

# Biología y Sociedad



UANL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ciencias Biológicas

Unidad A



Una publicación de la  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dr. Santos Guzmán López  
Rector

Dr. Mario Alberto Garza Castillo  
Secretario General

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo  
Secretario Académico

Dr. José Javier Villarreal Tostado  
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas  
Director de Publicaciones

Dra. Diana Reséndez Pérez  
Coordinadora de la Facultad de Ciencias Biológicas

### Cuerpo Editorial de Biología y Sociedad

Dr. Jesús Ángel de León González  
Editor en Jefe

Dra. María Elena García Garza  
Editor Técnico

### Editores adjuntos:

Dr. Juan Gabriel Báez González  
Dra. María Elena Sosa Morales  
Dra. Miriam Rutiaga Quiñones  
Alimentos

Dr. Sergio I. Salazar Vallejo  
Dra. Evelyn Patricia Ríos Mendoza  
Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez  
Dr. Gerardo Rivas  
Biología Contemporánea

Dr. José Ignacio González Rojas  
Dr. Eduardo Alfonso Rebollar Téllez  
Dr. Erick Cristóbal Oñate González  
Dr. José Rolando Bastida Zavala  
Dra. Martha González Elizondo  
Ecología y Sustentabilidad

Dr. Reyes S. Tamez Guerra  
Dr. Jorge Enrique Castro Garza  
Dr. Iram P. Rodríguez Sánchez  
Dra. Lydia G. Rivera Morales  
Dr. Ivan Delgado Enciso  
Salud

Dr. Sergio Arturo Galindo Rodríguez  
Dra. Ana Laura Lara Rivera  
Dr. Virgilio Bocanegra-García  
Dr. Luis Miguel Canseco Ávila  
M.C. Aldo Vega Esquivel  
Biotecnología

Jorge Ortega Villegas  
Diseñador Gráfico

Ing. Jorge Alberto Ibarra Rodríguez  
Página web

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD, año 9, No. 17, primer semestre de 2026, es una publicación semestral editada por el Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León, www.uanl.mx, biologiaysociedad@uanl.mx, Editor responsable: Dr. Jesús Ángel de León González. Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-060914413700-203; ISSN 2992-6939. Ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente flejan la postura del editor de la publicación. **Queda prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido de la publicación sin**

## CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| EL AGUA, SUS PROPIEDADES Y SUS MÉTODOS MÁS COMUNES PARA PURIFICACIÓN  | 4   |
| EL HONGO DEL RAYO Y TRUENO AMANITA MUSCARIA (AMANITACEAE)   | 16  |
| ALIADOS INVISIBLES DEL NOGAL PECANERO: EL PAPEL DE LOS HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES   | 22  |
| DE LA HERBOLARIA A LA PRODUCCIÓN PECUARIA: EXTRACTOS VEGETALES COMO ALTERNATIVA BIOTECNOLÓGICA ANTE LA MULTIRRESISTENCIA ANTIMICROBIANA | 31  |
| NARANJA DULCE ( <i>CITRUS SINENSIS</i> ): EXPLORANDO SU VALOR TERAPÉUTICO Y SU IMPACTO EN LA SALUD                                      | 44  |
| LOS INVISIBLES DEL MAR: EL ROL ECOLÓGICO DEL PÓLIPO EN LAS FLORACIONES DE MEDUSAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO                                 | 52  |
| CRÓNICA DE UNA EXTINCIÓN A LA VISTA. UNA OPORTUNIDAD PARA HABLAR DE LAGOS Y ZOOPLANCTON EN EL ESCENARIO ACTUAL                          | 60  |
| LA MERLUZA DEL PACÍFICO: CIENCIA Y SABORES EN LAS COSTAS MEXICANAS  | 74  |
| DEL SUBPRODUCTO AL CAMELO: EL POTENCIAL DEL SUERO LÁCTEO EN PRODUCTOS DE CONFITERÍA   | 82  |
| EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE LOS PSITÁCIDOS DE LA ALAMEDA DE SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO  | 96  |
| MICROENDEMISMO, VULNERABILIDAD Y CONSERVACIÓN: EL CASO DEL COLIBRÍ COQUETA CRESTA CORTA ( <i>LOPHORNIS BRACHYLOPHUS</i> )               | 103 |
| SÍNDROME DE NOÉ: ANALIZANDO LA ACUMULACIÓN DE ANIMALES DESDE EL ENFOQUE UNA SALUD   | 111 |
| EL REGRESO DEL LOBO TERRIBLE: CIENCIA, FANTASÍA... ¿O EL INICIO DE UNA NUEVA ERA GENÉTICA?  | 118 |
| LA CUESTIÓN DE LAS SECUENCIAS REGULADORAS EN EL PROBLEMA DEL GEN. ANÁLISIS DE LAS POSICIONES DE CARLSON Y GRIFFITHS & NEUMANN-HELD      | 122 |
| IN MEMORIAM DR. RAHIM FOROUGHBAKHCH POURNAVAB   | 130 |
| LEGADO DE CIENCIA, ENSEÑANZA Y PASIÓN POR LA CARCINOLOGÍA: A LA MEMORIA DEL DR. GABINO ADRIÁN RODRÍGUEZ ALMARAZ                         | 134 |

**E**n esta nueva edición de Biología y Sociedad, presentamos un collage de conocimiento que explora la complejidad de los ambientes terrestres y acuáticos, estos 13 artículos nos llaman a reflexionar sobre los retos y oportunidades que enfrentamos para asegurar un futuro más equilibrado y sostenible. Además, se presentan dos obituarios a manera de homenaje de dos profesores investigadores de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL.

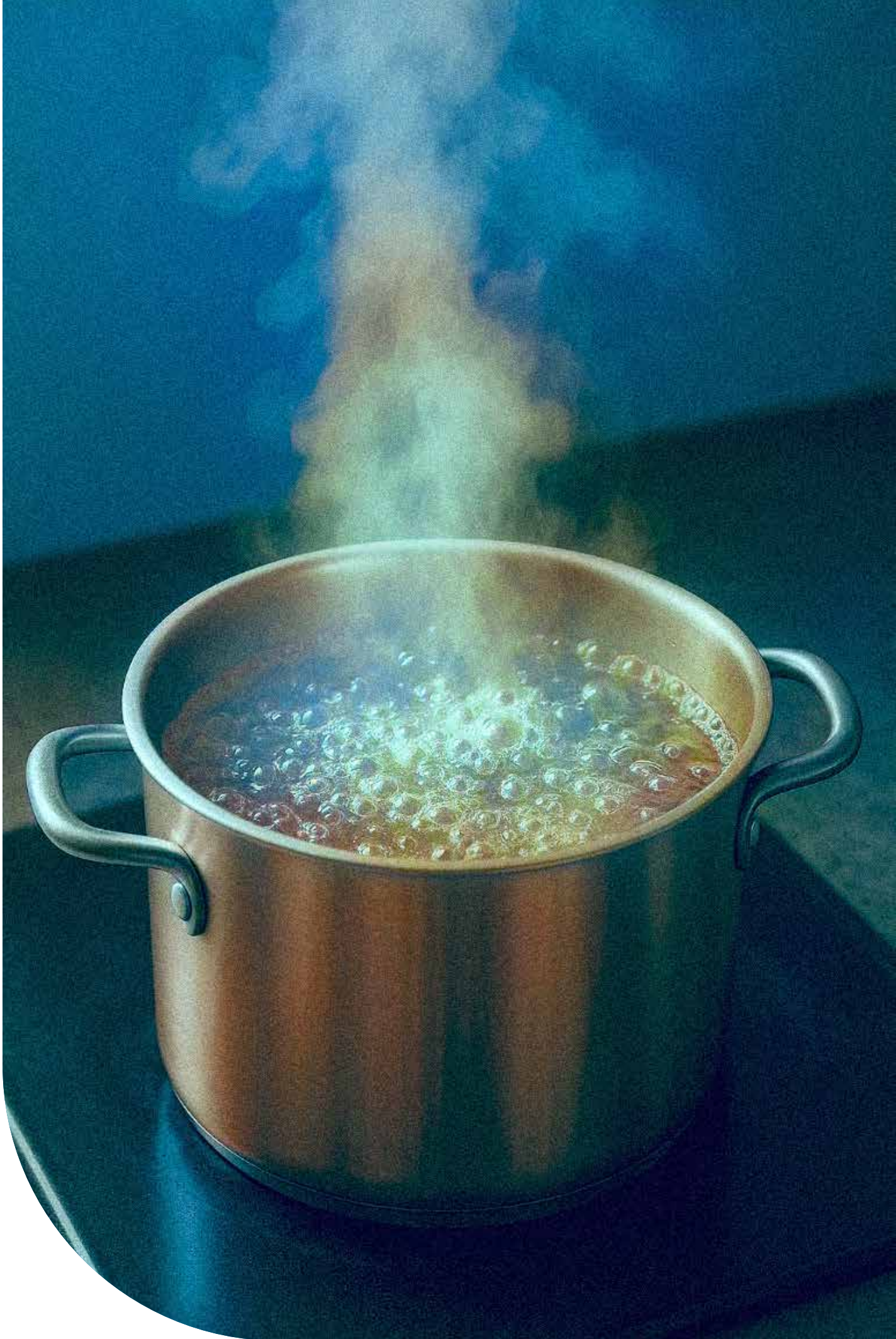
Iniciamos este número con el agua, trabajo en el cual los autores detallan sus propiedades, esenciales para mantener la vida en el planeta, pero también la hacen susceptible a la contaminación. Nos detallan además los diversos métodos de purificación del agua, puntualizando las ventajas y limitaciones de cada uno. En la siguiente aportación, la autora detalla el conocimiento del hongo del rayo y trueno *Amanita muscaria*, representado en Códices antiguos y valorado por sus propiedades psicotrópicas y su contenido de sustancias tóxicas, destaca la importancia de los conocimientos tradicionales vinculados a su preparación como un hongo comestible y seguro para el consumo humano. En el siguiente trabajo, los autores nos hablan de los hongos micorrízicos y su simbiosis con las raíces de las plantas terrestres, destacando aquellos relacionados al cultivo del nogal pecanero en las zonas semiáridas de México donde el agua es limitada. Nos explican como la diversidad de este tipo de hongos va a depender de las condiciones del suelo entre otros factores, y nos explican como ellos representan una estrategia sostenible para mejorar la resiliencia productiva, la fertilidad del suelo y la calidad funcional del fruto del nogal. En otra aportación, los autores nos informan como la actividad pecuaria ha abusado de los antibióticos y los problemas de resistencia microbiana a los que han enfrentado los productores. Como una magnífica alternativa, el uso de plantas como bioinsumos impulsa las aplicaciones biotecnológicas, marcando una transición hacia ingredientes naturales bioactivos más armónicos con el ambiente. Los cítricos han sido cultivados por diversos países subtropicales alrededor del mundo, su variedad es alta, la naranja dulce es el principal cítrico cultivado a nivel mundial. En este trabajo, los autores nos hablan sobre el uso terapéutico de sus diversas partes como la pulpa, semilla, hojas y cáscara, destacando los compuestos fotoquímicos como los aceites esenciales entre otros compuestos químicos. En el ambiente acuático marino encontramos uno de los grupos zoológicos más conocidos e importantes, los escifozoarios, las cuales tienen dos fases, la más conocida es la fase medusa que es pelágica, y la fase pólipo que es bentónica. En este trabajo, los autores reconocen el valor de la fase pólipo, ya que, en condiciones de estrés térmico, entre otros factores, puede multiplicarse y dar origen a nuevas medusas, creando una actividad en enjambre en forma de floraciones masivas que puede perjudicar la actividad pesquera local, la navegación, obstrucción de ductos en plantas de energía, así como daños a la acuicultura. En el caso del ambiente acuático dulceacuícola, el autor a través de una entrevista con un experto en biogeografía de la conservación, analizan la biodiversidad del zooplancton de los lagos del centro de México, y como,

debido al impacto antropogénico en dichos lagos, estamos por presenciar una gran extinción de estos grupos zoológicos. Uno de los recursos pesqueros más importantes del Pacífico mexicano desde el punto de vista ecológico, económico y alimentario es la merluza. En este trabajo, los autores concluyen que el aprovechamiento responsable de este recurso debe estar articulado entre el conocimiento científico, clarificar las políticas de manejo que regulen su extracción, así como asegurar su valoración gastronómica. Durante la elaboración de quesos y otros productos lácteos, se genera un subproducto, el suero lácteo, el cual comúnmente es desechado produciendo un daño ambiental y económico. En este artículo, los autores examinan el aprovechamiento de este subproducto en la elaboración de productos de confitería. En otro trabajo, los autores nos hablan sobre las cotorras (Psitácidos) que habitan el parque la Alameda de Zaragoza en Saltillo, Coahuila. Encontraron 7 especies de las 17 especies de aves reportadas para el área, destacando la zona como un área con potencial ecoturístico de observación de aves. Siguiendo el tema de las aves, en otra aportación, los autores nos hablan sobre las especies de colibríes en general y su extensa labor como polinizadores, destacando su vulnerabilidad con la pérdida de hábitat. Su enfoque particular esta hecho hacia el colibrí coqueta cresta corta, el cual es una especie endémica de la sierra de Guerrero, evidenciando los problemas a los que se enfrenta por la deforestación, incendios y el cambio climático; enfatizan en los esfuerzos recientes para la conservación de la especie y su hábitat. En otro trabajo, los autores nos hablan del "Síndrome de Noé", el cual trata de un trastorno obsesivo-compulsivo que lleva a las personas a poseer una gran cantidad de animales en sus casas. Nos explican cual complejo es el tratamiento de estas personas y la manera en que pueden superar este trastorno. En otra aportación, los autores hacen una crítica constructiva a los resultados de una empresa que trabaja con genomas y su reciente resultado al combinar fragmentos de ADN antiguo con el genoma del lobo gris, dando como resultado a tres crías de cachorros con características de una especie de lobo extinto. En otro trabajo los autores analizan dos posturas relativas al concepto de gen, la exclusiva de Carlson, y la inclusiva de Griffiths y Neumann-Held, evidenciando las limitantes y aciertos entre ambas posturas. Por último, se presentan dos obituarios, homenajes a dos profesores investigadores de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. En primera instancia, el del Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab quien fungió como jefe del departamento de Botánica desde el 2000 hasta el 2025, investigador prolífico con más de 200 artículos científicos y director de más de 120 tesis de estudiantes en los diversos niveles. Y para finalizar, el del Dr. Gabino Adrián Rodríguez Almaraz, quien por muchos años apoyó en diferentes puestos administrativos de la FCB, apoyando al crecimiento de la misma, participó en dirección de múltiples proyectos de investigación, así como en la formación de recursos humanos. Descansen en paz ambos colegas y amigos.

 JESÚS ANGEL DE LEÓN GONZÁLEZ

# EDITORIAL

No. 18



# EL AGUA,

## SUS PROPIEDADES Y SUS MÉTODOS MÁS COMUNES PARA PURIFICACIÓN

ABRAHAM OCTAVIO RODRÍGUEZ DE LA FUENTE, JOSÉ ANTONIO HEREDIA ROJAS\*, PEDRO ANTONIO NOGUERA DÍAZ, EDUARDO ALFONSO REBOLLAR TÉLLEZ Y JOSÉ ALBERTO VALADEZ LIRA.

### RESUMEN

El agua es la molécula más abundante y esencial para la vida en la Tierra, desempeñando un papel central en los procesos biológicos, la regulación climática y el funcionamiento de los ecosistemas. Sus propiedades físicas y químicas únicas, como su alto calor específico, tensión superficial y capacidad disolvente, la hacen indispensable para la vida, pero también la vuelven susceptible a la contaminación. Los principales contaminantes se clasifican en físicos (partículas suspendidas, microplásticos), químicos (metales pesados, nutrientes, compuestos orgánicos) y biológicos (microorganismos patógenos). Para garantizar agua segura, se emplean diversos métodos de purificación que incluyen filtración, ósmosis inversa, desinfección química mediante cloración y ozonización, luz ultravioleta y tratamiento térmico. Cada técnica presenta ventajas y limitaciones específicas: la filtración remueve partículas y algunos microorganismos, la ósmosis inversa elimina sales y metales pesados con hasta 99% de eficacia, la cloración es económica, pero genera subproductos, la ozonización es eficaz sin residuos peligrosos, la luz UV inactiva patógenos sin alterar el agua, y el tratamiento térmico elimina microorganismos, aunque no contaminantes químicos. La desalinización del agua de mar surge como alternativa viable en regiones con escasez, destacando la ósmosis inversa como el método más utilizado. La crisis hídrica de Monterrey en 2022 ejemplifica los retos en la gestión urbana del agua, donde más de 5.3 millones de habitantes enfrentaron severas restricciones, subrayando la importancia de estrategias eficientes de purificación y uso responsable. No existe un método único capaz de eliminar todos los contaminantes; la combinación de técnicas adaptadas a las condiciones locales es la estrategia más efectiva para garantizar el acceso equitativo y seguro al agua.

