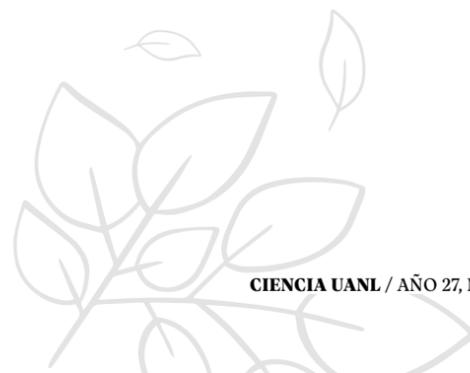
## Desde la perspectiva multidisciplinaria que le permite hacer un análisis internalista de la conservación, pero, además, contextualizar el papel de las sociedades en ésta, ¿cuál considera que es su principal aporte a los estudios de cuidado del ambiente?

Creo que mi aportación ha sido justamente eso: analizar que puede ser una práctica valiosa y loable, pero al mismo tiempo es una acción, son políticas que producen desencuentros, conflictos, disputas, conectadas con los diferentes modos en que nosotros observamos y comprendemos el entorno, o lo que llamamos naturaleza. También sobre cómo queremos encausar nuestra relación con todo aquello que nos rodea. Tal vez el aporte ha sido sugerir que dentro del ámbito de la conservación no podemos hablar sólo de una naturaleza, sino de muchos procedimientos para construir la realidad material que nos rodea, de dónde provienen esas tensiones, es decir, del encuentro de las diferentes concepciones de lo natural y nuestra forma de vincularnos y de actuar en función de ello. Tal vez mi aportación ha sido sugerir la posibilidad de proyectarla como una práctica y un discurso o una narrativa.



## ¿Cómo incide el asunto del poder en la protección del ambiente?

Si nosotros imaginamos el cuidado de la biodiversidad como un discurso, inevitablemente nos damos cuenta de que hay ideologías que predominan sobre otras, algunas visiones son sometidas o invisibilizadas, mientras otras gozan de toda la legitimidad. La explicación a esta dinámica es justamente el poder o el control de unos sobre las acciones, los escenarios o las ideas de otros. Muchos autores sugieren que





la verdad, lo que consideramos cierto o verdadero, es un producto de las relaciones de poder. Eso lo vemos claramente en la preservación. Hay tantas maneras de entender qué es la naturaleza. Hemos transitado, por ejemplo, de hablar de espacios naturales o salvajes, a hablar de la biodiversidad, del capital natural y ahora abordamos lo no humano o lo más que humano, cada una de esas nociones guarda visiones particulares del mundo, intereses, sugieren modos de vincularnos, de relacionarnos con otros, proponen acciones, maneras concretas de actuar.

En México sucede, tenemos muchas formas de entender la naturaleza y la conservación, por ejemplo, entre los propios científicos y las personas que la hacen desde las ONG, las visiones son variadas y tal vez lo más complicado es manejar la tendencia de pensar que hay sólo una opción útil, verdadera, porque anula la posibilidad de diálogo; en ese sentido, se niega la existencia de ese otro que ve distintas las cosas. Pienso que la preservación no puede ser efectiva sólo en términos ambientales o ecológicos, tiene que ser justa, eso supone una visión de justicia, que no sólo se relaciona con la redistribución, sino con el reconocimiento de otras visiones y su valor. Es por eso que la defensa de la biodiversidad y el poder, aunque los biólogos tal vez no lo vemos tan claramente, están tan vinculados y la ecología política nos lo explica muy bien.



### ¿Qué acciones considera usted son las que más incidirían en el cuidado del ambiente?

La verdad es que hace ya algún tiempo que no estoy vinculada con la investigación sobre áreas protegidas y las políticas de protección, pero sí creo que la idea de incorporar la noción de justicia es importante, es decir, las políticas no pueden sólo asentarse en datos ecológicos o geográficos, tienen que incorporar, además, las preocupaciones alrededor de la justicia, el



reconocimiento de la identidad del otro, la representación política de los involucrados. Creo que eso está vigente todavía, es algo que debe incorporarse al diseño y a la práctica de la conservación en México.

Ahora estoy más interesada en otro componente, vinculado a la ética, a la posibilidad de la existencia potencial de todos los seres, no sólo de los humanos. Considero que ante toda la destrucción y la devastación que nos toca vivir, se debe profundizar en las ideas de la conservación; preguntarnos no sólo qué preservar, sino cómo tenemos que ser nosotros los humanos al situarnos o resituarnos en el mundo. Creo que hay que preguntarnos qué significa ser humano y cómo podemos reconstruir o relaborar nuestros vínculos con los demás seres.



### ¿Qué le ha dado la UNAM a la doctora Durand y usted qué considera que le ha dado a la Universidad?

Decir que la UNAM me ha dado todo es decir poco; ahí estudié, me formé y encontré un gran trabajo. He conocido colegas entrañables y he hecho amigos para toda la vida. La UNAM ha sido un maravilloso espacio de reflexión y crecimiento.



¿Y sobre qué le he dado a la UNAM? No estoy tan segura, quiero creer que lo que he ofrecido en estos años es una labor comprometida y cuidadosa. Espero haber retribuido o retribuir lo que he recibido a través de mis clases, de los proyectos que dirijo con mis estudiantes, de la labor que tenemos en los órganos colegiados. Siempre con la intención de hacerlo responsablemente y también siendo amable. Yo creo que en estos tiempos ser amable siempre y con cada uno es algo muy importante y bueno, eso es lo que intento todos los días.