### ABSTRACT

Water is the most abundant and essential molecule for life on Earth, playing a central role in biological processes, climate regulation, and ecosystem functioning. Its unique physical and chemical properties—such as high specific heat, surface tension, and solvent capacity—make it indispensable for life, *yet also* susceptible to contamination. Major contaminants are classified as physical (suspended particles, microplastics), chemical (heavy metals, nutrients, organic compounds), and biological (pathogenic microorganisms). To ensure safe water, various purification methods are employed, including filtration, reverse osmosis, chemical disinfection through chlorination and ozonation, ultraviolet light, and thermal treatment. Each technique has specific advantages and limitations: filtration removes particles and some microorganisms; reverse osmosis eliminates salts and heavy metals with up to 99% efficiency; chlorination is economical but produces by-products; ozonation is effective without hazardous residues; UV light inactivates pathogens without altering water composition; and thermal treatment removes microorganisms but not chemical contaminants. Seawater desalination emerges as a viable alternative in water-scarce regions, with reverse osmosis as the most widely used method. The 2022 Monterrey water crisis, which affected over 5.3 million people, illustrates the challenges of urban water management and highlights the need for efficient purification strategies and responsible use. No single method can remove all contaminants; a combination of techniques adapted to local conditions is the most effective approach to ensuring equitable and safe access to water.

## INTRODUCCIÓN

**E**l agua es la molécula más abundante y esencial para la vida en la Tierra, desempeñando un papel central en los procesos biológicos, la regulación climática y el funcionamiento de los ecosistemas (Serra *et al.*, 2024). A pesar de cubrir cerca del 70% de la superficie terrestre, solo una pequeña fracción es accesible y apta para el consumo humano, ya que la mayoría se encuentra en océanos, glaciares y aguas subterráneas profundas (Salamanca, 2016). Su naturaleza como solvente universal le permite disolver una gran variedad de sustancias, facilitando el transporte de nutrientes y desechos tanto en organismos vivos como en sistemas ambientales (Mishra, 2023).

En las últimas décadas, la creciente demanda, la contaminación y el cambio climático han intensificado la presión sobre los recursos hídricos, haciendo cada vez más frecuente la escasez de agua en zonas urbanas e industriales (Du Plessis, 2019). La crisis hídrica que se vivió en Monterrey en el 2022 ejemplifica esta problemática global, donde más de 5.3 millones de habitantes enfrentaron severas restricciones en el suministro y profundas afectaciones sociales y económicas (Martínez-Canales, 2023).

Esta situación no solo evidenció la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento, sino que también resaltó la urgencia de contar con métodos de purificación accesibles y efectivos, capaces de garantizar la calidad del agua disponible aún en escenarios de escasez extrema. En este contexto, la purificación del agua y la gestión eficiente de este recurso son temas prioritarios para la salud pública y la sostenibilidad urbana (Siddique, 2021).

La relevancia del agua trasciende su función como recurso: es la base misma de la vida. Todas las formas de vida conocidas dependen del agua para llevar a cabo procesos esenciales como la fotosíntesis, la respiración, la digestión y la excreción de desechos. Sin agua, la organización celular, el transporte de nutrientes y la regulación de la temperatura corporal serían imposibles. Además, el agua actúa como soporte de la biodiversidad y como regulador de los ciclos geoquímicos que mantienen el equilibrio del planeta. Por ello, asegurar su calidad y disponibilidad no solo es una cuestión técnica o de gestión, sino un imperativo ético y biológico para la supervivencia y el bienestar de todas las especies, incluida la nuestra.

Este trabajo revisa las propiedades fundamentales del agua, los principales tipos de contaminación que la afectan y los métodos más eficaces para su purificación, con base en evidencia publicada en la literatura.

## PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

### PROPIEDADES FÍSICAS

El agua en estado puro es incolora, inodora e insípida (Quinteros-Ortega, 2017). Su estructura molecular, basada en enlaces de hidrógeno, le confiere características únicas como un alto calor específico ( $4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ), elevada tensión superficial y la capacidad de existir en los tres estados físicos bajo condiciones ambientales terrestres. Estas propiedades permiten que el agua regule la temperatura corporal y ambiental, facilite el transporte de solutos y mantenga la homeostasis en los seres vivos (Riveros-Perez y Riveros, 2018).

Una característica notable es que el agua presenta una densidad máxima a  $4^\circ\text{C}$  ( $1 \text{ g/cm}^3$ ); cuando la temperatura disminuye aún más y el agua se congela, su densidad baja, lo que provoca que el hielo flote sobre el agua líquida (Salamanca, 2016). Esto ocurre porque a  $4^\circ\text{C}$  las moléculas de agua están tan compactas como es posible, ocupando el menor espacio. Si la temperatura desciende de este punto, las moléculas comienzan a separarse y a organizarse en una estructura más abierta, similar a cómo una caja de pelotas se “infla” y ocupa más espacio. Por eso, el hielo es menos denso y flota.

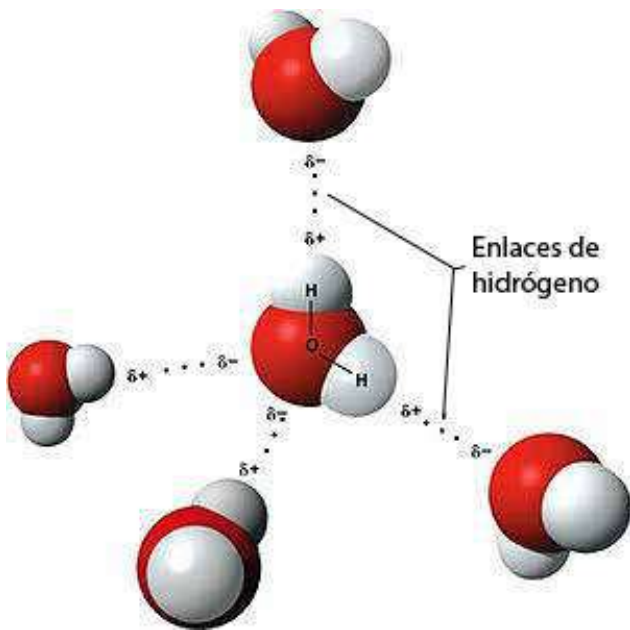
Esta propiedad anómala es crucial para la vida acuática, ya que permite que los cuerpos de agua se congelen desde la superficie hacia abajo, manteniendo el agua líquida debajo del hielo, donde los organismos pueden sobrevivir durante los meses fríos (Chakraborty y Chakraborty, 2021).

### PROPIEDADES QUÍMICAS

La molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) es polar porque el átomo de oxígeno atrae con mayor fuerza a los electrones compartidos que los átomos de hidrógeno, creando una distribución desigual de cargas en la molécula (Brenes-Esquivel y Rojas-Solano, 2005). Esta polaridad se puede imaginar como un pequeño imán: un extremo de la molécula (el oxígeno) tiene una ligera carga negativa, mientras que los extremos opuestos (los hidrógenos) tienen una ligera carga positiva.

Gracias a esta característica, el agua puede atraer y rodear fácilmente a otras moléculas con carga, como la sal común (cloruro de sodio), facilitando su disolución. Por eso, la sal se disuelve fácilmente en agua, pero no en aceite, ya que el aceite está formado por moléculas no polares que no interactúan con el “imán” del agua (García-Barradas, 2019). Además, los enlaces de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua permiten la creación de estructuras dinámicas, favoreciendo la disolución de sales, gases y compuestos orgánicos e inorgánicos (Serra *et al.*, 2024).

El agua posee una naturaleza anfótera, es decir, puede actuar tanto como un ácido (donador de protones)



**Figura 1.** Estructura molecular del agua ( $H_2O$ ) destacando la polaridad y los enlaces de hidrógeno que le confieren propiedades únicas como su capacidad disolvente y alta tensión superficial.



**Figura 2.** Efectos de la contaminación hídrica en la biodiversidad acuática.

como una base (aceptor de protones) dependiendo de las circunstancias (Salamanca, 2016). Esta propiedad es crucial en varias reacciones químicas que ocurren en soluciones acuosas y en sistemas biológicos (Pérez-Vidal *et al.*, 2016). El agua es esencial en la fotosíntesis, ya que aporta los electrones necesarios para transformar la energía solar en compuestos orgánicos y libera oxígeno como subproducto, sosteniendo así la vida en el planeta (Medrano *et al.*, 2007). Por lo tanto, la disponibilidad y calidad del agua no solo determinan la productividad vegetal, sino que impactan directamente en la estabilidad de los ecosistemas y en la supervivencia de todos los seres vivos dependientes del oxígeno y de la materia orgánica generada por las plantas.

## CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación hídrica se define como la introducción, directa o indirecta, de sustancias y materiales externos al medio acuático, lo que provoca una degradación de su calidad (Cirelli, 2012). Los contaminantes se clasifican en tres categorías principales según estudios publicados en revistas especializadas (Kordbacheh y Heidari, 2023):

### CONTAMINANTES FÍSICOS

Incluyen partículas y materiales suspendidos que no se disuelven fácilmente en el agua. Generando turbidez y dificultando la vida acuática al reducir la penetración de la luz solar (Salamanca, 2016). Los microplásticos han emergido como un contaminante físico particularmente

preocupante, ya que se encuentran en efluentes de agua dulce y terminan en mares y océanos (Kordbacheh y Heidari, 2023). Son problemáticos porque, debido a su pequeño tamaño y persistencia, pueden ser ingeridos por organismos acuáticos y entrar en la cadena alimentaria, afectando la salud de peces, aves y mamíferos. Además, los microplásticos pueden transportar sustancias químicas tóxicas y al acumularse en órganos humanos y animales, se asocian con inflamación, alteraciones en el sistema endocrino y posibles daños cardiovasculares y neurológicos (Perilla-Portilla *et al.*, 2023).

Más allá de los microplásticos, otros contaminantes físicos afectan la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. Entre ellos, se encuentran partículas suspendidas como sedimentos provenientes de erosión o actividades humanas que deben ser menores a 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) según la Secretaría de Salud (2021), que generan turbidez y reducen la penetración de la luz solar, perjudicando la fotosíntesis acuática. También está la contaminación térmica causada por descargas industriales que elevan la temperatura del agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y alterando los ciclos biológicos de peces y algas. Por último, residuos sólidos grandes, tales como plásticos, madera, y metales, pueden obstruir cauces y hábitats acuáticos, generando daños físicos a los organismos y modificando las dinámicas ecosistémicas. Estos diferentes contaminantes físicos complican la salud ambiental y requieren estrategias integrales para su monitoreo y control (Franco *et al.*, 2010).

## CONTAMINANTES QUÍMICOS

Esta categoría abarca una variedad de sustancias que alteran la composición química del agua entre las cuales encontramos las siguientes categorías (Gil *et al.*, 2012):

### METALES PESADOS

Como plomo (límite máximo permisible: 0.01 mg/L), mercurio (0.006 mg/L), aluminio (0.20 mg/L), níquel (0.07 mg/L) y arsénico (0.025 mg/L), según la NOM-127-SSA1-2021 para agua potable en México (Secretaría de Salud, 2021). Estos metales, en concentraciones elevadas, generan toxicidad aguda y crónica, afectando órganos como el sistema nervioso, hígado y riñones, e incluso provocando trastornos neurológicos, cáncer y fallos en el sistema inmunológico. El aluminio, por ejemplo, se relaciona con casos de demencia cuando supera los 0.20 mg/L en agua potable.

### NUTRIENTES INORGÁNICOS

Principalmente nitratos (N-NO<sub>2</sub>: 11 mg/L) y nitritos (N-NO<sub>2</sub>: 0.90 mg/L) provenientes de fertilizantes agrícolas, según la NOM-127-SSA1-2021. Estos estimulan el crecimiento excesivo de algas (eutrofización) y, en agua potable, los nitratos >10 mg/L se asocian con metahemoglobinemia ("síndrome del bebé azul") en infantes, mientras que los nitritos causan hipoxia tisular.

### COMPUESTOS ORGÁNICOS

Incluyen petróleo, gasolina, plásticos y plaguicidas persistentes (ej. clorpirifos: 30 µg/L; dimetoato: 6 µg/L; benzo(a)pireno: 0.70 µg/L), con límites estrictos en NOM-127-SSA1-2021 para agua potable. Su difícil degradación genera bioacumulación, toxicidad crónica (cáncer, disrupción endocrina) y riesgos mutagénicos por exposición prolongada.

## CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

Los microorganismos patógenos constituyen una importante categoría de contaminantes biológicos del agua (Gil *et al.*, 2012). Bacterias, virus, protozoos y otros parásitos pueden causar enfermedades graves como el cólera, tifus, hepatitis y diversas infecciones gastrointestinales. Estos microorganismos llegan al agua principalmente a través de descargas de aguas residuales, heces humanas o animales, y pueden transmitirse por el consumo directo, el uso doméstico o el contacto con agua contaminada. La presencia de estos patógenos representa un riesgo significativo para la salud pública, ya que basta una pequeña cantidad de microorganismos para desencadenar brotes de enfermedades, especialmente en comunidades sin acceso a métodos adecuados de purificación (Kordbacheh y Heidari, 2023).

## MÉTODOS DE PURIFICACIÓN DEL AGUA

La purificación del agua busca eliminar o reducir contaminantes para obtener agua segura para el consumo humano (Kordbacheh y Heidari, 2023). Los principales métodos, documentados en literatura científica indexada, incluyen:

### FILTRACIÓN

La filtración elimina partículas suspendidas y algunos microorganismos mediante el paso del agua a través de materiales porosos (Kordbacheh y Heidari, 2023).

Los filtros de carbón activado son especialmente eficaces para remover compuestos orgánicos y mejorar el sabor y olor del agua, ya que poseen millones de microporos que capturan y adsorben moléculas contaminantes, sobre todo químicos como cloro, pesticidas y compuestos orgánicos volátiles (Siong *et al.*, 2013). En contraste, los filtros cerámicos actúan principalmente como una barrera física que retiene partículas, sedimentos y microorganismos, siendo ideales para eliminar bacterias y turbidez, aunque menos eficaces para remover contaminantes químicos o mejorar el sabor.

Estudios publicados en la literatura han demostrado que los filtros cerámicos pueden separar sólidos de líquidos, aunque presentan la desventaja de que pueden convertirse en sustratos para el crecimiento de colonias microbianas si no se mantienen adecuadamente (Preston, 2018). Este método presenta un costo bajo a moderado y se debe reemplazar el filtro cada seis meses.

### ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar sales, metales pesados, virus y bacterias, logrando una reducción de hasta el 99 % de los iones y el 99.99 % de virus y bacterias presentes en el agua (Portillo *et al.*, 2006). Este proceso consiste en aplicar una presión mayor que la presión osmótica natural, lo que obliga al agua a pasar en sentido contrario al flujo normal a través de la membrana.

La membrana actúa como un "colador" extremadamente fino: solo permite el paso de las moléculas de agua, reteniendo las impurezas y contaminantes (Malaeb y Ayoub, 2011). Investigaciones científicas han documentado que las membranas de ósmosis inversa pueden separar del agua cualquier partícula contaminante de más de 0.0001 micras, eliminando contaminantes microbianos, metales pesados, pesticidas, herbicidas y todo tipo de sales (Chian *et al.*, 1975). Este método requiere presión y mantenimiento periódico y el costo por litro es bajo una vez instalado.

## DESINFECCIÓN QUÍMICA

### CLORACIÓN

La cloración es el método más utilizado a nivel mundial para la desinfección del agua (Salamanca, 2016). Cuando el cloro gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ) se disuelve en agua, forma ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ) y el ion hipoclorito ( $\text{OCl}_2$ ), siendo el ácido hipocloroso aproximadamente 80 veces más eficiente como bactericida que el ion hipoclorito. Una de las principales ventajas de la cloración es su bajo costo: el tratamiento doméstico puede realizarse con tabletas o gotas de cloro, con un valor aproximado de \$0.10 a \$0.50 MXN por cada 20 litros de agua tratada, lo que la hace accesible incluso en comunidades con recursos limitados.

Sin embargo, en estudios previos se ha documentado que el tratamiento con cloro presenta algunas desventajas, como la formación de subproductos potencialmente cancerígenos (trihalometanos) (Galal-Gorchev, 1996).

### OZONIZACIÓN

El ozono ( $\text{O}_3$ ) es un poderoso oxidante utilizado en la purificación del agua, aproximadamente el doble de fuerte que el cloro (Glaze, 1987). Actúa como desinfectante contra bacterias, virus y parásitos, y también ayuda en la micro-floculación y reducción de sólidos suspendidos (Wei *et al.*, 2017).

Una ventaja importante del tratamiento con ozono es que no produce trihalometanos y es capaz de inactivar microorganismos patógenos resistentes a otros desinfectantes, como quistes de *Giardia* y *Cryptosporidium* (Salamanca, 2016). Aunque tiene la desventaja que el costo de inversión inicial es alto el costo de operación se vuelve muy bajo.



**Figura 3.** Desinfección física del agua mediante luz ultravioleta, que inactiva microorganismos sin alterar las propiedades químicas del agua.



**Figura 4.** Tratamiento térmico: ebullición del agua durante al menos 3 minutos para eliminar microorganismos patógenos.

## DESINFECCIÓN FÍSICA

### LUZ ULTRAVIOLETA (UV)

La desinfección mediante luz ultravioleta es un método físico que no altera la composición química, el sabor ni el olor del agua. Funciona inactivando microorganismos al dañar su ADN, impidiendo que se reproduzcan cuando son expuestos a radiación UV de 254 nanómetros. Estudios científicos han demostrado que la desinfección UV ofrece ventajas importantes: no requiere productos químicos, mantiene las propiedades originales del agua, actúa de forma instantánea y es eficaz contra patógenos resistentes al cloro (Campos y Castillo, 2022). Sin embargo, su eficacia depende de que el agua esté suficientemente clara, ya que la radiación solo actúa sobre los microorganismos presentes en la zona iluminada y no penetra bien en aguas turbias o con sólidos en suspensión.