Descarga aquí nuestra versión digital.





# La apicultura como práctica para la sustentabilidad

De manera general, las abejas son de vital cuantía en la polinización de varias especies de plantas, con lo que contribuyen a sostener la diversidad biológica y el equilibrio de los sistemas naturales. Por consiguiente, suscita la conservación de estas comunidades de flora, muchas de las cuales se encuentran en peligro y bajo presiones muy altas debido a la deforestación.

En vista de lo anterior, la apicultura –una actividad tradicional sumamente relevante–, es decir, la crianza y empleo de abejas destinadas a la elaboración de miel, cera y polen, connota necesariamente la protección de áreas donde coexisten antófilos y plantas en codependencia, y de esta forma garantizar la supervivencia de dicha vinculación extraordinariamente simbiótica. Tal relación nos enseña cómo se conecta la naturaleza en sus componentes, para la perpetuación principalmente de la vida (Semarnat, 2023).

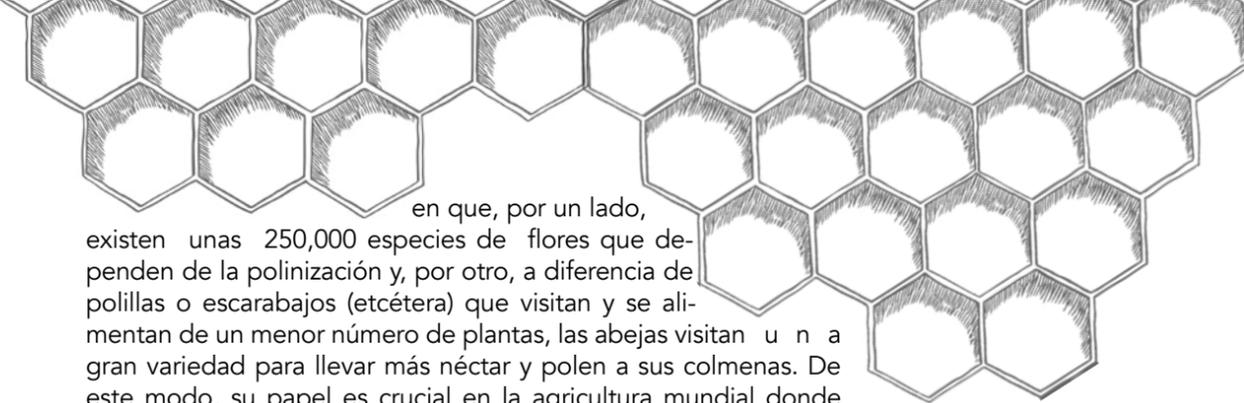
**Pedro César Cantú-Martínez\***

ORCID: 0000-0001-8924-5343

\* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.

Contacto: cantup@hotmail.com

En este sentido, la apicultura además nos permite claramente el discernimiento sobre lo que nos circunda, el mundo interconectado en que vivimos, otorgando una aprehensión de otras dimensiones propias que se yerguen en el seno de la naturaleza. Donde se toma conciencia de que el ser humano se haya en una intimidad de múltiples relaciones que subsisten en el entorno, que se erigen otros mundos que son mucho más importantes que el nuestro. En este orden de ideas Aroca (2022, p. 26) comenta que la relevancia de estos insectos radica:



en que, por un lado, existen unas 250,000 especies de flores que dependen de la polinización y, por otro, a diferencia de polillas o escarabajos (etcétera) que visitan y se alimentan de un menor número de plantas, las abejas visitan una gran variedad para llevar más néctar y polen a sus colmenas. De este modo, su papel es crucial en la agricultura mundial donde contribuyen al aumento del rendimiento de cerca de 90 tipos de cultivos, evitando que muchos productos como frutas o verduras puedan escasear.

De esta manera, las abejas, y el arte de la apicultura, prestan un servicio ecosistémico de suma trascendencia, ya que en las últimas décadas se ha incrementado la intranquilidad social sobre las condiciones del ambiente, en el escenario cualitativo y cuantitativo, con una representación y repercusión local, regional y mundial (Sá Miranda *et al.*, 2019). Por este motivo, abordaremos qué es la apicultura, su historia, su relevancia y los beneficios que otorga, qué plantas favorecen esta actividad, posteriormente concluiremos con algunas consideraciones finales.

### 🐝 ¿QUÉ ES LA APICULTURA? 🐝

Se trata de la crianza y manutención de las abejas para obtener distintos beneficios. El apiario es el sitio donde se congregan todas las colmenas en las que residen estos himenópteros. Contreras y Becerra (2004) hacen mención que se valora que en la naturaleza cohabitan poco más de 30 mil especies, y una buena cantidad de ellas con gran capacidad, no solamente en la generación de miel, sino también de llevar a cabo la polinización de la flora, entre las cuales hallamos *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*.

Éstas se pueden catalogar en tres clases, ya que en estos insectos prevalecen las castas, la primera, denominada abeja reina –hembra–, tiene una función primordial: se ocupa de poner huevos para el establecimiento de la colonia y continuidad de la misma, inclusive llega a generar 2,000 diarios cuando subsiste una adecuada entrada de néctar y máxima postura (Colina y Rodríguez, 2017).