En cuanto al costo, la inversión inicial es elevada y requiere el reemplazo anual de la lámpara, aunque el costo de operación es bajo.

### TRATAMIENTO TÉRMICO

El tratamiento térmico consiste en calentar el agua hasta su punto de ebullición ( $100\text{ }^\circ\text{C}$ ), manteniéndola en hervor para eliminar microorganismos infecciosos. Es uno de los métodos más antiguos y accesibles para purificar agua. Para garantizar la eliminación efectiva de la mayoría de los microorganismos infecciosos, se recomienda mantener el agua a temperatura de ebullición durante al menos tres minutos (Salamanca, 2016). Este método es muy accesible, aunque requiere

energía y tiempo para elevar la temperatura y no es capaz de eliminar contaminantes químicos.

#### DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR

Actualmente, la escasez de agua para consumo humano se debe al incremento de la población, los cambios ambientales, la creciente demanda de agua para riego y producción de alimentos, el uso de agua para enfriar maquinaria o centros de datos, así como a las alteraciones provocadas por la actividad humana en la Tierra. Estas condiciones han provocado que las fuentes convencionales como ríos, lagos y mantos freáticos, empleados habitualmente para potabilizar el agua, estén reduciendo sus niveles, lo que obliga a implementar estrategias para incrementar la disponibilidad de agua y satisfacer las necesidades humanas. La desalinización consiste en eliminar la sal y otros minerales del agua de mar para hacerla apta para consumo y uso agrícola o industrial.

Los mares y océanos, que constituyen aproximadamente el 70% de la superficie terrestre, representan una fuente de agua abundante que podría mitigar el déficit hídrico global. Sin embargo, el agua de mar no es apta para consumo humano debido a su alta concentración de sales, estimada en alrededor de 35,000 ppm, es decir, 35 veces mayor que en el agua dulce de ríos (Voutchkov, 2022).

A pesar del gran potencial del agua de mar, el número de plantas desalinizadoras en el mundo es limitado, y aquellas que existen potabilizan volúmenes inferiores a las que utilizan agua dulce. Esta situación se debe principalmente a los elevados costos energéticos requeridos para remover la sal. Sin embargo, la creciente necesidad de agua ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías para reducir dichos costos energéticos. La Agencia Internacional de Desalinización (IDA, por sus siglas en inglés) estima que cerca de 300 millones de personas obtienen agua de plantas desalinizadoras, concentradas principalmente en Medio Oriente, que representa el 70% del agua desalinizada, además del norte de África, California (EE. UU.) y Australia (Voutchkov, 2022).

Para que el agua de mar sea apta para consumo humano, es necesario remover la sal disuelta a través de un proceso denominado desalinización, que consta de cuatro etapas: 1) toma de agua, 2) proceso de desalinización, 3) almacenamiento y distribución del agua purificada, y 4) tratamiento de los desechos salinos (Leijon & Boström, 2018). En la segunda etapa se emplean varios métodos, entre ellos: ósmosis inversa, destilación, nanofiltración, electrodiálisis, formación de hidratos y congelación, polarización por concentración de iones, y uso de marcos de metal-orgánicos (MOF) (Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

Los métodos más usados para potabilizar agua de mar a gran escala son la ósmosis inversa, la electrodiálisis y la destilación. La destilación es el proceso más antiguo y puede aplicarse de forma sencilla con poca infraestructura: consiste en evaporar el agua usando una fuente de calor y condensar el vapor. Para potabilizar grandes volúmenes se requiere mayor infraestructura, siendo la compresión mecánica de vapor una técnica derivada ampliamente empleada (Leijon & Boström, 2018).

Actualmente, el método predominante es la ósmosis inversa, que ha logrado reducir los costos energéticos para procesar 1,000 litros de agua a niveles equivalentes a los necesarios para una garrafa de 5 litros y una hora de aire acondicionado (Dashtpour & Al-Zubaidy, 2012). El proceso de desalinización por ósmosis inversa se compone generalmente de cinco fases: 1) toma de agua de mar mediante tuberías instaladas en el fondo marino, 2) pretratamiento y filtrado inicial para eliminar partículas grandes como algas y residuos sólidos, 3) ósmosis inversa propiamente dicha, donde se aplica presión para forzar el paso del agua salada a través de una membrana semipermeable, 4) almacenamiento, postratamiento y distribución del agua potable obtenida, y 5) devolución al mar de la salmuera resultante, que es el concentrado salino residual (Curto *et al.*, 2021).

La fase de ósmosis inversa requiere un alto consumo energético debido a la presión necesaria para filtrar el agua. Inicialmente, esta energía provenía de fuentes térmicas basadas en combustibles fósiles; sin embargo, para reducir costos y alinearse con la agenda de desarrollo sostenible de la ONU, se ha comenzado a emplear energías renovables como la solar, eólica y la energía generada por el movimiento de olas. Aunque estas fuentes no garantizan un suministro constante, tecnologías recientes aprovechan la energía del oleaje, que genera aproximadamente 80,000 TWh/año, haciendo que la desalinización sea una opción viable para muchos países con problemas de escasez hídrica (Leijon & Boström, 2018). México es uno de esos países y, mediante un comunicado oficial, afirmó que “la desalinización de agua de mar es una alternativa viable para incrementar la disponibilidad del agua a la población” (Comisión Nacional del Agua, 2022).

#### TRATAMIENTO Y PURIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas representan un desafío ambiental, pero también una oportunidad para incrementar la disponibilidad de agua mediante su tratamiento y reutilización. Según la UNESCO (2024), más del 50% de las aguas residuales en América Latina no reciben tratamiento adecuado, contaminando fuentes de agua potable. El tratamiento se realiza en Estaciones Depuradoras mediante procesos físicos, químicos y biológicos secuenciales.

El proceso convencional consta de cuatro etapas principales. El pretratamiento elimina sólidos grandes mediante rejillas y desarenadores, reduciendo entre el 20 y 30% de los sólidos presentes. El tratamiento primario utiliza sedimentación para remover sólidos suspendidos y grasas, eliminando hasta el 30% de la carga contaminante (Ramon, 2005). El tratamiento secundario emplea procesos biológicos donde microorganismos degradan la materia orgánica disuelta, siendo los más comunes los lodos activados, lagunas de estabilización y humedales artificiales. Estudios han demostrado que estos sistemas alcanzan remociones del 80% de materia orgánica, y cuando se combinan, las eficiencias superan el 90% (Vargas *et al.*, 2020). Finalmente, el tratamiento terciario utiliza filtración avanzada, desinfección mediante los métodos ya descritos (cloración, ozonización o UV), y procesos de oxidación avanzada para eliminar contaminantes específicos como nutrientes y patógenos resistentes.

La reutilización de aguas residuales tratadas es una estrategia clave para enfrentar la escasez hídrica. Las aguas tratadas pueden emplearse en riego agrícola, usos industriales, recarga de acuíferos y, tras tratamientos avanzados, incluso para consumo humano indirecto (Sarria *et al.*, 2005). Tecnologías innovadoras como los biorreactores de membrana (MBR) han demostrado capacidad para reducir el consumo energético en 35% y eliminar el 95% de compuestos orgánicos persistentes, permitiendo reutilizar hasta el 40% del agua tratada (Gabarron *et al.*, 2014). Esta práctica es especialmente relevante en contextos de crisis hídrica, donde la diversificación de fuentes de abastecimiento es fundamental para garantizar la seguridad hídrica urbana.

## CASO DE ESTUDIO:

### CRISIS HÍDRICA EN MONTERREY, N.L. MÉXICO

La crisis hídrica de Monterrey en 2022 representa uno de los casos más paradigmáticos de escasez de agua en contextos urbanos de América Latina. Esta situación fue el resultado de una compleja interacción de factores climáticos, demográficos y de gestión. Por un lado, el noreste de México experimentó una sequía prolongada, con precipitaciones muy por debajo del promedio y temperaturas elevadas que incrementaron la evaporación y redujeron la recarga de presas y acuíferos. Este fenómeno se vio agravado por el cambio climático, que ha intensificado la frecuencia y severidad de las sequías en la región. Al mismo tiempo, el acelerado crecimiento poblacional y la expansión urbana en Monterrey y su área metropolitana incrementaron la demanda de agua potable, superando la capacidad de las fuentes tradicionales y presionando aún más el sistema de abastecimiento (Zuñiga y Avila, 2023).

Para dimensionar la magnitud de esta anomalía hídrica, es crucial analizar los registros meteorológicos en contraste con las medias históricas. Según datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en 2022 Nuevo León registró una precipitación acumulada de 502.6 mm, lo que representa apenas el 80% de la media histórica de 627.6 mm observada en el periodo 1960-2020 (CONAGUA, 2023). Este déficit pluvial no fue un evento aislado en el norte de México; estados vecinos como Coahuila reportaron precipitaciones aún menores (aprox. 246.5 mm en el ciclo anual previo). Sin embargo, la crisis en Monterrey se distinguió por su alta vulnerabilidad demográfica: mientras que la población estatal creció de 3.5 millones en 1995 a 5.7 millones en 2020 (INEGI, 2021), la infraestructura de



**Figura 5.** Presa Cerro Prieto en 2015 y 2022. Nota. Imagen tomada por el satélite Landsat 8. Fuente: NASA Earth Observatory, 2015 y 2022.

almacenamiento no se expandió al mismo ritmo. A nivel nacional, la crisis de Monterrey se insertó en un contexto de estrés hídrico generalizado, donde 1,546 municipios de México reportaron algún grado de sequía durante el mismo periodo, evidenciando que, aunque el fenómeno meteorológico fue regional, el colapso del sistema urbano fue exacerbado por la dependencia excesiva de fuentes superficiales que alcanzaron niveles críticos (<5% de capacidad), a diferencia de otras regiones del país que mitigaron la sequía con una mayor extracción de aguas subterráneas.

La gestión hídrica también jugó un papel central en la crisis. Diversos estudios han señalado que la planeación a corto plazo, la infraestructura insuficiente y la falta de mantenimiento adecuado contribuyeron a la vulnerabilidad del sistema. En 2022, las principales presas de la región (Cerro Prieto, La Boca y El Cuchillo) estuvieron por debajo del 5% de su capacidad (Hernández Lozano y Pavón, 2024), lo que obligó a implementar cortes programados y racionamientos drásticos del suministro, con acceso al agua limitado a solo seis horas diarias en muchas zonas. Además, la sobreexplotación de acuíferos apenas logró compensar parcialmente la escasez, ya que estos presentaron una recuperación marginal, insuficiente frente a la demanda creciente. Las consecuencias sociales y económicas de la crisis fueron profundas. Se evidenciaron desigualdades marcadas en el acceso al recurso, ya que mientras algunos sectores recibían agua de manera intermitente, otros, especialmente en municipios periféricos como García, Escobedo, Guadalupe, San Nicolás de los Garza, Zuazua, Juárez y Pesquería, pasaron meses sin suministro regular. Esto obligó a miles de familias a depender de pipas y a recurrir al almacenamiento en condiciones que, en ocasiones, pusieron en riesgo la salud pública por la proliferación de enfermedades hídricas (The New York Times, 2022). Por esto es importante tomar en cuenta diferentes alternativas de purificación de agua que estén accesibles a la población.

Frente a esta situación, las respuestas institucionales incluyeron la implementación de medidas de emergencia, como la distribución de agua en pipas, la regulación de la presión en la red y la promoción de campañas de ahorro. Se aceleraron proyectos de infraestructura, como la perforación de nuevos pozos y la construcción de la presa Libertad, aunque estos esfuerzos enfrentaron limitaciones técnicas, financieras y de aceptación social (Román, 2024). La literatura científica subraya la importancia de adoptar tecnologías avanzadas de purificación, como la ósmosis inversa y la desinfección ultravioleta, así como de promover la reutilización de aguas residuales tratadas para diversificar las fuentes y aumentar la resiliencia del sistema urbano.

La crisis de Monterrey deja lecciones clave para la gestión hídrica urbana: la necesidad de una planeación basada en datos y escenarios climáticos, la diversificación de fuentes de abastecimiento, la integración de tecnologías de purificación adaptadas a los contaminantes locales y, fundamentalmente, la promoción de una cultura de uso racional y equitativo del agua. La literatura coincide en que la solución no es únicamente tecnológica, sino que debe incluir políticas públicas integrales, participación comunitaria y educación ambiental para transformar los hábitos sociales y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

En este contexto, la experiencia de Monterrey evidencia que ningún método de purificación resulta suficiente por sí solo para garantizar la seguridad y calidad del agua en situaciones de crisis. La complejidad de los contaminantes presentes —que incluyen partículas, microorganismos, metales pesados y compuestos orgánicos— exige la implementación de sistemas integrados que combinen diferentes tecnologías de purificación (Eshkoraev, 2024). Por ejemplo, la filtración puede eliminar sólidos y microorganismos grandes, pero no remueve contaminantes químicos; la ósmosis inversa es eficaz para sales y metales, pero requiere prefiltrado y mantenimiento; la desinfección ultravioleta inactiva patógenos, pero no elimina partículas ni sustancias químicas.

La combinación estratégica de estos métodos permite abordar las limitaciones de cada uno y adaptarse a la calidad variable del agua disponible durante emergencias. Además, facilita que tanto hogares como comunidades puedan elegir soluciones según sus recursos y necesidades específicas, incrementando la resiliencia frente a futuras crisis. Este enfoque integral, respaldado por la literatura científica, es clave para reducir riesgos sanitarios y asegurar el acceso a agua potable en escenarios de escasez y alta vulnerabilidad.

## CONCLUSIONES

El agua es un recurso vital, insustituible y limitado, cuya gestión adecuada es fundamental para la salud, el desarrollo y la sostenibilidad de las sociedades. Sus propiedades únicas la convierten en el medio ideal para la vida, pero también la hacen vulnerable a la contaminación y la sobreexplotación.

La revisión de los métodos de purificación, basada en literatura científica, demuestra que no existe una solución única ni universal: la combinación de técnicas físicas, químicas y biológicas, cuidadosamente adaptadas a las condiciones y contaminantes locales, es la estrategia más efectiva para garantizar agua segura.

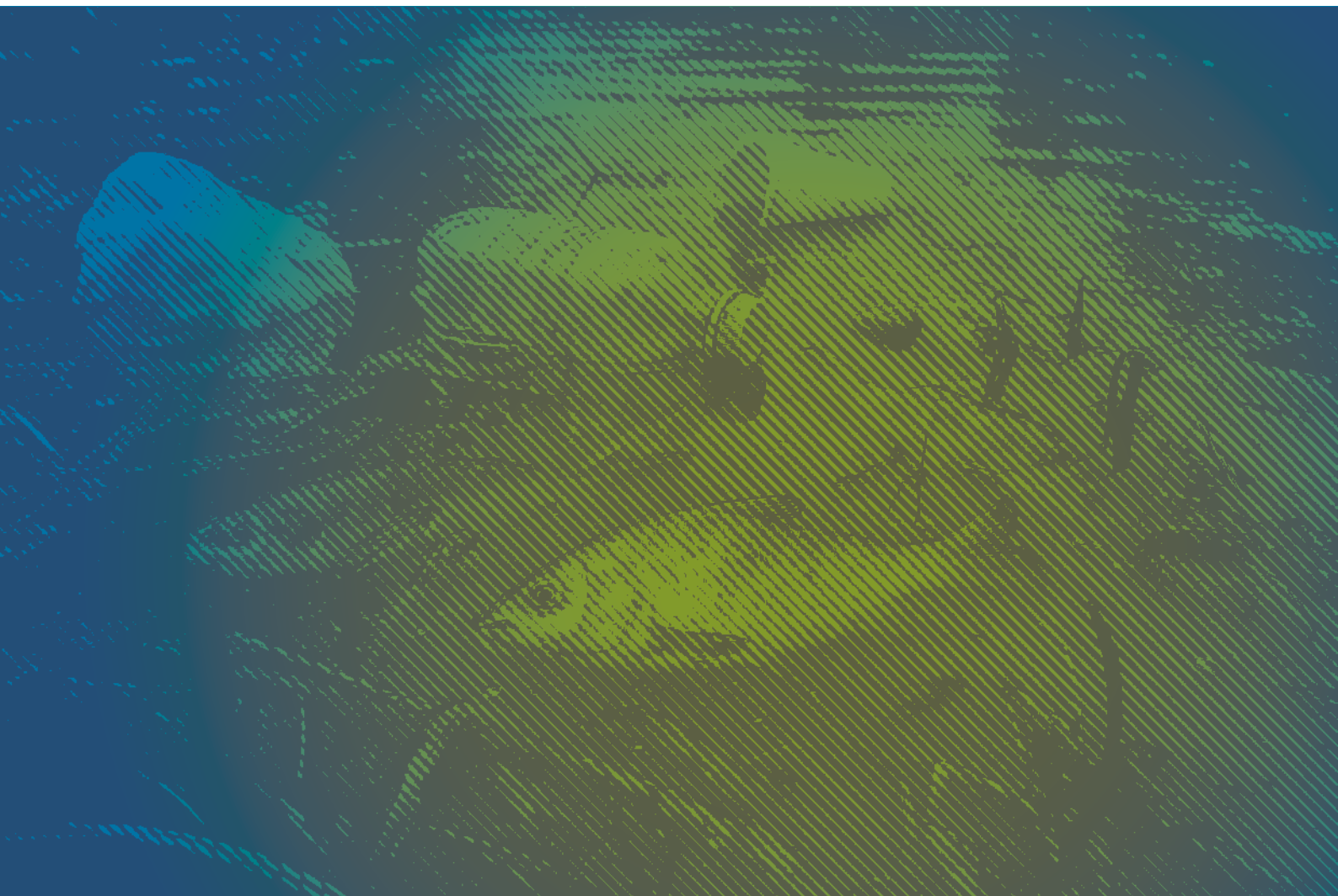
Esta integración de métodos permite abordar la amplia variedad de contaminantes presentes y compensar las limitaciones individuales de cada tecnología.

Además, el coste económico es un factor crucial en la selección y aplicación de estos métodos. La viabilidad de cualquier solución depende de encontrar un equilibrio entre la eficacia en la remoción de contaminantes y la accesibilidad económica, especialmente en comunidades vulnerables o en situaciones de crisis como la vivida en Monterrey. Por ello, es fundamental considerar tanto los costos de inversión inicial como los de operación y mantenimiento, priorizando tecnologías sostenibles y adaptables a diferentes contextos.

En escenarios de escasez, la purificación del agua debe ir acompañada de políticas de ahorro, educación ambiental y planeación urbana sustentable. El caso de Monterrey es una advertencia para otras ciudades: la disponibilidad de agua potable no está garantizada y depende de la acción coordinada de autoridades,

empresas y ciudadanía. Cuidar el agua y optimizar sus métodos de purificación no solo es una necesidad técnica, sino también un compromiso ético, social y económico para las generaciones presentes y futuras.

Además de los retos actuales en la disponibilidad y calidad del agua, persisten importantes vacíos de conocimiento sobre cómo integrar, a diferentes escalas, los métodos de purificación existentes en sistemas más eficientes desde el punto de vista energético y ambiental. En particular, se requiere avanzar en el desarrollo de tecnologías de desalinización que reduzcan de manera significativa el consumo energético y los costos operativos, así como en nuevas aproximaciones biotecnológicas capaces de remover contaminantes emergentes y mejorar la reutilización segura de aguas residuales. Estos campos de investigación son clave para transitar hacia esquemas de gestión hídrica más resilientes, equitativos y sostenibles, especialmente en regiones vulnerables a crisis como la experimentada recientemente en Monterrey.





- Brenes-Esquivel, R., L.F. Rojas-Solano. 2005. El agua: sus propiedades y su importancia biológica. *Acta Académica*, 37(Noviembre), 167-196. <http://revista.uaca.ac.cr/index.php/actas/article/view/407>
- Campos, E.D.E., P.J.M. Castillo. 2022. Diseño y construcción de un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial usando ozono y radiación ultravioleta en el aeropuerto de Jaén. *Revista Científica Pakamuros*, 10(1). <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/170>
- Chakraborty, S.K., S.K. Chakraborty. 2021. Water: Its properties, distribution, and significance. *Riverine Ecology Volume 1: Eco-functionality of the Physical Environment of Rivers*, 23-55. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-53897-2\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-53897-2_2)
- Chian, E.S., W.N. Bruce, H.H. Fang. 1975. Removal of pesticides by reverse osmosis. *Environmental Science & Technology*, 9(1), 52-59. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es60099a009>
- Cirelli, A.F. 2012. El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. 2022. La desalinización de agua de mar es una alternativa viable para incrementar la disponibilidad del agua a la población. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua/prensa/la-desalinizacion-de-agua-de-mar-es-una-alternativa-viable-para-incrementar-la-disponibilidad-del-agua-a-la-poblacion>
- Comisión Nacional del Agua. 2023. Reporte del Clima en México 2022. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Curto, D., V. Franzitta, A. Guercio. 2021. A review of the water desalination technologies. *Applied Sciences*, 11(2), 670. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/2/670>
- Dashtpour, R., S.N. Al-Zubaidy. 2012. Energy efficient reverse osmosis desalination process. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(4), 339. <https://fgwater.com/static/upload/file/20230615/1686809996898981.pdf>
- Dévora-Isiordia, G.E., R. González-Enríquez, S. Ruiz-Cruz. 2013. Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(3), 27-46. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222013000300002&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222013000300002&script=sci_arttext)
- Du Plessis, A. 2019. Current and Future Water Scarcity and Stress. In: *Water as an Inescapable Risk*. Springer Water. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03186-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03186-2_2)
- Eshkoraev, S. 2024. Innovative methods in water purification: paving the way for sustainable clean water solutions. *Journal of universal science research*, 2(11), 458-463. <https://inlibrary.uz/index.php/universal-scientific-research/article/view/70900>
- Franco, E.F., R. Ramos, A. Ovando-Javier, E. Montero-Españat, S. Bonilla, A. Veda, 2023. Sensores de calidad de agua para el control de la contaminación fisicoquímica en los acuíferos de Latinoamérica: una revisión. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(1), 45-70. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i1.pp45-70>
- Gabarron, S., G. Ferrero, M. Dalmau, J. Comas, I. Rodríguez-Roda. 2014. Assessment of energy-saving strategies and operational costs in full-scale membrane bioreactors. *Journal of Environmental Management*, 134, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.023>
- Galal-Gorchev, H. 1996. Chlorine in water disinfection. *Pure and Applied chemistry*, 68(9), 1731-1735. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac199668091731/html>
- García-Barradas, O. 2019. Un corto viaje por la química, agua, sal y aceite: aprender a hablar y escribir como químico. *Revista Eduscientia*. Divulgación de la ciencia educativa, 2(3), 49-57. <https://eduscientia.com/index.php/journal/article/view/43>
- Gil, M. J., A.M. Soto, J.I. Usma, O.D. Gutiérrez. 2012. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción limpia*, 7(2), 52-73. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552012000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552012000200005&script=sci_arttext)
- Glaze, W.H. 1987. Drinking-water treatment with ozone. *Environmental science & technology*, 21(3), 224-230. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es00157a001>
- Hernández Lozano, R., N.P. Pavón, 2024. Índices para el monitoreo de cuerpos de agua usando sensores remotos. *Acta universitaria*, 34. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662024000100108&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662024000100108&script=sci_arttext)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2021. Censo de Población y Vivienda 2020: Panorama sociodemográfico de Nuevo León. INEGI. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Kordbacheh, F., G. Heidari, 2023. Water pollutants and approaches for their removal. *Materials Chemistry Horizons*, 2(2), 139-153. [https://mch.du.ac.ir/article\\_324.html](https://mch.du.ac.ir/article_324.html)
- Leijon, J., C. Boström, 2018. Freshwater production from the motion of ocean waves – A review. *Desalination*, 435, 161-171. <https://doi.org/10.1016/j.DESAL.2017.10.049>
- Malaeb, L., G.M. Ayoub, 2011. Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review. *Desalination*, 267(1), 1-8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916410006351>
- Martínez-Canales, L.A. 2023. "¡ No es sequía, es saqueo!" Propaganda y movimiento social durante la crisis hídrica en Monterrey, México, desde el sentido común de Gramsci. *Transdisciplinar. Revista de Ciencias Sociales del CEH*, 3(5), 130-172. <https://transdisciplinar.uanl.mx/index.php/t/article/view/74>
- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó, J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas* (Esp), (43), 63-84. <https://www.redalyc.org/pdf/176/17604304.pdf>
- Mishra, R.K. 2023. Fresh water availability and its global challenge. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, 4(3), 1-78. <https://bjmas.org/index.php/bjmas/article/view/455>
- Pérez-Vidal, A., J. Díaz-Gómez, K.L. Salamanca-Rojas, L.Y. Rojas-Torres. 2016. Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. *Revista de Salud Pública*, 18, 275-289. <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2016.v18n2/275-289/es>
- Perilla Portilla, F.E., J.F. Quiroz Ortega. 2023. Microplásticos, una amenaza invisible para la salud humana y ambiente. *Revista Cubana de Salud Pública*, 49(4):e18019 [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662023000400010&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662023000400010&lng=es&tlng=es)
- Portillo, M.T.E., Muñoz, G.E., J.A.S. Plata. 2006. Evaluación de los procesos de purificación de una despachadora de agua potable en Ciudad Juárez. *CULCYT: Cultura Científica y Tecnológica*, 3(13), 2. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7292790>

- Preston, T. 2018. A Ceramic Water Filter Design: Increasing Effectiveness of Safe Drinking Water Solutions (Doctoral dissertation, University of Guelph). <https://atrium.lib.uoguelph.ca/server/api/core/bitstreams/8c400a0d-64b3-4f0a-8f34-6adc82f102f9/content>
- Quinteros Ortega, L. 2017. Evolución de los derechos de aprovechamiento de aguas afectos al cobro de la patente por no uso de las aguas: período 2013-2015 (Doctoral dissertation, Universidad Academia de Humanismo Cristiano). <https://bibliotecadigital.academia.cl/items/9ec3462e-9f62-4c9d-91a8-6e30ad6452f9>
- Ramón, J.A. 2005. Tratamiento de aguas residuales urbanas utilizando la depuración simbiótica. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(2), 26-33. <https://www.redalyc.org/pdf/903/90330204.pdf>
- Riveros-Perez, E., R. Riveros. 2018. Water in the human body: An anesthesiologist's perspective on the connection between physicochemical properties of water and physiologic relevance. *Annals of medicine and surgery*, 26, 1-8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2049080117304272>
- Román, P. 2024. Estado instala sistema de bombeo en Presa Libertad; garantiza 500 litros por segundo. *ABC Noticias*. <https://abcnoticias.mx/local/2024/4/27/estado-instala-sistema-de-bombeo-en-presa-libertad-garantiza-500-litros-por-segundo-215057.html>
- Salamanca, E. 2016. Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura - CUC*, 17(1), 29-48. <https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02>
- Sarria, V. M., S. Parra, Á.G. Rincón, C. Pulgarín, R.A. Torres, 2005. Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales y de bebida. *Revista colombiana de química*, 34(2), 161-173. [https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CO\\_721ec7881c11f7d2d8293035992b6ca1](https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CO_721ec7881c11f7d2d8293035992b6ca1)
- Secretaría de Salud. 2021. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua (NOM-127-SSA1-2021). Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650703&fecha=20/12/2021](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650703&fecha=20/12/2021)
- Serra Añó, P., E. Barba Campos, D. Corella Piquer. 2024. Más claro, agua: Guía para un uso del agua más saludable y sostenible. *Publicacions De La Universitat De València*. Recuperado a partir de <https://omp.uv.es/index.php/PUV/catalog/book/642>
- Siddique, I. 2021. Sustainable Water Management in Urban Areas: Integrating Innovative Technologies and Practices to Address Water Scarcity and Pollution. *The Pharmaceutical and Chemical Journal*, 8(1), 172-178. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4883898](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4883898)
- Siong, Y.K., J. Idris, M. Atabaki. 2013. Performance of activated carbon in water filters. *Water Resources*, 1-19. [https://www.researchgate.net/profile/Jamaliah-Idris/publication/234060484\\_Performance\\_of\\_activated\\_carbon\\_in\\_water\\_filters/links/0912f511d935786b08000000/Performance-of-activated-carbon-in-water-filters.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jamaliah-Idris/publication/234060484_Performance_of_activated_carbon_in_water_filters/links/0912f511d935786b08000000/Performance-of-activated-carbon-in-water-filters.pdf)
- The New York Times en Español. (2022, 3 de agosto). Sequía en México: el país enfrenta una emergencia del agua. <https://www.nytimes.com/es/2022/08/03/espanol/mexico-montreyy-agua-sequia.html?smid=url-share>
- UNESCO. 2024. Las aguas residuales – El recurso desaprovechado. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2017.
- Vargas, A.K., J. Calderón, D. Velásquez, M. Castro, D.A. Núñez, 2020. Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 315-322. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>.
- Voutchkov, N. 2022. Desalinated Water. In: Qadir, M., Smakhtin, V., Koo-Oshima, S., Guenther, E. (eds) *Unconventional Water Resources*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90146-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90146-2_11)
- Wei, C., F. Zhang, Y. Hu, C. Feng, H. Wu. 2017. Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application. *Reviews in Chemical Engineering*, 33(1), 49-89. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/revce-2016-0008/html>
- Zuñiga, J.M.M., N.E.P. Ávila. 2023. Evaluación y diseño de políticas públicas para abordar la disponibilidad y calidad del agua en la crisis hídrica de Monterrey y su área metropolitana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 7865-7878. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6768>



# EL HONGO DEL RAYO Y TRUENO *AMANITA MUSCARIA* (*AMANITACEAE*)

ANGÉLICA MARÍA HERNÁNDEZ-RAMÍREZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ecoalfabetización y Diálogo de Saberes,  
Universidad Veracruzana. Av. de las  
Culturas Veracruzanas s/n, CP.  
91060. Zona Universitaria,  
Campus USBI. Xalapa.  
Veracruz, México.



**Palabras clave:** hongo del trueno, Amanita muscaria, manejo seguro, conocimientos ancestrales y tradicionales

**Key words:** thunder mushroom, Amanita muscaria, safe management, ancestral and traditional knowledge

## RESUMEN

*Amanita muscaria* (L.) Lam. es un hongo icónico con una alianza mágica con el rayo. Se expandió por tres rutas principales desde su población ancestral, mientras que su vínculo ancestral con los seres humanos lo ha hecho sagrado, por lo que ha sido representado en Códices y piezas antiguas de México. Posee propiedades psicotrópicas y sustancias tóxicas, lo que ha provocado efectos adversos a la salud humana llamados micetismos, aunque la vigilancia epidemiológica de su toxicidad por consumo incidental sigue siendo escasa. A pesar de ello, los conocimientos y prácticas tradicionales han facilitado su consumo y el comercio en los mercados locales de México. No obstante, las prácticas de recolección de hongos cada vez son más escasas y los saberes tradicionales relacionados a la identificación de hongos comestibles y tóxicos se han ido perdiendo. Este estudio presenta una breve aproximación al conocimiento de *Amanita muscaria* y la importancia de los conocimientos tradicionales vinculados a su preparación que lo hace un hongo seguro para el consumo humano.

## ABSTRACT

*Amanita muscaria* (L.) Lam. is an iconic mushroom with magical alliance with thunderbolt. It was expanded by three main routes from its ancestral population, whereas its ancestral link with human beings has made it sacred, thus, it has been depicted in Codex and antique pieces from Mexico. It has psychotropic properties and toxic substances; thus, it has caused adverse effects on human health called mycetisms. The amatoxins contained in this mushroom species may be lethal, in spite of this, epidemiological surveillance of *Amanita muscaria* toxicity by incidental consumption remains scarce. Traditional knowledge and practices have facilitated the consumption and trade of *Amanita muscaria* in local markets in Mexico. Nonetheless, mushroom harvesting practices are becoming increasingly rare, and traditional knowledge related to the identification of edible and toxic mushrooms has been lost. This study presents a brief overview of the knowledge of *Amanita muscaria* and the importance of traditional knowledge related to its preparation, which makes it a safe mushroom for human consumption.

## INTRODUCCIÓN

**A**manita muscaria (L.) Lam. posee un tamaño de 4-21 cm de diámetro en su sombrero y es de color rojo vivo (aunque puede variar en su coloración) con placas blancas. El hongo crece en temperaturas que oscilan entre los 11-23°C sobre suelos de bosques caducifolios (con hojarasca; Michelot y Melendez-Howell, 2003; Carboué y López, 2021). La especie puede confundirse con el hongo comestible *Amanita caesarea* que es semejante en color, aunque carece de los puntos blancos en su sombrero.

Por sus características distintivas y llamativas es el hongo de los cuentos de hadas, el hogar de los pitufos, el hongo de Super Mario Bros y posiblemente el hongo que hace que Alicia cambie de tamaño en el cuento de Alicia en el país de las maravillas del escritor Lewis Carroll (Carroll, 1865), lo que demuestra la fascinación, interés y admiración que este hongo ha generado en distintos contextos socio-culturales.

En México este hongo se ha considerado como sagrado para los mazatecos, chinantecos, mixes y zapotecos de Oaxaca, así como para los nahuas del centro del país (México, Puebla y Morelos).

## LA CONEXIÓN ANCESTRAL DEL HONGO *AMANITA MUSCARIA* EN MÉXICO

Guzmán (2016) narró la llegada de este hongo al continente americano en la época glacial a través del estrecho de Bering, después de que los siberianos cruzaran estas tierras durante su migración. Específicamente, el pueblo Ojibwa que se asentó en las colindancias entre Estados Unidos y Canadá trajo consigo al hongo *Amanita muscaria* cuando migraron hacia el sur en el territorio que ahora corresponde a México y Guatemala. Estudios posteriores han reconstruido el patrón histórico de dispersión del hongo a través de la secuenciación de DNA. Estos estudios han reconocido al grupo euroasiático, euroasiático-alpino y norteamericano como complejo de especies que dieron lugar a la evolución y expansión de este hongo, las cuales migraron de su población ancestral ubicada en la región siberiana-beringiana (Oda, Tanaka y Tsuda, 2004; Geml *et al.*, 2006). El complejo de especies involucrado en la expansión de *Amanita muscaria* incluyó a cuando menos seis variedades del hongo que difirieron en el color de su sombrero (*var. muscaria*, *var. alba*, *var. flavivolvata*, *var. formosa*, *var. persicina* y *var. regalis*), las cuales migraron junto con las especies de árboles de las cuales dependen (Pinaceae, Fagaceae y Betulaceae) (Oda, Tanaka y Tsuda, 2004).