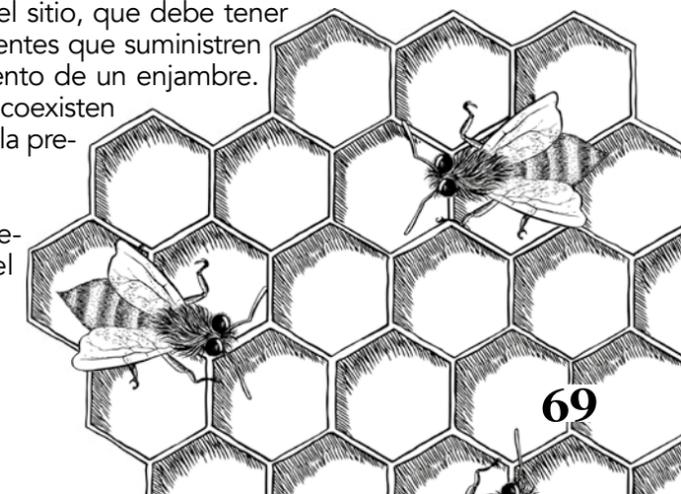
Después están las obreras, también hembras, comisionadas de recoger el néctar y el polen de las plantas, y llevar a cabo labores dentro de la colmena: limpieza, cuidar y alimentar a las larvas, producir cera, construir los panales y salvaguarda la colonia de intrusos (Silva, 2015). Por último encontramos a los zánganos, cuya función primaria es fecundar a la reina, tras lo cual ya no son requeridos y son desplazados de la colonia (Sader, 2015).

En el establecimiento de una colmena se deben tomar ciertas consideraciones o factores determinantes, Pérez (2015, p.8) comenta algunas de éstas:

- Instalarlas cerca de las fuentes de néctar, polen y agua fresca (2.5-3.0 km de radio).
- Determinar el número a instalar según la densidad de la floración y existencia de otras colmenas.
- El área elegida debe estar protegida contra vientos fuertes, sin ser demasiado húmedo o fangoso y de preferencia cercados.
- Evitar instalar próxima a una población de personas o caminos de mucho tránsito.
- No ubicarlas cerca de cultivos que son fumigados constantemente.
- Se recomienda colocar encima de soportes o por lo menos 30 cm sobre el suelo, esto protege de la humedad, de las inundaciones y evita el ingreso de otros insectos.
- Orientar la piquera de preferencia a la salida del sol, o de lo contrario al noreste o sureste, teniendo por lo menos cinco horas de sol por las mañanas especialmente.
- Espaciarlas entre ellas para diferenciar los campos de vuelo de cada colonia y facilitar el desplazamiento. Deben tener separaciones variables entre colmenas y entre líneas de colmenas, se recomienda 1.5-2.0 m y entre líneas 2.5-3-0 m.
- Pueden estar rodeadas de arbustos y delante de la colmena libre de hierbas bajas.

Lo anterior resulta determinante en la actividad apícola. Sin embargo, Peña y Arce (2020) destacan que, dentro de las consideraciones sobresalientes, es preponderante el sitio, que debe tener disponibilidad de agua y plantas convenientes que suministren los insumos necesarios en el establecimiento de un enjambre. Por otra parte, es conocido también que coexisten varias condiciones como la temperatura y la precipitación pluvial.

Ahora veamos, esta actividad se puede llevar a cabo bajo dos métodos. En el



primero, denominado apicultura fija, las colmenas se sostienen en un único lugar, mientras la móvil consiste en transportarlas a distintos sitios a lo largo del año, de acuerdo con las floraciones de las plantas e inclinación del apicultor (Baena *et al.*, 2022).

Finalmente, de acuerdo con Dietsch (2011), las personas dedicadas a esta actividad pueden agruparse en micro (una a diez), pequeños (11 a 30), medianos (31 a 60), grandes (61 a 400) y productores empresariales (más de 400 colmenas).

## HISTORIA

La práctica de criar y salvaguardar a las abejas para la obtención de miel se ha llevado a cabo desde tiempos inmemoriales en muchas partes del mundo. Se estima que tal actividad data de hace aproximadamente 10,000 años. Una de las primeras referencias se encuentra en la antigua Mesopotamia, donde se utilizaban colmenas hechas de barro o paja.

Otros antecedentes se reconocen en distintas civilizaciones: egipcia, griega y romana. En tanto, Montes (2014, p. 158) comenta sobre la primera:

Los antiguos egipcios, como otros muchos pueblos, desde épocas muy tempranas, descubrieron que este pequeño insecto, la abeja, podía proporcionarles un magnífico alimento que, en un principio, no debió ser sólo la miel, sino también sus larvas y huevos, muy ricos en proteínas.

Por ejemplo, en Egipto el néctar particularmente era un suministro alimentario sagrado, ya que era empleado en muchos rituales y ofrendas a los dioses. Por lo cual, los egipcios eran considerados hábiles apicultores. Construían sofisticadas colmenas de arcilla y paja en las que alojaban a sus obreras. Igualmente llevaron a cabo la cría selectiva que les ayudaba a desplegar linajes que actuaran más dóciles y produjeran importantes cantidades de ambrosía (Fernández, 1988).

Los griegos y los romanos también eran ávidos apicultores. Fernández (1988, p. 189) indica: "Toda esta utilización de la miel en la Antigüedad Clásica, exigiría una gran demanda por parte de la sociedad, lo que originaría un comercio y una difusión en el mercado". Este mismo autor refiere que en la Roma imperial se manejaban pequeñas jarras de boca ancha para almacenarla y trasladarla.