En México el hongo fue adoptado, utilizado y representado en diversos materiales. En el Códice Dresde y Tro-Cortesiano o Códice Madrid existen representaciones

estilizadas de hongos que presumiblemente corresponde a *Amanita muscaria*, por lo que se asume fue conocido y valorado por los grupos mayas (De Borhegyi, 1961; Ramírez *et al.*, 2020). Guzmán (2016) describió una estatuilla de arcilla de 15 cm de longitud proveniente de la cultura capacha de Jalisco asociada al hongo. De Borhegyi y de Borhegyi-Forrest (2013) recuperaron una piedra pequeña ubicada en Pátzcuaro Michoacán que según su interpretación corresponde a *Amanita muscaria*.

## EL MICETISMO DE *AMANITA MUSCARIA*

Independientemente de su uso como droga psicodélica, la intoxicación provocada por la ingestión consciente o accidental de este hongo se conoce como micetismo. En Europa, la ingesta accidental del hongo causó envenenamiento, psicosis paranoica y estado comatoso (Brvar, Možina y Bunc, 2006; Rampolli *et al.*, 2021).

Schultes y Hofmann (1982) documentaron que el consumo de *Amanita muscaria* propicia mareos, vómitos y alucinaciones, en casos graves coma y muerte a causa de la muscarina y el ácido iboténico -entre otros compuestos- que tiene este hongo (Michelot y Melendez-Howell, 2003). Los cuadros tóxicos vinculados al micetismo de *Amanita muscaria* se clasifican en dos rubros con base en la rapidez en la respuesta sintomatológica que genera e incluye la toxicidad temprana <6 horas y la toxicidad retardada >6 horas (SINAVE, 1998).

En lo que respecta al micetismo cerebral, esta es la forma que causa alucinaciones derivado de la presencia de toxinas del tipo bufotenina en *Amanita muscaria*, lo que le da el valor ceremonial o recreativo a su uso.

En México existe un desconocimiento de la magnitud del problema de micetismo a causa de *Amanita muscaria* en términos de morbilidad y mortalidad, ya que no existe un registro y seguimiento de los casos de envenenamiento y toxicidad por consumo de hongos. Específicamente, el sistema de vigilancia de brotes epidemiológicos en el país ubica a los micetismos dentro del rubro de intoxicaciones alimentarias no bacterianas, por lo que no existe un seguimiento claro y seguro de este tipo de problemática en territorio nacional (Gobierno de México, 2024). Mapes *et al.* (1981), Moreno-Fuentes (2002) y Bautista-González (2013) documentaron el consumo de *Amanita muscaria* en México.

## SABERES TRADICIONALES RELACIONADOS AL CONSUMO DE *AMANITA MUSCARIA*

La importancia del conocimiento y uso tradicional vinculado al consumo de hongos silvestres ha sido clave en el aporte nutricional y/o medicinal para las familias rurales y/o pertenecientes a los pueblos originarios en México.

Mapes *et al.* (1981) documentó que *Amanita muscaria* es de uso comestible si son bien hervidas y eliminadas ciertas partes del hongo que concentran la parte venenosa (escamas y cutícula) de acuerdo al conocimiento tradicional de pobladores de Pátzcuaro, Michoacán. Moreno-Fuentes (2002) observó que pobladores del pueblo Rarámuri consumen *Amanita muscaria* después de hervirla en repetidas ocasiones junto con varios guijarros que ayudan a absorber los componentes tóxicos según el conocimiento en la región Norogachi, Chihuahua. Bautista-González (2013) documentó el uso medicinal de *Amanita muscaria* para tratar infecciones internas o externas, por lo que se colocan en un frasco con alcohol y se sella hasta que el hongo se desintegra a manera de "fibras", los cuales se ingieren después de que se le elimina todo el líquido de la solución según el conocimiento de los pobladores de los Chimalapas, Chiapas. En Europa, Inglaterra, Asia y Norte América se han documentado conocimientos similares en el manejo del hongo que incluye eliminar la cutícula, hervir y mantener en conserva antes de consumirlos, lo que evita los efectos de toxicidad de los hongos sobre la salud humana (Ott, 1978; Festi, 1985; Rubel y Arora, 2008). Es por ello que el manejo y consumo seguro del hongo yace en los conocimientos ancestrales y tradicionales que se han forjado a través del conocimiento empírico y la experiencia, los cuales se han transmitido de generación en generación (abuelos → padres → hijos), el cual ha llegado hasta nuestros días en ciertas zonas del país.

#### LOS SABERES TRADICIONALES QUE ACOMPAÑAN EL COMERCIO LOCAL DE *AMANITA MUSCARIA*

La recolección de hongos silvestres y su comercio en los mercados locales ha sido una práctica común en México desde tiempos prehispánicos (De Borhegyi, 1961; Lowy, 1974; De Borhegyi y de Borhegyi-Forrest, 2013; Guzmán, 2016; Ramírez *et al.*, 2020). Para el caso de *Amanita muscaria* su venta en mercados locales ha sido como insecticida en Veracruz (Jarvis *et al.*, 2004), Estado de México (Lara-Vázquez *et al.*, 2013; Romero *et al.*, 2015) y Puebla (Contreras-Cortés *et al.*, 2018). Caamal-Caamal *et al.* (2017) documentaron que *Amanita muscaria* es reconocida como una especie tóxica, por lo que la gente no la recolecta, no la consume y no la vende en los mercados de Tlaxcala. Para estos casos conocidos, los conocimientos ancestrales y tradicionales vinculados al hongo acompañan su manejo seguro en espacios públicos como son los mercados.

#### CONSERVACIÓN DE *AMANITA MUSCARIA* Y EROSIÓN DE LOS SABERES TRADICIONALES VINCULADOS A LAS ESPECIES TÓXICAS Y NO-TÓXICAS

*Amanita muscaria* se considera amenazada (A) de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. En América el hongo fructifica en el periodo de lluvias y suele asociarse a diversos tipos

de árboles como son encinos y pinos en donde existe una importante cantidad y acumulación de hojarasca (Michelot y Melendez-Howell, 2003). Es posible cultivar a este hongo en laboratorio a través de su micelio, pero debe ser trasplantado a suelo con hojarasca para su desarrollo completo, lo que limita su cultivo a gran escala (Carboué y López, 2021).

Estudios entomicológicos han demostrado que los pobladores locales a través de la experiencia han aprendido a reconocer y diferenciar las especies de hongos comestibles de las tóxicas en su localidad (Rubel y Arora, 2008; Ruán-Soto, 2018). El conocimiento adquirido pasa de generación a generación a través de la recolección tradicional y las actividades cotidianas en campo. No obstante, se ha documentado que las nuevas generaciones tienden a recolectar menos especies que sus padres y sus abuelos (Rubel y Arora, 2008). Además, los cuidados que acompañan el manejo seguro de aquellas especies tóxicas o potencialmente tóxicas pueden prevenirse al momento de su preparación, el cual antes solía ser vigilado por una persona conocedora de hongos, aunque este tipo de cuidado también ha disminuido (Ruán-Soto, 2018).

## CONCLUSIÓN

*Amanita muscaria* es una especie icónica, la cual actualmente posee una distribución cosmopolita resultado de los procesos de migración. El hongo ha sido valorado desde tiempos prehispánicos, por lo que su colecta y comercialización está estrechamente vinculada a las prácticas tradicionales. La especie es tóxica y puede causar micetismos, aunque es segura para el consumo humano siempre y cuando se realicen las prácticas de preparación que eliminan su toxicidad. La revaloración de los conocimientos tradicionales asociados al reconocimiento y uso de la biodiversidad es clave para asegurar el consumo seguro de este hongo.

## AGRADECIMIENTOS

A Jesús Ángel de León González y tres evaluadores especialistas en el tema que contribuyeron substancialmente a actualizar, precisar y corregir información clave en este trabajo.



- Bautista-González, J.A. 2013. Conocimiento tradicional de hongos medicinales en seis localidades diferentes del país. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, 144pp. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/405256>
- Brvar M., M. Mozina, M. Bunc. 2006. Prolonged psychosis after *Amanita muscaria* ingestion. *Wien Klin Wochenschr.* 118: 294–297. <https://doi.org/10.1007/s00508-006-0581-6>
- Caamal-Caamal, L.G., A. Montoya, L. Trejo-Hernández, C. Castillo-Guevara. 2017. Estado del arte relativo al conocimiento tradicional de los hongos silvestres en el estado de Tlaxcala, México. *Mexican Journal of Biotechnology.* 2(1): 1-14. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.1>
- Carboué, Q., M. Lopez. 2021. *Amanita muscaria*: ecology, chemistry, myths. *Encyclopedia.* 1(3): 905-914. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1030069>
- Caroll L. 1865. Alice in Wonderland. United Kingdom.
- Contreras Cortés, L.E.U., A. Vázquez García, F. Ruan-Soto. 2018. Etnomicología y venta de hongos en un mercado del Noroeste del estado de Puebla, México. *Scientia fungorum.* 47: 47-55. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2594-13212018000100047&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2594-13212018000100047&script=sci_arttext)
- De Borhegyi, C., Y.S. de Borhegyi-Forrest. 2013. The genesis of a mushroom/venus religion in Mesoamerica. PP. 451–518. En Rush J. A. (Ed.). *Entheogens and the development of culture.* Berkeley: North Atlantic Books, 672pp.
- De Borhegyi, S.F. 1961. Miniature mushroom stones from Guatemala. *American Antiquity.* 26: 498–504. <http://www.jstor.org/stable/278737>
- Festi, F. 1985. *Funghi allucinogeni: aspetti psicofisiologici e storici.* [Hallucinogenic mushrooms. Psychophysiological and historical aspects] LXXXVI [Publication No. 86] Museo Civico di Rovereto, Rovereto, Italy.
- Geml, J., G.A. Laursen, K. O'Neill, H. C. Nusbaum, D.L. Taylor. 2006. Beringian origins and cryptic speciation events in the fly agaric (*Amanita muscaria*). *Molecular Ecology,* 15(1): 225-239. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02799.x>
- Gobierno de México. 2024. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/> (consultado el 17 diciembre 2024).
- Guzmán, G. 2016. Las relaciones de los hongos sagrados con el hombre a través del tiempo. *Anales de antropología.* 50: 134-147. <https://doi.org/10.1016/j.antro.2015.10.005>
- Jarvis, M. C., A. M. Miller, J. Sheahan, K. Ploetz, J. Ploetz, R. R. Watson, M. P. Ruíz, C. A. P. Villapan, J. G. Alvarado, B. Orr, B. 2004. Edible wild mushrooms of the Cofre de Perote region, Veracruz, Mexico: An ethnomycological study of common names and uses. *Economic Botany.* 58(1): S111-S115. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)58\[S111:EWMOTC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)58[S111:EWMOTC]2.0.CO;2)
- Lara-Vázquez, F., A.T. Romero-Contreras, C. Burrola-Aguilar. 2013. Conocimiento tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad otomí de San Pedro Arriba; Temoya, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo.* 10(3): 305-326. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722013000300003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722013000300003)
- Lowy, B. 1974. *Amanita muscaria* and thunderbolt legend in Guatemala and Mexico. *Mycologia* 66: 188-190. <https://doi.org/10.2307/3758472>
- Mapes, C., G. Guzmán, J. Caballero. 1981. Entomología Purépecha. El conocimiento y uso de los hongos en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Dirección General de Culturas Populares, Sociedad Mexicana de Micología A.C., Instituto de Biología, UNAM, México.
- Michelot, D., L.M. Melendez-Howell. 2003. *Amanita muscaria*: chemistry, biology, toxicology, and ethnomycology. *Mycological research.* 107(2): 131-146. <https://doi.org/10.1017/S0953756203007305>
- Moreno-Fuentes, A. 2002. Estudio etnomicológico comparativo entre comunidades Rarámuris de la Alta Tarahumara en el estado de Chihuahua. Tesis Doctorado en Ciencias, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. 277pp. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000307801>
- Oda, T., C. Tanaka, M. Tsuda. 2004. Molecular phylogeny and biogeography of the widely distributed *Amanita* species, *A. muscaria* and *A. panthenna*. *Mycological Research,* 108(8): 885-896. <https://doi.org/10.1017/S0953756204000620>
- Ott, J. 1978. Recreational use of hallucinogenic mushrooms in the United States. PP. 231-243. Rumack, H. & E. Salzman (eds.). *Mushroom poisoning, diagnosis and treatment.* CRC Press, West Palm Beach. 464pp. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19781349252>
- Ramírez, G.P., D.L.P. Sánchez, M.H. Hernández, R.R. Ramírez. 2020. Revisión histórica de los hongos psilocibios. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.* 8(16): 174-186. <https://doi.org/10.29057/icsa.v8i16.4790>
- Rampolli, F.I., P. Kamler, C.C. Carlino, F. Bedussi. 2021. The deceptive mushroom: accidental *Amanita muscaria* poisoning. *European journal of case reports in internal medicine.* 8(2): 002212. [https://doi.org/10.12890/2021\\_002212](https://doi.org/10.12890/2021_002212)
- Romero, D.D., J.I.A. Reyes, C.V. Valdés, N.P.R. Popoca. 2015. Uso y manejo de hongos silvestres en cinco comuni-

- dades del municipio de Ocoyoacac, Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 18(2): 133-143. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93941388002>
- Ruan-Soto, F. 2018. Recolección de hongos comestibles silvestres y estrategias para el reconocimiento de especies tóxicas entre los tsotsiles de Chamula, Chiapas, México. *Scientia fungorum*, 48, 1-13. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.48.1179>
- Rubel, W., D. Arora. 2008. A study of cultural bias in field guide determinations of mushroom edibility using the iconic mushroom, *Amanita muscaria*, as an example. *Economic botany*. 62(3): 223-243. <https://doi.org/10.1007/s12231-008-9040-9>
- Schultes, R.E., A. Hofmann. 1982. *Plantas de los Dioses. Orígenes del uso de los alucinógenos. Fondo de Cultura Económica*, México, D.F. <https://www.fondodeculturaeconomica.com/Ficha/9789681663032/F>
- SINAVE 1998. Micetismo: intoxicación por hongos macroscópicos. *Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Epidemiología Sistema Único de Información* 15 (1), 1-20. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26807/1998\\_sem1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26807/1998_sem1.pdf) (consultado el 21 diciembre 2024).





**ALIADOS  
INVISIBLES  
DEL NOGAL  
PECANERO:**

**EL PAPEL DE  
LOS HONGOS  
MICORRÍZICOS  
ARBUSCULARES**

## RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen una simbiosis mutualista con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres, favoreciendo la absorción de agua y nutrientes, así como la regulación fisiológica frente a condiciones ambientales adversas. En cultivos perennes como el nogal pecanero (*Carya illinoensis*), esta interacción ha cobrado relevancia debido a su potencial para mejorar la productividad y la calidad del fruto, especialmente en regiones semiáridas donde la disponibilidad hídrica es limitada. La diversidad de HMA en sistemas pecaneros depende del suelo, manejo agronómico y clima, siendo los microorganismos nativos una alternativa prometedora como bioinsumos. Bajo estrés hídrico, los HMA mejoran la tolerancia vegetal mediante ajustes fisiológicos, activación antioxidante y mayor eficiencia en la absorción de fósforo. Además, pueden incrementar compuestos fenólicos y flavonoides en la nuez, fortaleciendo su valor nutracéutico. En conjunto, el uso de HMA representa una estrategia sostenible para mejorar la resiliencia productiva, la fertilidad del suelo y la calidad funcional del fruto.

## ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) establish a mutualistic symbiosis with the roots of most terrestrial plants, enhancing water and nutrient uptake, as well as physiological regulation under adverse environmental conditions. In perennial crops such as pecan (*Carya illinoensis*), this interaction has gained relevance due to its potential to improve productivity and fruit quality, especially in semi-arid regions where water availability is limited. The diversity of AMF in pecan production systems depends on soil type, agronomic management, and climatic conditions, with native microorganisms representing a promising alternative as bioinputs. Under water stress conditions, AMF improve plant tolerance through physiological adjustments, activation of antioxidant systems, and increased efficiency in phosphorus uptake. Additionally, AMF can increase the concentration of phenolic compounds and flavonoids in pecan nuts, enhancing their nutraceutical value. Overall, the use of AMF represents a sustainable strategy to improve crop resilience, soil fertility, and the functional quality of the fruit.

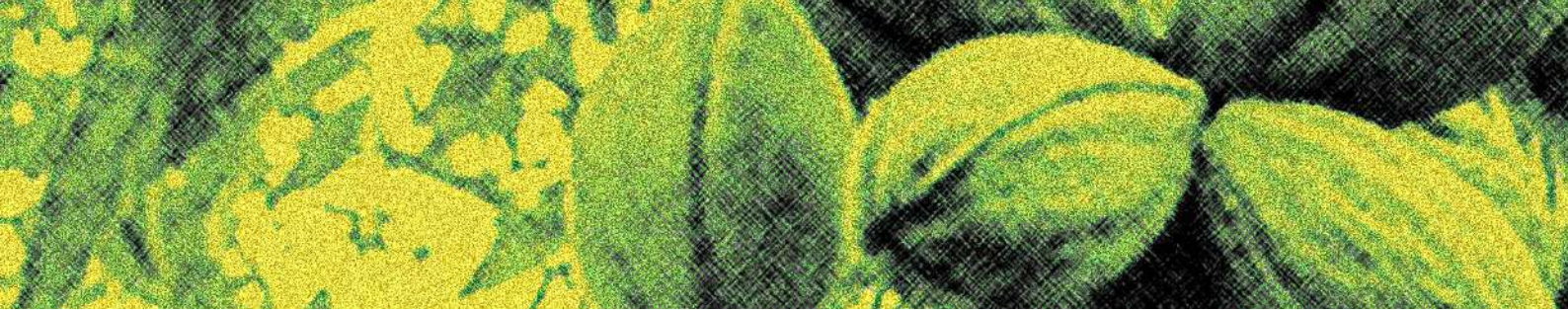


**Palabras clave:** Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), simbiosis planta-microorganismo, nogal pecanero, déficit hídrico.

**Key words:** Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), plant-microorganism symbiosis, pecan tree, water deficit.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, Chihuahua, Chih., México, CP: 31000; a317608@uach.mx

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Km. 2.5 carretera a Rosales, Poniente, CP 33000, Delicias, Chihuahua, México. spalvarez@uach.mx, cvu945005@uach.mx, luranga@uach.mx, rcontrerasm@uach.mx



## INTRODUCCIÓN

Existe una asociación simbiótica altamente beneficiosa entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las raíces de las plantas (Field *et al.*, 2019; Smith y Read, 2008). Estos hongos son uno de los componentes más relevantes de la microbiota del suelo, debido a su papel en la nutrición mineral, la absorción de agua y la regulación fisiológica de las plantas (Alam *et al.*, 2023). Esta simbiosis HMA-planta ocurre en la mayoría de las especies vegetales terrestres y permite mejorar la adaptación a condiciones ambientales difíciles, incluyendo sequía, salinidad y altas temperaturas (Bowles *et al.*, 2016). Los HMA forman una asociación con las raíces, facilitando el intercambio de carbono de la planta hacia el hongo y nutrientes del suelo hacia la planta (Jiang *et al.*, 2017).

En cultivos perennes de importancia económica como el nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, 1869], la interacción con microorganismos del suelo ha cobrado interés debido a su potencial para mejorar la productividad y la calidad del fruto (Muñoz-Márquez *et al.*, 2009). Estudios recientes han demostrado que los microorganismos del suelo que se encuentran en la parte más cercana a las raíces de las plantas, pueden influir en la absorción de nutrientes y en el rendimiento de la nuez, lo que sugiere que la manipulación de estas interacciones podría optimizar la producción en sistemas agrícolas comerciales.

Además, el nogal pecanero es un cultivo altamente sensible a la disponibilidad hídrica, especialmente en regiones semiáridas (Stock *et al.*, 2025). La presencia de micorrizas puede mejorar la tolerancia al déficit hídrico mediante el aumento de la eficiencia en el uso del agua y la absorción de nutrientes, lo que representa una estrategia potencial para mitigar los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola (Guerrero-Galán *et al.*, 2018; Babuin *et al.*, 2016).

## EL NOGAL PACANERO Y EL ESTRÉS

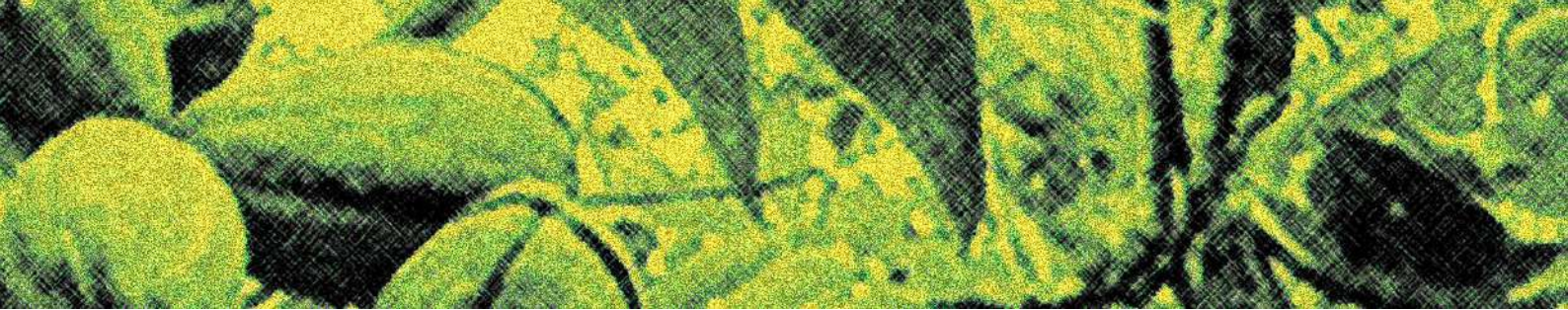
El nogal pecanero (*C. illinoensis*) es considerado uno de los frutales de mayor importancia en México (Figura 1). Su principal valor económico radica en la producción de su fruto, la nuez pecanera, la cual destaca por su alto valor nutritivo. En 100 g de porción comestible, contiene aproximadamente 70% de lípidos, 14% de carbohidratos, 9% de proteínas, 3% de agua y 3% de fibra, además de vitaminas A, B y C, y minerales como calcio, hierro, potasio, fósforo y magnesio. Debido a esta composición, presenta un elevado aporte energético cercano a las 700 kcal (Reyes-Vázquez y Urrea-López, 2016).

Este cultivo necesita grandes cantidades de agua, más de 1,100 mm por año, lo que puede generar problemas cuando el recurso es limitado, especialmente en condiciones de sequía. En este contexto, se han desarrollado estrategias para el uso del agua eficiente, como programación de riegos basados en la temperatura ambiental, los cuales han demostrado mejorar el manejo hídrico del cultivo. Sin embargo, además del manejo agronómico, también la capacidad natural de la planta al déficit hídrico juega un papel importante (Sifuentes-Ibarra *et al.*, 2015).

El manejo adecuado del riego es necesario para el cultivo del nogal pecanero, ya que aumenta tanto el rendimiento del fruto como la calidad de la cosecha. La presencia de deficiencia hídrica durante el período de llenado del fruto resulta en germinación prematura y menor desarrollo de materia seca, según el estudio de Godoy-Ávila y Huitrón-Ramírez (1998). Los estudios sobre la programación del riego de esta especie han sido poco útiles, ya que suelen basarse de métodos indirectos, como medir la humedad del suelo, estimar cuánta agua pierde la planta por evaporación, observaciones de su crecimiento y seguir calendarios de riego previamente establecidos (Stein *et al.*, 1989). Por otra parte, los métodos que analizan como responde el árbol a nivel interno brindan claros beneficios, ya que permiten a los investigadores conocer directamente el estado hídrico de la planta, lo que muestra cómo las condiciones ambientales afectan tanto a los elementos atmosféricos como al suelo (Bonany *et al.*, 2000).

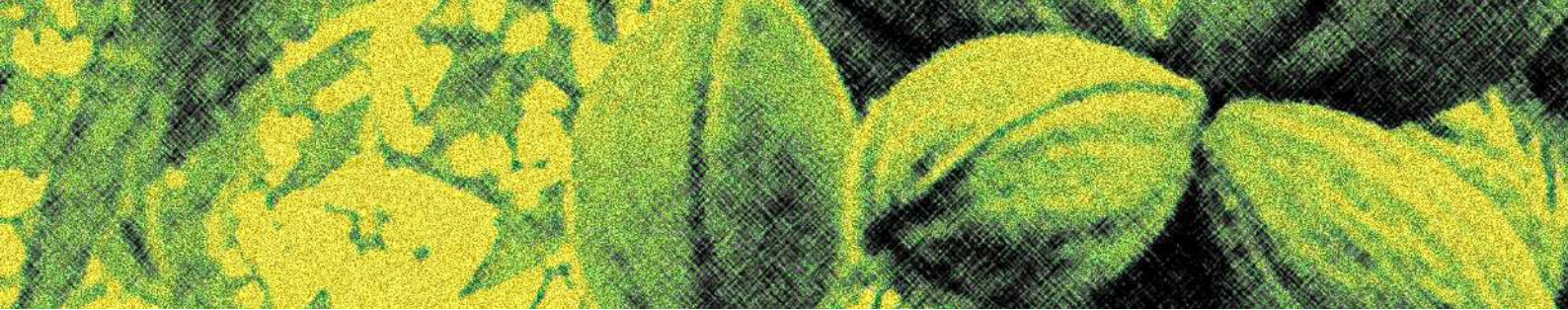
Los árboles de nogal pecanero funcionan como integradores ambientales, ya que sus huertas proveen diversos servicios ecosistémicos que trascienden la producción agrícola, además de que reflejan las condiciones climáticas actuales a través de sus patrones de crecimiento y reproducción (Mexal y Herrera, 2014).

Teniendo en cuenta la sensibilidad de este cultivo a la falta de agua, Cao *et al.* (2019) analizaron la influencia de diferentes portainjertos de plántulas para evaluar su tolerancia al estrés hídrico en árboles injertados de la variedad 'Pawnee'. Los resultados demostraron que la selección de portainjertos afecta significativamente, ya que algunos ayudan a la planta a conservar mejor el agua, adaptarse internamente a la falta de humedad y regular la pérdida de agua a través de las hojas. Cabe destacar que ciertos portainjertos mostraron un rendimiento superior en condiciones de déficit hídrico, lo que indica una mayor capacidad para afrontar el estrés hídrico. Entre las variedades evaluadas, 'Posey', 'Peruque' y 'Riverside' mostraron los niveles más altos de tolerancia a la sequía, mientras que 'Giles' y 'Frutoso' fueron las más susceptibles.



ALIADOS INVISIBLES DEL NOGAL PECANERO: EL PAPEL DE LOS HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES

**Figura 1.** Nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch 1869) y sus frutos (Fuente: autores).



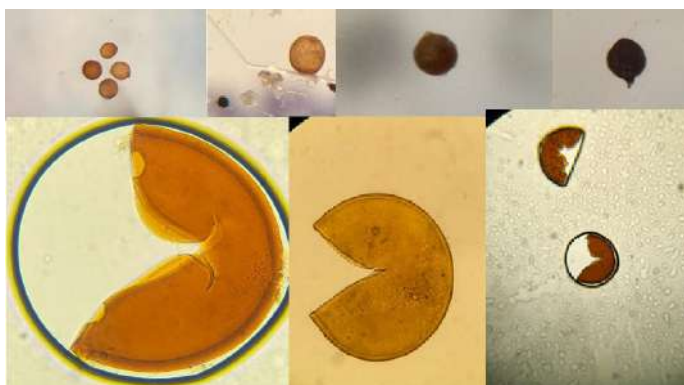
## DIVERSIDAD Y PRESENCIA DE HMA EN LOS NOGALES

La diversidad de HMA asociados al nogal pecanero depende del tipo de suelo, manejo agronómico y condiciones climáticas. Investigaciones han documentado la presencia de comunidades de HMA en suelos de huertos pecaneros mediante análisis morfológicos y moleculares, que son el estudio de sus características en cuanto a estructura y apariencia y su información genética (Muñoz-Márquez *et al.*, 2009), evidenciando que la diversidad microbiana puede variar entre sistemas productivos y condiciones ambientales (Fernández-Bidondo *et al.*, 2018) (Figura 2).

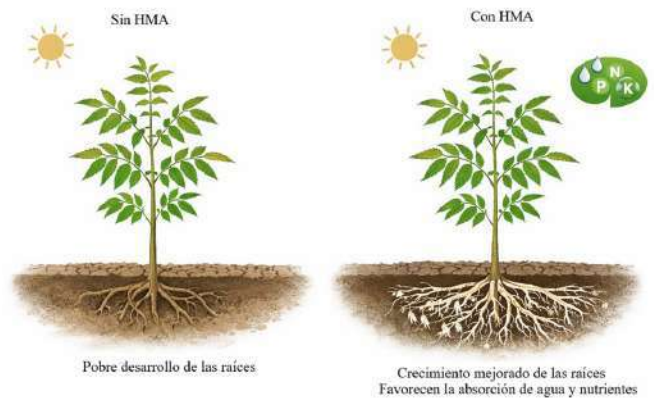
Se ha observado que la comunidad micorrízica asociada a plantas en campo suele ser más diversa que en sistemas controlados, lo que resalta la importancia del estudio de HMA nativos. Esto sugiere que los microorganismos locales podrían estar mejor adaptados a las condiciones específicas del suelo y el clima, incrementando su potencial como bioinsumos agrícolas (Fernández-Bidondo *et al.*, 2018).

Asimismo, la presencia de micorrizas en huertos pecaneros se relaciona con factores de manejo como fertilización nitrogenada, la cual puede modificar la cantidad de microorganismos benéficos que viven alrededor de las raíces en el suelo (Dierks *et al.*, 2022; Marco *et al.*, 2022; Gobert y Plassard, 2002). Esto demuestra que hay una compleja relación entre el suelo, la planta y los microorganismos dentro de los sistemas de producción agrícola (Ren *et al.*, 2023).

Existe muy poca literatura que aborde la temática de los HMA en el nogal pecanero. Algunos hongos ectomicorrízicos que se caracterizan por colonizar la capa superficial de las raíces, se identificaron por Ma *et al.* (2021), entre ellos *Boletus edulis*, *Calvatia uiacina* y *Cantharellus cibarius*, extraídos de nogales. Estos hongos demostraron que pueden promover el crecimiento de las plantas y permitir que los nogales resistan el estrés ambiental. En otro estudio, también



**Figura 2.** Diversidad de esporas de HMA en árboles de nogal pecanero (*C. illinoensis*) en Delicias, Chihuahua (Fuente: autores).



**Figura 3.** Comparación del crecimiento del nogal pecanero (*C. illinoensis*) con y sin HMA (Fuente: <https://chatgpt.com> versión Plus).

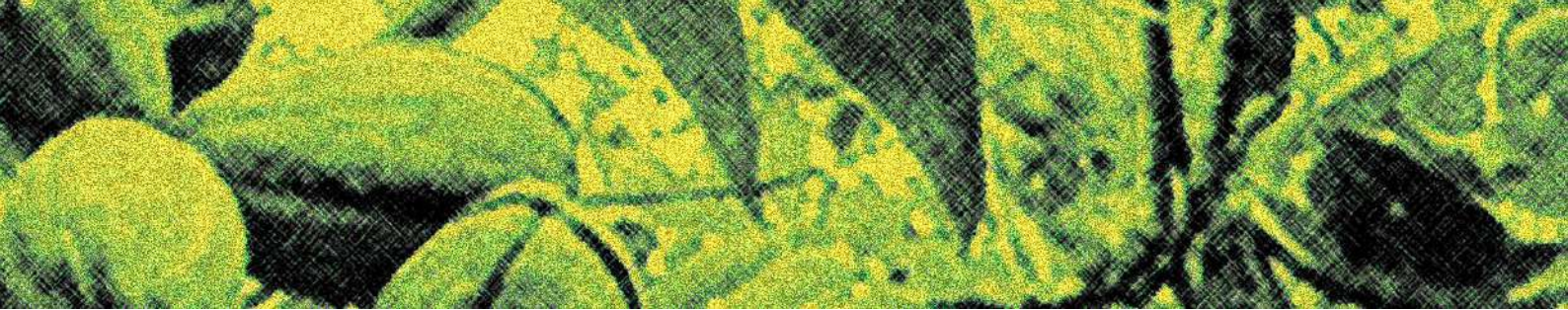
enfocado a la identificación de ectomicorrizas Bonito *et al.* (2011) analizaron cinco huertos de nogal en el sur de Georgia, EUA, identificándose cuarenta y cuatro taxones ectomicorrízicos distintos, entre los que destacan los géneros *Tuber* y *Scleroderma*; molecularmente los dos tipos de secuencias más abundantes pertenecían a *T. lyonii* (17 %) y a una especie de *Tuber* no descrita (~20 %).

### MECANISMOS FISIOLÓGICOS DE LOS HMA EN LA TOLERANCIA AL ESTRÉS HÍDRICO EN EL NOGAL

El agua es uno de los recursos críticos más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, especialmente en regiones en donde su disponibilidad es escasa (Hassan *et al.*, 2020; Amiri *et al.*, 2015). Los HMA contribuyen a la tolerancia al estrés abiótico mediante múltiples mecanismos fisiológicos y bioquímicos (Ruiz-Lozano *et al.*, 2012). Entre ellos destacan la mejora en la absorción de agua y nutrientes, el ajuste osmótico y la regulación hormonal en la planta hospedera (Duan *et al.*, 2021) (Figura 3).

En condiciones de sequía severa, estos efectos se potencian a través de la simbiosis planta-HMA, la cual incrementa la capacidad de captación de agua mediante el desarrollo de pelos radicales y la expansión del sistema hifal en el suelo. Asimismo, los HMA modifican la permeabilidad de las raíces y favorecen la formación de agregados del suelo, creando microambientes que optimizan la disponibilidad de agua (Faghihinia *et al.*, 2023).

Behrooz *et al.* (2019) utilizaron *Glomus mosseae*, *G. etunicatum* y una mezcla de ambas especies para inocular plántulas de nogal de un año de edad; encontraron que *G. etunicatum* fue la más eficiente para aliviar los síntomas de sequía. Este estudio demostró no solo que la mejora de la tolerancia a la sequía en plantas de nogal micorrizado



depende de las especies de HMA, sino también que los HMA en este cultivo estimulan las respuestas de crecimiento y la absorción de nutrientes, lo que ayuda a la adaptación de estas plantas a la sequía.