Por otro lado, en el continente americano era común en los pueblos originarios el cuidado y la crianza de himenópteros, cuyos productos eran empleados como alimento y materiales de construcción (Castillo, 2020). En este caso, la apicultura ha estado siempre presente –es una parte de su existencia– en el pueblo maya. Donde su práctica, experiencia y comprensión les ha permitido conocer y aprovechar las colonias de estos insectos y distintos elementos naturales (Contreras *et al.*, 2020).

En China, los primeros vestigios datan del año 25 a 220 d.C.; según Siedentopp (2010, p. 48), por "aquel entonces había muy poca miel, por lo que se tenía que traer en grandes cantidades [...] Hasta adentrado el siglo XVII la mayor parte de ésta en China seguía procediendo de colonias silvestres".

Más adelante, en la Edad Media, se extendió por todo el continente europeo, las abejas eran manejadas en colmenas mayormente estructuradas de madera y cestería. El néctar se volvió así un artículo de lujo y servía de endulzante en los hogares y particularmente en la elaboración de bebidas del tipo hidromiel, que es alcohólica, resultado de la fermentación de una infusión acuosa de este jarabe (Quicazán, Cuenca y Paz, 2019).

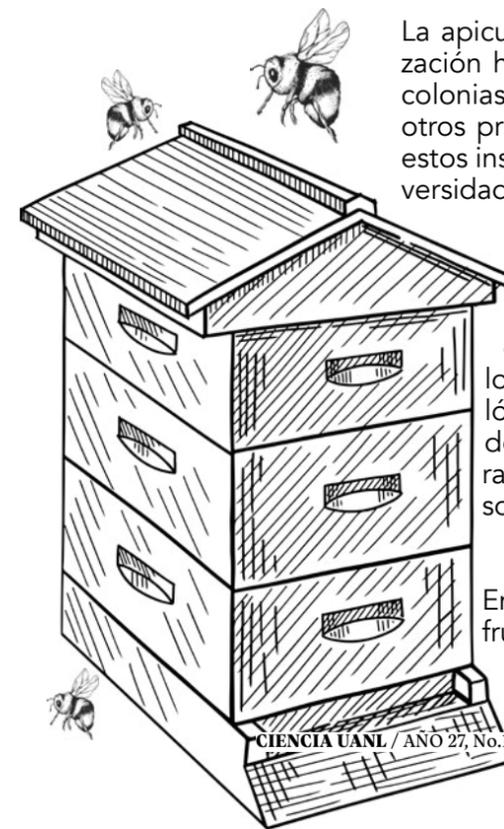
Este recuento breve nos hace comprender por qué en la actualidad es una actividad importante en todo el mundo, con millones de colmenas, en la que también se han manifestado avances tecnológicos que han permitido mejorar la generación y la salud de las obreras.

## IMPORTANCIA Y BENEFICIOS

La apicultura es una práctica que ha sido esencial para la civilización humana durante siglos, involucra el manejo y cultivo de colonias de abejas melíferas con el fin de cosechar miel, cera y otros productos. No se puede exagerar su importancia, ya que estos insectos juegan un papel crucial en la polinización, la biodiversidad y la sostenibilidad agrícola.

Hablamos de uno de los polinizadores más eficientes del mundo cuya actividad es decisiva en la reproducción de numerosas especies de plantas. Sin ellas, incontables cultivos no proporcionarían frutos o semillas, lo que encaminaría a una disminución de la diversidad biológica y la obtención de alimentos (García, Ríos y Álvarez del Castillo, 2016). Al salvaguardarlas y suscitar su proliferación, los apicultores aseguran la polinización perene y la sostenibilidad de los ecosistemas y entornos naturales.

Al mismo tiempo, es transcendental en la agricultura. En este contexto, muchos cultivos, incluidas los árboles frutales, las verduras y vegetales, dependen de estos ani-



malitos (Quezada-Euán, 2009). De hecho, se evalúa que un tercio de todos los cultivos dedicados a satisfacer la demanda de alimentos están supeditados a los polinizadores. Al mantener colonias o poblaciones saludables a través de las prácticas apícolas, los productores favorecen el rendimiento y el éxito de la industria agrícola.

Además de la polinización y la agricultura, también suministra una sucesión de provechos inestimables. La miel, la cera, el propóleo, la jalea real y el veneno son sólo algunos (Vit, 2005), los cuales cuentan con diversos usos y aplicaciones comerciales, terapéuticas y cosméticas. Éstos tienen una gran concurrencia y demanda en todo el mundo, y la apicultura los brinda de una forma sostenible y cuidadosa con el medio natural –al mantener el delicado equilibrio– y a la vez solventar estas demandas sociales.

Aunado a lo anterior, conlleva beneficios socioeconómicos (Vivanco *et al.*, 2020), brinda espacios y oportunidades de empleo para muchas personas, principalmente en las zonas rurales, donde las fuentes y disyuntivas de contar con ingresos económicos pueden ser escasas, creando así oportunidades de desarrollo. Definitivamente el valor de esta actividad radica en garantizar y encabezar la sostenibilidad de nuestro entorno natural y social.