A nivel molecular, los HMA pueden inducir la expresión de genes relacionados con transporte de agua, homeostasis iónica y detoxificación celular, estos procesos permiten mantener la funcionalidad celular bajo condiciones de estrés ambiental (Abdallah *et al.*, 2025). Un ejemplo de estos estudios moleculares fue realizado por Aroca *et al.* (2009) al identificar y clonar seis genes de acuaporinas (proteínas que permiten el flujo rápido de agua), provenientes de los HMA *Glomus intraradices* y *Rhizophagus clarus* demostrando que los HMA regulan la expresión de estos genes en la planta hospedera de distintas maneras: pueden incrementarla para favorecer la absorción de agua, reducirla para limitar la pérdida hídrica y el estrés oxidativo, o mantenerla estable según las condiciones ambientales. Esta modulación de las acuaporinas no solo ocurre bajo sequía, sino que también es fundamental para mantener las células bien hidratadas, turgentes (tejidos firmes) y con la capacidad de absorber agua aún en condiciones de salinidad y estrés por metales pesados.

Además, la colonización micorrízica mejora la arquitectura de las raíces y la eficiencia en la absorción de fósforo, un nutriente clave en el metabolismo energético y la síntesis de metabolitos secundarios, es decir, el funcionamiento interno de la planta (Ge *et al.*, 2022; Nell *et al.*, 2010). Según Eskimez *et al.* (2025) la inoculación con HMA del género *Glomus* spp. de portainjertos de nogal obtenidos de cultivo *in vitro* demostró ser una estrategia eficaz para mejorar la nutrición vegetal y el crecimiento; incrementándose significativamente la colonización radicular y favoreciendo la absorción de nutrientes esenciales, destacando aumentos en nitrógeno, fósforo y, especialmente, manganeso, así como mejoras en potasio y zinc. Este incremento en la absorción de nutrientes se asoció con un mayor desarrollo estructural de las plantas, reflejado en el aumento del diámetro del tallo, crecimiento de ramas y un desarrollo general más amplio. En conjunto, estos resultados resaltan el papel clave de los HMA como herramienta sostenible para mejorar la nutrición y productividad del nogal, especialmente en condiciones de suelo limitantes.

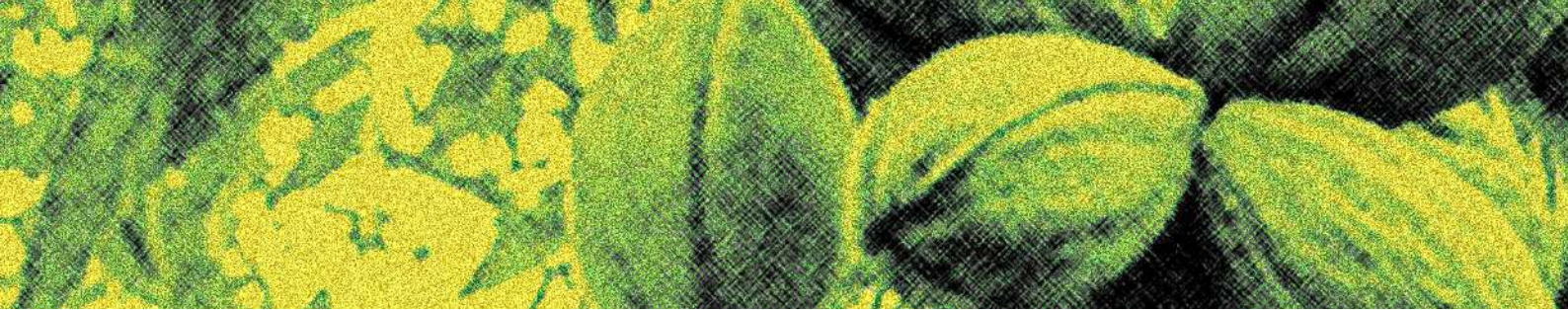
**REGULACIÓN DEL METABOLISMO ANTIOXIDANTE Y LOS HMA EN NOGAL**  
La sequía genera un desequilibrio metabólico en las plantas debido a la acumulación de desechos peligrosos, lo que afecta negativamente la productividad. Sin embargo, la inoculación con HMA contribuye a mitigar este efecto al fortalecer los sistemas antioxidantes (Zou *et al.*, 2021) (Figura 4).



**Figura 4.** Papel de los HMA en la mitigación el estrés oxidativo inducido por sequía (Fuente: <https://chatgpt.com> versión Plus).

Un análisis de varios estudios realizado por Chandrasekaran y Paramasivan (2022), demostró que los HMA aumentan significativamente la tolerancia al estrés hídrico, principalmente mediante la activación de enzimas antioxidantes. No obstante, la magnitud de estos beneficios depende de factores como la especie vegetal, el tipo de HMA y la intensidad del estrés. En conjunto, los resultados confirman el papel clave de los HMA en la regulación del estrés oxidativo bajo condiciones de sequía. Uno de los efectos más relevantes de los HMA en plantas bajo estrés hídrico es la regulación del metabolismo antioxidante.

Ma *et al.* (2022) demostraron que los HMA pueden mitigar la acumulación de toxinas (daño oxidativo), causado por la sequía mediante la activación de sistemas antioxidantes y la regulación de proteínas que activan defensas ante el estrés. En nogal, la inoculación con *Diversispora spurca* mejoró el crecimiento de las plantas incluso bajo estrés hídrico, a pesar de una reducción en la colonización micorrízica. Además, incrementó la acumulación de compuestos antioxidantes, así como la actividad de enzimas antioxidantes, reduciendo la acumulación de residuos tóxicos y el daño celular. A nivel molecular, se observó la sobreexpresión de algunos genes, especialmente bajo condiciones de



sequía. En conjunto, estos resultados indican que los HMA fortalecen la tolerancia al estrés hídrico en nogal mediante la activación de defensas antioxidantes y la regulación de genes asociados al estrés.

Diversos estudios han demostrado que la inoculación con HMA puede incrementar significativamente la acumulación de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales actúan como antioxidantes naturales. Un ejemplo de esto es el incremento de algunos metabolitos (fenoles totales y prolina) en plantas de nogal bajo estrés hídrico inoculadas con *Glomus mosseae* y *G. etunicatum* (Behrooz *et al.*, 2019). Se ha reportado que estos compuestos pueden aumentar hasta 50–60% en plantas micorrizadas bajo condiciones de estrés hídrico (Kasote *et al.*, 2015).

En otro estudio el análisis metabolómico en nogal inoculado con *D. spurca* reveló que los HMA indujeron cambios importantes en el perfil de metabolitos radiculares, promoviendo la acumulación diferencial de compuestos específicos, destacando el incremento de metabolitos relacionados con la respuesta al estrés, como flavonoides y compuestos fenólicos, los cuales contribuyen a la protección celular. Estos resultados indican que los HMA modulan el metabolismo de la planta, favoreciendo la adaptación al estrés hídrico mediante ajustes bioquímicos y fisiológicos (Zou *et al.*, 2023).

## IMPLICACIONES AGRONÓMICAS DEL USO DE HMA EN NOGAL PECANERO

El uso de HMA nativos como biofertilizantes representa una alternativa sostenible frente al uso excesivo de fertilizantes químicos. La simbiosis micorrízica, como ya se ha planteado, mejora la eficiencia en el uso de nutrientes lo que puede reducir costos de producción (Wahab *et al.*, 2023). Además, la inoculación micorrízica

puede incrementar la resiliencia del cultivo frente a eventos climáticos extremos, particularmente sequías prolongadas, que representan uno de los principales desafíos para la producción pecanera en regiones semiáridas (Samanta *et al.*, 2025).

Desde el punto de vista ecológico, la promoción de microbiota benéfica del suelo contribuye a la estabilidad del agroecosistema y al mantenimiento de la fertilidad del suelo a largo plazo (Wahab *et al.*, 2023). Las perspectivas futuras apuntan a mejorar la eficiencia de los HMA mediante métodos de mejoramiento e ingeniería genética, junto con la investigación de las vías de señalización molecular que determinan las relaciones planta-hongo. La combinación de métodos de agricultura de precisión con bioformulaciones avanzadas e innovaciones biotecnológicas mejorará la capacidad de los HMA para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y sistemas de cultivo, lo que permitirá su uso exitoso en la fruticultura comercial (Sharma *et al.*, 2025).

## CONCLUSIONES

Los hongos micorrízicos arbusculares representan una herramienta biotecnológica prometedora para mejorar la sostenibilidad del cultivo de nogal pecanero. Su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes, aumentar la tolerancia al estrés hídrico y estimular la producción de compuestos antioxidantes los posiciona como un componente clave en la agricultura moderna.

El estudio de HMA nativos asociados a huertas de nogal pecanero podría permitir el desarrollo de estrategias de manejo biológico adaptadas a condiciones locales, contribuyendo no solo a la productividad y a incrementar la calidad nutracéutica del fruto, sino también a una agricultura sustentable.

# Literature cited



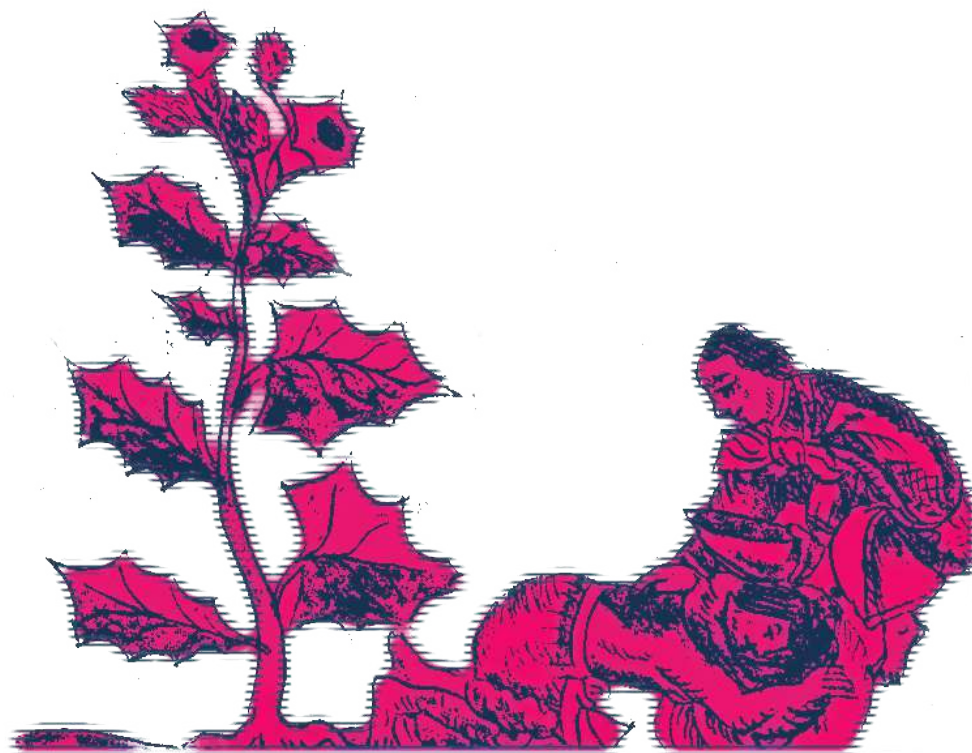
- Abdallah, M.M., C. Suo, Y. Cui, R.H. Ullah, H.H. Nhung, L. Li, C. Liu. 2025. Arbuscular mycorrhizal fungi as integrative modulators of plant tolerance to drought, salinity, and heavy metal stress: mechanistic insights and future directions. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 24: 100636. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2025.100636>
- Alam, M.Z., T.R. Choudhury, M.A.U. Mridha. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi improve biomass growth, mineral content, and antioxidant activity in tomato plants under drought stress. *Journal of Food Quality*. 2023(1): 2581608. <https://doi.org/10.1155/2023/2581608>
- Amiri, R., A. Nikbakht, N. Etemadi. 2015. Alleviation of drought stress on rose geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit.] in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. *Scientia Horticulturae*. 197: 373-380. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.062>
- Aroca, R., A. Bago, M. Sutka, J. A. Paz, C. Cano, G. Amodeo, J.M. Ruiz-Lozano. 2009. Expression analysis of the first arbuscular mycorrhizal fungi aquaporin described reveals concerted gene expression between salt-stressed and nonstressed mycelium. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 22(9): 1169-1178. <https://doi.org/10.1094/MPMI-22-9-1169>
- Babuín, M.F., M. Echeverría, A.B. Menéndez, S.J. Maiale. 2016. Arbuscular mycorrhizal pecan nut seedlings alleviate the effect of restricted water supply. *Hortscience*. 51(3): 212-215. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.3.212>
- Behrooz, A., K. Vahdati, F. Rejali, M. Lotfi, S. Sarikhani, C. Leslie. 2019. Arbuscular mycorrhiza and plant growth-promoting bacteria alleviate drought stress in walnut. *HortScience*. 54: 1087-1092. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.54.1087-1092>
- Bonany, J., F. Camps, J. Salvia, M. Cohen. 2000. Relationship between trunk diameter fluctuations, stem water potential and fruit growth rate in potted adult apple trees. *Acta Horticulturae*. 511: 43-49.
- Bonito, G., T. Breneman, R. Vilgalys. 2011. Ectomycorrhizal fungal diversity in orchards of cultivated pecan (*Carya illinoensis*; Juglandaceae). *Mycorrhiza*. 21(7): 601-612. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0368-0>
- Bowles, T.M., F.H. Barrios-Masias, E.A. Carlisle, T.R. Cavagnaro, L.E. Jackson. 2016. Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. *Science of the Total Environment*. 566-567, 1223-1234. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.178>
- Cao, F., Y. Wei, X. Wang, Y. Li, F. Peng. 2019. A study of the evaluation of the pecan drought resistance of grafted 'Pawnee' trees from different seedling rootstocks. *Hort-Science*. 54(12): 2139-2145. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.54.12.2139>
- Chandrasekaran, M. y M. Paramasivan. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi and antioxidant enzymes in ameliorating drought stress: a meta-analysis. *Plant Soil*. 480: 295-303. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05582-3>
- Dierks, J., W.J. Blaser-Hart, H.A. Gamper, J. Six. 2022. Mycorrhizal fungi-mediated uptake of tree-derived nitrogen by maize in smallholder farms. *Nature Sustainability*. 5: 64-70. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00791-7>
- Duan, H.X., C.L. Luo, S.Y. Zhu, W. Wang, M. Naseer, Y.C. Xiong. 2021. Density-and moisture-dependent effects of arbuscular mycorrhizal fungus on drought acclimation in wheat. *Ecological Applications*. 31(8): Article e02444. <https://doi.org/10.1002/eap.2444>
- Eskimez, İ., M. Bilginturan, Ş. Mertoglu, P. Mehmet, K. Barış, M. Kerem. 2025. Mycorrhizal symbiosis improves nutrient uptake and growth performance of walnut rootstock (cv. 'Vlach') in calcareous soils. *Applied Fruit Science*. 67, 426. <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01664-5>
- Faghihinia, M., J. Jansa, L.J. Halverson, y P.L. Staddon. 2023. Hypophosphate microbiome of arbuscular mycorrhizal fungi: A realm of unknowns. *Biology and Fertility of Soils*, 59, 17-34. <https://doi.org/10.1007/s00374-022-01683-4>
- Fernández-Bidondo, L., R.P. Colombo, M. Recchi, V.A. Silvani, M. Pérgola, A. Martínez, A.M. Godeas. 2018. Detection of arbuscular mycorrhizal fungi associated with pecan (*Carya illinoensis*) trees by molecular and morphological approaches. *MycKeys*. 42: 73-88. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.42.26118>
- Field, K.J., M.I. Bidartondo, W.R. Rimington, G.A. Hoysted, D. Beerling, D.D. Cameron, J.G. Duckett, J.R. Leake, S. Pressel. 2019. Functional complementarity of ancient plant-fungal mutualisms: contrasting nitrogen, phosphorus and carbon exchanges between Mucoromycotina and Glomeromycotina fungal symbionts of liverworts. *New Phytologist*. 223: 908-921. <https://doi.org/10.1111/nph.15819>
- Ge, S., L. He, L. Jin, X. Xia, L. Li, G.J. Ahammed, Z. Qi, J. Yu, Y. Zhou. 2022. Light-dependent activation of HY5 promotes mycorrhizal symbiosis in tomato by systemically regulating strigolactone biosynthesis. *New Phytologist*. 233(4): 1900-1914. <https://doi.org/10.1111/nph.17883>