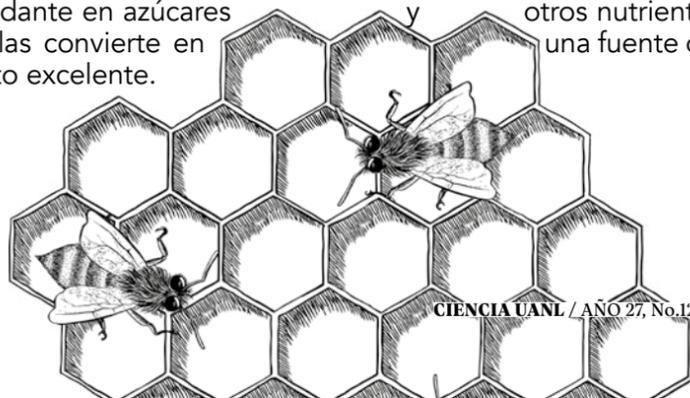


## FLORA NECTARÍFERA



La flora nectarífera –también conocida como melífera o apícola– representa plantas portadoras o poseedoras de néctar, es un conjunto de especies con flores conocidas por su relación única y notable con las abejas. Éstas se caracterizan por sus atrayentes inflorescencias que producen abundante néctar y captan la atención de los insectos (González *et al.*, 2023). Éstas toman un papel determinante en el ecosistema al ser una fuente importante de alimento.

Se hallan típicamente en regiones templadas de todo el mundo, donde coexiste un sinfín de hábitats, abarcando llanuras, praderas y bosques. Son resistentes y pueden prosperar en una amplia gama de suelos y circunstancias ambientales (Quezada-Euán, 2018). Las flores nectaríferas suelen ser pequeñas, blancas e inmaculadas, con una aroma suave y dulce. El néctar es abundante en azúcares y otros nutrientes, lo que las convierte en una fuente de alimento excelente.



La relación entre flora nectarífera y abejas es simbiótica, y ambas partes se benefician de esta interacción. Las segundas dependen del néctar y el polen proporcionado por las primeras, alimento que utilizan al realizar sus actividades y mantener sus colmenas. A cambio polinizan inadvertidamente mientras se mueven de una flor a otra (Garibaldi *et al.*, 2012). Este proceso es esencial para la reproducción y supervivencia continua de la flora nectarífera, ya que le permite generar semillas y descendencia.

Además de su papel en el apoyo a las poblaciones de abejas, también tiene beneficios ecológicos. El néctar no sólo es una fuente de alimento, atrae a más polinizadores: mariposas, palomillas y escarabajos. Éstos desempeñan un papel vital en la polinización de una amplia variedad de especies, ayudando a mantener la biodiversidad y la salud de los ecosistemas, convirtiéndose en un recurso inestimable en los esfuerzos de conservación de los sistemas naturales.



Entre las plantas que la integran contamos en México con la tronadora (*Tecoma stans*), palo mulato (*Brusera simaruba*), hierba de la lluvia (*Commelina erecta*), campanilla (*Ipomoea carnea*), corona de cristo (*Euphorbia milii*), yuca agria (*Manihot esculenta*), pata de vaca (*Bauhinia divaricata*), moringa (*Moringa oleífera*), limonaria (*Murraya paniculata*), neem (*Azadirachta indica*), anacua (*Ehretia anacua*), ébano (*Pithecellobium ébano*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), tenaza (*Pithecellobium pallens*), anacahuita (*Cordia boissieri*), huizache (*Acacia farnesiana*), aguacate (*Persea americana*), naranjo (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus aurantifolia*), entre otras (Briceño *et al.*, 2022; Villegas *et al.*, 2003).

En general, la flora nectarífera es un excelente ejemplo de las relaciones intrincadas e interconectadas con las abejas y otros insectos dentro del mundo natural, destacando así la importancia de preservarla y protegerla en el sostenimiento de la biodiversidad en el mundo.



## CONSIDERACIONES FINALES



Las abejas son fundamentales para la polinización de una gran cantidad de plantas, muchas de las cuales son vitales en el equilibrio del ecosistema. Sin su labor, diversas especies estarían en peligro de extinción, lo que tendría un impacto negativo en la biodiversidad y en la estabilidad del ecosistema. Además, la apicultura ayuda a combatir el cambio climático. Estos himenópteros son sensibles a las variaciones en el clima y a la degradación del medio ambiente, por lo que su presencia y su labor de polinización es indicadora de la salud del ecosistema.





Igualmente, la miel y otros productos pueden ser una fuente de ingresos sostenible en las comunidades rurales, ya que muchas de las prácticas apícolas son respetuosas con el medio ambiente. Esto implica cuidar de los insectos de manera que se garantice su bienestar, promover la biodiversidad en los entornos donde se ubican las colmenas, utilizar métodos de productividad reverentes con la naturaleza y fomentar la participación de las comunidades locales.

De esta manera, la apicultura sostenible es una práctica que permite evitar la pérdida de hábitat debido a la deforestación y la urbanización, además de disminuir el uso de pesticidas y agroquímicos en aras de contrarrestar el cambio climático que altera los patrones de floración de las plantas. Pero mayormente, menguar la falta de conciencia de las personas sobre la importancia de las abejas. Por ello, es fundamental abordar este tema como reto integral para garantizar la supervivencia de estos seres y promover la conservación del entorno natural en el largo plazo, es decir, sustentable.



## REFERENCIAS

Aroca, L.A. (2022). *Apicultura de conservación en la Sierra Nevada de Santa Marta: entramados, transformaciones y devenires interespecie* (tesis de licenciatura), Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Baena, F., Chévez, E., Ruiz, et al. (2022). *Apis mellifera* en México: producción de miel, flora melífera y aspectos de polinización. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu*, 13(2), 525-548.

Briceño, C.I., Cano, J. Ramos, A.L., et al. (2022). Estudio de la flora presente en apiarios de tres municipios en el estado de Yucatán, México, *Polibotánica*, 53, 13-34.

Castillo, M.A. (2020). Un estudio transdisciplinario de meliponicultura en las comunidades de nahuas de Cuetzalan, Puebla. M.A. Castillo (Ed.) *Estudio transdisciplinario de meliponicultura en la región de Cuetzalan, Puebla: análisis etnocientífico, etnoarqueológico y etnobiológico de la producción de miel virgen* (pp. 13-33), México. Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Investigaciones Antropológicas.

Colina, L., y Rodríguez, V. (2017). *Mal del río en abejas melíferas. Evaluación de manejos que permitan mantener las colonias en campos problema* (tesis de doctorado). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Contreras, F. de J., y Becerra, F. (2004). Abejas nativas de México, *Imagen Veterinaria*, 4(1), 16-21.

Contreras, L.E.U., Vázquez, A., Aldasoro, E.M., et al. (2020). Conocimiento de las abejas nativas sin aguijón y cambio generacional

entre los mayas lacandones de Nahá, Chiapas, *Estudios de Cultura Maya*, 56, 205-225.

Dietsch, L. (2011). La apicultura: ¿una alternativa de desarrollo rural sostenible para las laderas secas de Nicaragua?, *Encuentro*, 89, 7-38.

Fernández, P. (1988). Algunas anotaciones sobre la abeja y la miel en el mundo antiguo. Espacio, Tiempo y Forma, Serie II. *Historia Antigua*, 185-208.

García, M., Ríos, L.A., et al. (2016). La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura, *Ide-sia (Arica)*, 34(3), 53-68.

Garibaldi, L.A., Morales, C.L., Ashworth, L., et al. (2012). Los polinizadores en la agricultura. *Ciencia Hoy*, 21, 34-43.

González, B.Y., Reyes, H., Yáñez, L., et al. (2023). La flora melífera del paisaje aledaño a la Reserva de la Biósfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México, *Botanical Sciences*, 101(3), 775-803.

Montes, M. (2014). La abeja y las escenas de apicultura en el antiguo Egipto: concepción, desarrollo y evolución, *AEDE, Boletín de la Asociación Española de Egiptología*, 23, 157-220.

Peña; M.A., y Arce, D. (2020). Valoración de la aptitud vegetal para la apicultura orgánica. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 56, 129-138.

Pérez, E. (2015). *Manual práctico de apicultura, Perú*, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Quezada-Euán, J.J.G. (2009). Potencial de las abejas nativas en la polinización de cultivos. *Acta Biológica Colombiana*, 14(2), 169-172.

Quezada-Euán, J.J.G. (2018). *Stingless Bees of Mexico: The Biology, Management and Conservation of an Ancient Heritage*. Springer.

Quicazán, M.C., Cuenca, M.M., y Paz, A.B. (2019). *Producción de hidromiel en el contexto de la apicultura en Colombia*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.

Sá Miranda, J.R., et al., (2019). Aspectos da apicultura: entrevistas com apicultores da Cooperativa do Vale do Jequitinhonha, *Caderno de Ciências Agrárias*, 11, 1-10.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). *¿Qué es la apicultura?*, <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/que-es-la-apicultura>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *La meliponicultura en México: un acercamiento a las prácticas tradicionales y a las perspectivas de su manejo contemporáneo*, México, Semarnat.

Siedentopp, U. (2010). La miel: producto alimenticio y medicinal eficaz contra la inflamación, la tos y la ronquera. *Revista Internacional de Acupuntura*, 4, 48-51.

Silva, J.R. (Comp.) (2015). *Manual de prácticas de apicultura I*, Veracruz, Universidad Veracruzana.



# COLABORADORES

## **Alejandro Hermelindo Ramírez Guzmán**

Ingeniero geólogo por el IPN. Doctor en Ciencias de la Tierra por la UAM. Profesor de tiempo completo “Titular B” en la UAGro. Ha participado en proyectos para el conocimiento del agua subterránea en diversos estados del país. Miembro del SNII, nivel I.

## **Armando Encinas Oropesa**

Licenciado en Física por la UniSon. Maestro en ciencias (Física) por la UASLP. Doctor en Física de Materiales por la Universidad de Paris Sud, Orsay, Francia. Miembro del SNII, nivel III.

## **Carlos Escamilla Alvarado**

Profesor-investigador en la UANL. Investiga biorrefinerías, producción de biocombustibles, bioprocesos y análisis de ciclo de vida. Miembro del SNII, nivel I.

## **Dallely Melissa Herrera Zamora**

Ingeniera física por la UADY. Doctora en Ciencias, con especialidad en Fisicoquímica, por el Cinvestav Unidad Mérida. Experta en síntesis y caracterización de materiales absorbentes solares.

## **Geonel Rodríguez Gattorno**

Investigador titular 3C. Jefe del Departamento de Física Aplicada del Cinvestav Unidad Mérida. Doctor en Ciencias por la UNAM. Experto en síntesis y caracterización de nanomateriales. Miembro del SNII, nivel III.

## **Giovanni Hernández Flores**

Doctor en Ciencias en Biotecnología Ambiental. Catedrático Conahcyt comisionado a la Escuela Superior de Ciencias de la Tierra-UAGro. Su investigación principal se centra en la utilización de dispositivos bioelectroquímicos para dar tratamiento al agua residual municipal y al drenaje ácido de mina. Miembro del SNII, nivel I.

## **Héctor M. Poggi-Valardo**

Experto en biotecnología ambiental y energías renovables. Fundador y líder del Grupo de Biotecno-

logía Ambiental y Energías Renovables. Fundador y primer presidente de la ABIAER, AC. Presea “Professor R. McKee”. Miembro del SNII, nivel III, y nivel 3D en el Cinvestav.

## **Ivonne Mena Vázquez**

Ingeniera química por la UV. Maestra en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología por el TecNM. Doctorante en Ciencias en Acuicultura en el TecNM campus Boca del Río.

## **Javier Melchor Trujeque Gil**

Ingeniero físico por la UADY. Estudiante de la maestría en Ciencias, con especialidad en Fisicoquímica, del Cinvestav Unidad Mérida. Sus temas de interés son los materiales inorgánicos de carbono, los recubrimientos absorbentes solares, la termodinámica de soluciones y el equilibrio de fases.

## **Jazmin Alaide López Díaz**

Licenciada en Ciencias, con área terminal en Bioquímica y Biología Molecular. Maestra en Ciencias Bioquímicas. Profesora de la Escuela Superior de Ciencias de la Tierra-UAGro. Responsable del Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis. Doctorante en Recursos Naturales y Ecología en la UAGro.

## **Josefina Barrera Cortés**

Ingeniera química por la UNAM. Doctora en Ingeniería Química por la Université Paris-Nord. Investigadora Cinvestav. Sus áreas de investigación son: biotecnología ambiental, bioprocesos y bioproductos. Coordinadora del Colegio de Profesores. Medalla Gabino Barreda (UNAM). Miembro de la SMBB, del cuadro editorial de la revista *AEM* y del SNII, nivel II.

## **Kenia Aylín Carrillo Verástegui**

Doctorante en Ciencias, con orientación en Procesos Sustentables, en la UANL. Participa en el Grupo de Ingeniería y Bioprocesos Sustentables. Su área de investigación se centra en pretratamiento de biomasa, extracción de biocompuestos, producción de biocombustibles y biorrefinerías.

## **Lorena Rodríguez Ramírez**

Ingeniera química por la UV. Maestra en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología en el área de Biotecnología Enzimática y de Fermentaciones del TecNM campus Tierra Blanca. Labora en el grupo PiSA como analista de validación de procesos de fabricación.

### **Luis Alfredo Ortega Clemente**

Ingeniero bioquímico. Maestro y doctor en Ciencias, con especialidad de Biotecnología y Bioingeniería. Profesor investigador del TecNM campus Boca del Río. Jefe del Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías. Cuenta con perfil deseable Prodep. Sus investigaciones están orientadas al cultivo de microalgas en efluentes residuales acuícolas con potencial en la producción de biocombustibles. Miembro del SNII, nivel I.

### **María Josefa Santos Corral**

Doctora en Antropología Social. Su área de especialidad se relaciona con los problemas sociales de transferencia de conocimientos, dentro de las líneas de tecnología, cultura y estudios sociales de la innovación. Imparte las asignaturas de ciencia y tecnología para las RI en la Licenciatura de Relaciones Internacionales y Desarrollo Científico Tecnológico y su Impacto Social en la Maestría de Comunicación.

### **Marlen Hernández Hermenegildo**

Ingeniera ambiental por el IPN. Labora en la iniciativa privada.

### **Milenis Acosta Díaz**

Profesora-investigadora en la UADY. Licenciada en Física por la Universidad de La Habana. Doctora en Ciencias, con especialidad en Física Aplicada, por el Cinvestav Unidad Mérida. Experta en síntesis y caracterización de materiales: electrocrómicos, fotoánodos, óxidos conductores transparentes y celdas solares orgánicas. Miembro del SNII, nivel II.

### **Mónica Cortés Castillo**

Ingeniera ambiental por la UASLP. Maestra en Ciencias Ambientales y doctorante en Nanociencias y Materiales Avanzados en el IPICYT.

### **Octavio García Valladares**

Profesor titular 3C del IER-UNAM. Ingeniero mecánico-electricista por la UNAM. Doctor en Ciencias por la Universidad Politécnica de Catalunya, España. Experto en diseño y optimización de sistemas solares para calentamiento de agua. Miembro del SNII, nivel III.

### **Pedro César Cantú-Martínez**

Doctor en Ciencias Biológicas por la UANL. Doctor Honoris Causa, con la Mención Dorada Magisterial, por el OIICE. Trabaja en la FCB-UANL y participa en el IINSO-UANL. Su área de interés profesional se refiere a aspectos sobre la calidad de vida e indicadores de

sustentabilidad ambiental. Fundador de la revista *Salud Pública y Nutrición (RESPyN)*. Miembro del Comité Editorial de Artemisa del Centro de Información para Decisiones en Salud Pública de México.

### **Perla Fabiola Pacheco Juárez**

Ingeniera ambiental por el IPN. Labora en la iniciativa privada.

### **Sonia Lorena Arriaga García**

Ingeniera química y maestra en Ciencias Ambientales por la UASLP. Doctora en Ciencias, con especialidad en Ingeniería Química, por la UAM-Iztapalapa. Miembro del SNII, nivel III.

# Lineamientos de colaboración

## *Ciencia UANL*

La revista *Ciencia UANL* tiene como propósito difundir y divulgar la producción científica, tecnológica y de conocimiento en los ámbitos académico, científico, tecnológico, social y empresarial.

En sus páginas se presentan avances de investigación científica, desarrollo tecnológico y artículos de divulgación en cualquiera de las siguientes áreas:

- ciencias exactas
- ciencias de la salud
- ciencias agropecuarias
- ciencias naturales
- humanidades
- ciencias sociales
- ingeniería y tecnología
- ciencias de la tierra

Asimismo, se incluyen artículos de difusión sobre temas diversos que van de las ciencias naturales y exactas a las ciencias sociales y las humanidades.

Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje **claro, didáctico y accesible**, correspondiente al público objetivo; no se aceptarán trabajos que no cumplan con los criterios y lineamientos indicados, según sea el caso se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

### Criterios generales

- Sólo se aceptan artículos originales, entendiéndose por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no haya sido publicada o enviada a otras revistas.
- Se aceptarán artículos con un máximo de cinco autores (tres para los artículos de divulgación), en caso de excederse se analizará si corresponde con el esfuerzo detectado en la investigación. Una vez entregado el trabajo, no se aceptarán cambios en el orden y la cantidad de los autores.
- Los originales deberán tener una extensión máxima de cinco páginas, incluyendo tablas, figuras y referencias. En casos excepcionales, se podrá concertar con el editor responsable una extensión superior, la cual será sometida a la aprobación del Consejo Editorial.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo vía electrónica en formato .doc de Word, así como el material gráfico (máximo cinco figuras, incluyendo tablas), fichas biográficas de máximo 100 palabras y código identificador ORCID de cada autor, ficha de datos y carta firmada por todos los autores (ambos formatos en página web) que certifique la originalidad del artículo y cedan derechos de autor a favor de la UANL.
- Material gráfico incluye figuras, dibujos, fotografías, imágenes digitales y tablas, de al menos 300 DPI en formato .jpg o .png y deberán incluir derechos de autor, permiso de uso o referencia. Las tablas deberán estar en formato editable.

- El artículo deberá contener claramente los siguientes datos: título del trabajo, autor(es), código identificador ORCID, institución y departamento de adscripción laboral (en el caso de estudiantes sin adscripción laboral, referir la institución donde realizan sus estudios) y dirección de correo electrónico para contacto de cada investigador.
- Las referencias no deben extenderse innecesariamente, por lo que sólo se incluirán las referencias utilizadas en el texto; éstas deberán citarse en formato APA, incluyendo nombre y apellidos de la autoría.
- Se incluirá un resumen en inglés y español, no mayor de 100 palabras, además de cinco ideas y cinco palabras clave.

### Criterios específicos para artículos académicos

- El artículo deberá ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- Deberá considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deberán contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deberán presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- Sólo se aceptarán modelos matemáticos si son validados experimentalmente por el autor.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que aunadas a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.

### Criterios específicos para artículos de divulgación

- Los contenidos científicos y técnicos tendrán que ser conceptualmente correctos y presentados de una manera original y creativa.
- Todos los trabajos deberán ser de carácter académico. Se debe buscar que tengan un interés que rebase los límites de una institución o programa particular.
- Tendrán siempre preferencia los artículos que versen sobre temas relacionados con el objetivo, cobertura temática o lectores a los que se dirige la revista.
- Para su mejor manejo y lectura, cada artículo debe incluir una introducción al tema, posteriormente desarrollarlo y finalmente plantear conclusiones. El formato no maneja notas a pie de página.
- En el caso de una reseña para nuestra sección *Al pie de la letra*, la extensión máxima será de dos cuartillas, deberá incluir la ficha bibliográfica completa, una imagen de la portada del libro, por la naturaleza de la sección no se aceptan referencias.



### Notas importantes

- Sólo se recibirán artículos por convocatoria, para mayor información al respecto consultar nuestras redes sociales o nuestra página web: <http://cienciauanl.uanl.mx/>
- Los autores deberán declarar que en el proceso de elaboración de la investigación o redacción del documento no hubo conflictos de intereses; en caso de haberse presentado, deberán indicar los acuerdos que efectuaron. Asimismo, de haber contado con financiamiento, deberán anotar la institución o el nombre del fondo de dónde provino.
- Todas las colaboraciones, sin excepción, deberán pasar por una revisión preliminar, en la cual se establecerá si éstas cumplen con los requisitos mínimos de publicación que solicita la revista, como temática, extensión, originalidad y estructuras. Los editores no se obligan a publicar los artículos sólo por recibirlos.
- Todos los números se publican por tema, en caso de que un artículo sea aceptado en el dictamen, pero no entre en la publicación del siguiente número, éste quedará en espera para el número más próximo con la misma temática.
- Una vez aprobados los trabajos, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.
- Todos los artículos de difusión recibidos serán sujetos al proceso de revisión *peer review* o *revisión por pares*, del tipo *doble ciego*; los documentos se envían sin autoría a quienes evalúan, con el fin de buscar objetividad en el análisis; asimismo, las personas autoras desconocen el nombre de sus evaluadores.
- Bajo ningún motivo serán aceptados aquellos documentos donde pueda ser demostrada la existencia de transcripción textual, sin el debido crédito, de otra obra, acción denominada como plagio. Si el punto anterior es confirmado, el documento será rechazado inmediatamente.

Todos los artículos deberán remitirse a la dirección de correo:  
[revista.ciencia@uanl.mx](mailto:revista.ciencia@uanl.mx)  
o bien a la siguiente dirección:

Revista Ciencia UANL. Dirección de Investigación, Av. Manuel L. Barragán, Col. Hogares Ferrocarrileros, C.P. 64290, Monterrey, Nuevo León, México.  
Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:  
Tel: (5281)8329-4236. <http://www.cienciauanl.uanl.mx/>



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



Indexada en:



Actualidad Iberoamericana  
Índice Internacional de Revistas



RevistaCienciaUANL



Revistaciencia\_uanl



RevistaCIENCIAUANL



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS  
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



CATÁLOGO "HEMEROTECA LATINOAMERICANA"