- Gobert, A. y C. Plassard. 2002. Differential NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dependent patterns of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake in *Pinus pinaster*, *Rhizopogon roseolus* and their ectomycorrhizal association. *New Phytologist*. 154: 509-516. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00378.x>
- Godoy-Ávila, C. y Ma. V. Huitrón-Ramírez. 1998. Relaciones hídricas de hojas y frutos de nogal pecanero durante el crecimiento y desarrollo de la nuez. *Agrociencia*. 32(4): 331-338. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1564>
- Guerrero-Galán, G. Houdinet, M. Calvo-Polanco, K.E. Bonaldi, K. García, S.D. Zimmermann. 2018. Chapter Ten - *The role of plant transporters in mycorrhizal symbioses*. Pp. 303-342. In: Maurel, Ch (Eds). *Advances in botanical research*, Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2018.09.012>
- Hassan, M.U., M. Aamer, U. Chattha, M. Haiying, T. Shahzad, B. Barbanti. 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*. 10(9): 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
- Jiang, Y., W. Wang, Q. Xie, N. Liu, L. Liu, D. Wang, X. Zhang, C. Yang, X. Chen, D. Tang, E. Wang E. 2017. Plants transfer lipids to sustain colonization by mutualistic mycorrhizal and parasitic fungi. *Science*. 356(6343): 1172-1175. <https://doi.org/10.1126/science.aam9970>
- Kasote, D., M.S. Katyare, S.M. Hegde, V.H. Bae. 2015. Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. *International Journal of Biological Sciences*. 11: 982. <https://doi.org/10.7150/ijbs.12096>
- Ma, W.-Y., Q.-S. Wu, Y.-J. Xu, K. Kuča, 2021. Exploring mycorrhizal fungi in walnut with a focus on physiological roles. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 49(2): 12363. <https://doi.org/10.15835/nbha49212363>
- Ma, W.-Y., Q.-Y. Qin, Y.-N. Zou, K. Kuča, B. Giri, Q.-S. Wu, A. Hashem, A.-B.F. Al-Arjani, K.F. Almutairi, E.F. Abd-Allah, Y.-J. Xu. 2022. Arbuscular mycorrhiza induces low oxidative burst in drought-stressed walnut through activating antioxidant defense systems and heat shock transcription factor expression. *Frontiers in Plant Science*. 13: 1089420. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1089420>
- Marco, S., M. Loredana, V. Riccardo, B. Raffaella, C. Walter, N. Luca. 2022. Microbe-assisted crop improvement: a sustainable weapon to restore holobiont functionality and resilience. *Horticulture Research*. 9(2022). uhac160. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac160/6648882>
- Mexal, J., E. Herrera. 2020. Servicios ambientales de árboles: énfasis en la industria del nogal pecanero. *Tecnociencia Chihuahua*. 8(1): 39-45. <https://doi.org/10.54167/tch.v8i1.651>
- Muñoz-Márquez, E., C. Macías-López, A. Franco-Ramírez, E. Sánchez-Chávez, J. Jiménez-Castro, J. González-García. 2009. Identificación y colonización natural de hongos micorrízicos arbusculares en nogal. *Terra Latinoamericana*. 27(4): 355-361. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n4/v27n4a10.pdf>
- Nell, M., C. Wawrosch, S. Steinkellner, H. Vierheilig, B. Kopp, A. Lössl, C. Franz, J. Novak, K. Zitterl-Eglseer. 2010. La colonización de raíces por hongos micorrízicos arbusculares simbióticos aumenta las concentraciones de ácido sesquiterpénico en *Valeriana officinalis* L. *Planta Medica*. 76(04): 393-398. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1186180>
- Ren, W., L. Zhang, N. Maness, X. Wang, W. Tang, T. Xu. 2023. Changes in the diversity of pecan (*Carya illinoensis*) rhizosphere microbial community with different nitrogen fertilization, a case study in Oklahoma pecan orchard. *Scientia Horticulturae*. 321: 112365. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112365>
- Reyes-Vázquez, N.C. y R. Urrea-López. 2016. *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Guadalajara, Jalisco, México, 124 pp. [https://www.researchgate.net/profile/Rafael-Urrea-Lopez/publication/314101984\\_Retos\\_y\\_opportunidades\\_para\\_el\\_aprovechamiento\\_de\\_la\\_Nuez\\_pecanera\\_en\\_Mexico/links/58b59a0b45851591c5d182aa/Retos-y-opportunidades-para-el-aprovechamiento-de-la-Nuez-pecanera-en-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rafael-Urrea-Lopez/publication/314101984_Retos_y_opportunidades_para_el_aprovechamiento_de_la_Nuez_pecanera_en_Mexico/links/58b59a0b45851591c5d182aa/Retos-y-opportunidades-para-el-aprovechamiento-de-la-Nuez-pecanera-en-Mexico.pdf)
- Ruiz-Lozano, J.M., R. Porcel, G. Bárzana, R. Azcón, R. Aroca. 2012. *Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant drought tolerance: state of the art*. Pp. 335-362. In: Aroca, R. (Eds) *Plant responses to drought stress*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_13)
- Samanta, I., K. Ghosh, R. Saikia, Savita, P. J. Maity, G. Chowdhary. 2025. Arbuscular mycorrhizal fungi – a natural tool to impart abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling and Behavior*. 20(1). <https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2525843>
- Sharma, S., V.R. Singh, U. Sharma, Sh. Sharma, J. Likhita, Sh. Thakur, N. Sharma, A. Kumar, R. Kumar. 2025. Appraisal of arbuscular mycorrhiza in fruit production and mitigation against stress: Current insights and prospects. *Reviews in Agricultural Science*. 13(4): 1-29. [https://doi.org/10.7831/ras.13.4\\_1](https://doi.org/10.7831/ras.13.4_1)
- Sifuentes-Ibarra, E., J.A. Samaniego-Gaxiola, A.A. Salgado, J.H. Núñez-Moreno, B. Valdez-Gascón, R.G. Gutiérrez-Soto, J. del R. Ruelas-Islas, J.M. Cervantes. 2015. Programación del riego en nogal pecanero (*Carya illinoensis*), mediante un modelo integral basado en tiempo térmico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(8): 1893-1902. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n8/2007-0934-remexca-6-08-01893.pdf>
- Smith, S.E. y D.J. Read. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Third Edition, Academic press, New York, 787 pp. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0015br>
- Stein, L.A., G.A. McEachern, J.B. Storey. 1989. Summer and fall moisture stress and irrigation scheduling influence pecan growth and production. *HortScience*. 24: 607-611. <https://journals.ashs.org/hort/hort/published/rest/pdf-watermark/v1/journals/hortsci/24/4/article-p607.pdf/watermark-pdf/>
- Stock, M.L., R.J. Heerema, J.J. Randall, A.L. Romero-Olivares, S.A. Belton, C. Velasco-Cruz, N. Pietrasiak. 2025. Uncovering the morphological and phylogenetic diversity of mushrooms in pecan orchards in the Southwestern United States. *Fungal Biology*. 129: 1878-6146. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2025.101608>
- Wahab, A., M. Muhammad, A. Munir, G. Abdi, W. Zaman, A. Ayaz, C. Khizar, S.P.P Reddy. 2023. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, increasing productivity, and their potential influence on ecosystems subjected to abiotic and biotic stresses. *Plants*. 12 (17): 3102. <https://doi.org/10.3390/plants12173102>
- Zou, Y.N., Q.S. Wu, K. Kuča. 2021. Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. *Plant Biology*. 1: 50-57. <https://doi.org/10.1111/plb.13161>
- Zou, Y.N., Q.Y. Qin, W.Y. Ma, L.J. Zhou, Q.Sh. Wu, Y.J. Xu, K. Kuča, A. Hashem, A.B. F. Al-Arjani, K.F. Almutairi, E.F. Abd-Allah. 2023. Metabolomics reveals arbuscular mycorrhizal fungi-mediated tolerance of walnut to soil drought. *BMC Plant Biology*. 23(1): 118. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04111-3>

# DE LA HERBOLARIA A LA PRODUCCIÓN PECUARIA:

## EXTRACTOS VEGETALES COMO ALTERNATIVA BIOTECNOLÓGICA ANTE LA MULTIRRESISTENCIA ANTIMICROBIANA

/// MARINA WINTER-DENDENA<sup>1</sup>, HÉCTOR OSCAR OROZCO-GREGORIO<sup>1</sup>, JAVIER CASTRO-ROSAS<sup>2</sup>, JESÚS GUADALUPE PÉREZ-FLORES<sup>2</sup>, LIZBETH ANAHÍ PORTILLO-TORRES<sup>1\*</sup>



<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Domicilio Conocido s/n, Tepatepec, Francisco I., Madero 42660, México.

<sup>2</sup>Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

\*Autor de correspondencia, lportillo@upfim.edu.mx.



**Palabras clave:** etnoveterinaria; extractos vegetales; ingredientes naturales; multirresistencia antimicrobiana; sistemas pecuarios sostenibles.

**Keywords:** ethnoveterinary; multidrug resistance; natural ingredients; plant extracts; sustainable livestock production systems

## RESUMEN

El uso masivo de antibióticos en la producción pecuaria ha permitido controlar infecciones que antes causaban pérdidas graves, además de acelerar el crecimiento de los animales. Sin embargo, el beneficio trajo consigo un desafío global: la multirresistencia antimicrobiana, que hoy preocupa tanto a la producción pecuaria como a la salud pública. En este panorama, los extractos vegetales han surgido como una alternativa natural prometedora, con propiedades antimicrobianas, antioxidantes e inmunomoduladoras, capaces de apoyar la salud animal sin afectar el rendimiento productivo. El uso de plantas como bioinputs no solo rescata la sabiduría etnobotánica, sino que impulsa aplicaciones biotecnológicas alineadas a enfoques sostenibles como el promovido por la Organización Mundial de la Salud y organismos internacionales, bajo el modelo de Una Salud. Estas evidencias muestran que la transición hacia ingredientes naturales bioactivos puede contribuir a sistemas pecuarios más responsables, resilientes y armónicos con el ambiente.

## ABSTRACT

The widespread use of antibiotics in livestock production has enabled the control of infections that previously caused severe economic losses, as well as accelerated animal growth. However, these benefits have been accompanied by a global challenge: multidrug resistance (MDR), which now poses a major concern for both livestock production and public health. Within this context, plant extracts have emerged as a promising natural alternative due to their antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties, which can support animal health without compromising productive performance. The use of plants as bioinputs not only rescues ethnobotanical knowledge but also promotes biotechnological applications aligned with sustainable approaches such as those advocated by the World Health Organization and other international agencies under the One Health framework. Collectively, this evidence indicates that the transition toward natural bioactive ingredients may contribute to more sustainable, resilient, and environmentally sound livestock production systems.

## INTRODUCCIÓN

Desde tiempos precolombinos, las sociedades mesoamericanas han mantenido una relación estrecha con las plantas, utilizándolas no solo como fuente de alimento, sino también como parte fundamental de sus sistemas de creencias, prácticas culturales y medicina tradicional. La etnobotánica, entendida como el estudio del conocimiento y uso de las plantas en la vida cotidiana de los pueblos, ha permitido documentar estas interacciones a lo largo de la historia. Una de las obras más representativas de este legado es el *Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis* (1552), también conocido como el Códice de la Cruz-Badiano, manuscrito del médico indígena Martín de la Cruz. En esta obra se recopilan decenas de plantas con fines terapéuticos, reflejo del avanzado conocimiento medicinal desarrollado por la cultura mexicana. De manera complementaria, el Códice Florentino (Figura 1) también documenta la utilización de diversas hierbas con propiedades curativas, reforzando la profunda tradición herbolaria de los pueblos nahuas (Figura 2). Este saber ancestral no solo enriqueció la medicina humana, sino que hoy también representa una valiosa fuente de inspiración para enfoques contemporáneos en salud y sostenibilidad (Casas *et al.*, 2016; Peña *et al.*, 2023).



**Figura 1.** Representación del toloatzin, hierba empleada tradicionalmente para tratar inflamaciones. Códice Florentino, Libro XI, folio 142v. Disponible en: Getty Research Institute, Florentine Code

Hay dos tipos; el nombre de otro es toloatzin. <sup>2</sup> Y el tlapatl es algo alto; sus flores y su follaje se extienden hacia arriba. Quien tiene gota o tiene la carne hinchada se frota con él. Se mezcla con humo negro. No es potable.

**Figura 2.** Fragmento del Florentine Codex (Libro XI) donde se describe el uso medicinal del toloatzin. Florentine Codex, Libro XI, folio 142v. Disponible en: Getty Research Institute, Florentine Codex.



**Figura 3.** Puesto de venta de hierbas medicinales Mercado de Sonora de la CDMX, 2023.

Pero el conocimiento herbolario no quedó en el pasado. Aún hoy, los mercados locales (Figura 3) y las zonas rurales de México siguen siendo espacios de transmisión y preservación de este legado. Desde el suroriente del Estado de México, las comunidades continúan empleando plantas para el tratamiento de afecciones en animales domésticos, incluyendo padecimientos digestivos, respiratorios y cutáneos, mostrando cómo las prácticas etnobotánicas se adaptaron al cuidado animal dentro del campo de la etnoveterinaria (Reyes *et al.*, 2024).

Este puente entre tradición y aplicación práctica nos lleva a una pregunta crucial en la actualidad: ¿puede ese mismo conocimiento contribuir a resolver desafíos modernos? Uno de los más urgentes en la producción pecuaria es la multirresistencia antimicrobiana, problema que ha limitado la eficacia de los antibióticos empleados durante décadas en sistemas pecuarios. Ante este panorama, la investigación científica ha volteado a ver los recursos naturales documentados desde la tradición, comenzando a estudiar los extractos vegetales como una alternativa biotecnológica viable (Li *et al.*, 2023). Cuando la ciencia entra en juego, el saber ancestral no se pierde: se reinterpreta. Así, el estudio de extractos vegetales con actividad antimicrobiana no solo rescata la memoria etnobotánica, sino que también genera soluciones innovadoras, respetuosas del ambiente, alineadas con el enfoque global de Una Salud. La sinergia entre el conocimiento tradicional y las herramientas biotecnológicas modernas perfila un camino prometedor hacia prácticas más sostenibles y culturalmente pertinentes para la producción pecuaria. El presente artículo tiene como objetivo analizar la importancia del uso de extractos vegetales bioactivos como alternativa biotecnológica para promover la salud animal en los sistemas pecuarios y contribuir a su sostenibilidad.

## EL PAPEL DE LOS ANTIBIÓTICOS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA

Históricamente, a inicios de la década de 1940 surgió la práctica de adaptar antibióticos desarrollados para uso humano a animales de producción, principalmente con fines terapéuticos, es decir, para tratar enfermedades en animales que ya presentaban signos clínicos. Estudios de la época documentan el uso de sulfonamidas y de penicilina durante la Segunda Guerra Mundial para el tratamiento de mastitis en vacas, una inflamación de la ubre causada generalmente por bacterias, que provoca dolor, reducción en la producción de leche y alteraciones en su calidad sensorial e higiénica (Lees *et al.*, 2021; Prescott, 2017).

Tras su éxito inicial, entre finales de 1940 y principios de 1950, los antibióticos demostraron ser eficaces incluso contra infecciones que antes se consideraban imposibles de tratar en los sistemas pecuarios (Prescott, 2017). Esto impulsó nuevas estrategias de uso en la producción pecuaria, especialmente de manera profiláctica, que implica administrar antibióticos de forma preventiva antes de que aparezcan signos clínicos, y de manera metafiláctica, que consiste en tratar a todo un grupo de animales cuando solo algunos presentan infección, para frenar su propagación (Low *et al.*, 2021; Trinchera *et al.*, 2025).

Un hallazgo clave ocurrió en 1949, durante investigaciones que buscaban una fuente económica de vitamina B12 para la alimentación de pollos. En esos ensayos se empleó un subproducto tipo "puré", obtenido de la fermentación de maíz con la bacteria *Streptomyces aureofaciens*. Los investigadores notaron que los pollos que lo consumían crecían más rápido y no se enfermaban (Stokstad *et al.*, 1949).

Estudios posteriores permitieron identificar que el compuesto responsable de ese efecto era la clortetraciclina, comercializada poco después como aureomicina, demostrando que la inclusión de antibióticos en el alimento estimulaba el crecimiento y mejoraba el desempeño productivo de las aves de corral (Coates *et al.*, 1951; Stokstad y Jukes, 1950; Whitehill *et al.*, 1950). Para 1951, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos permitió el uso de antibióticos como promotores de crecimiento en alimento de granja sin necesidad de receta veterinaria. Más tarde, entre 1950 y 1960, varios países europeos emitieron regulaciones locales que favorecieron su incorporación al alimento ganadero. En México, su uso se popularizó entre 1960 y 1970, siguiendo tendencias internacionales que buscaban aumentar la productividad a bajo costo (Low *et al.*, 2021).

En el contexto de austeridad que siguió a la Segunda Guerra Mundial, la introducción de los antibióticos a los sistemas pecuarios se asumió como un símbolo de progreso. Permitieron reducir drásticamente la mortalidad por infecciones y mejorar la ganancia de peso en distintas especies, lo que aceleró la producción de carne y leche para satisfacer la demanda creciente de proteína animal. Su adopción fue celebrada tanto en Occidente como en países del otro lado de la Cortina de Hierro, consolidando así su papel central en la producción pecuaria moderna (Figura 4) (Lees *et al.*, 2021).

### DEL CRECIMIENTO ACCELERADO A LA MULTIRRESISTENCIA BACTERIANA: EL OTRO LADO DE LOS ANTIBIÓTICOS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA

Lo que fue un gran avance para mejorar la salud y productividad en animales de producción también trajo consigo un desafío poco visible en su momento: la multirresistencia antimicrobiana. A partir de 1960, se comenzó a notar en las granjas que algunas infecciones ya no respondían a los tratamientos con antibióticos habituales, un hecho que sorprendió tanto a veterinarios como a productores (Anderson, 1968). Este fenómeno motivó cuestionamientos dentro de la comunidad científica, que comenzó a examinar las consecuencias del uso continuo de los antimicrobianos en los sistemas pecuarios, particularmente la presencia de bacterias resistentes en animales, la posible transferencia de genes de resistencia entre bacterias de diferentes especies y el riesgo de diseminación de estos patógenos a humanos a través de la cadena alimentaria y el ambiente (Anderson y Datta, 1965; Levy *et al.*, 1976; Morales *et al.*, 2023).

Este hallazgo abrió una conversación que no se ha detenido desde entonces. A partir de la década de 1960, el desarrollo de nuevos antibióticos disminuyó de forma notable, debido a que la industria farmacéutica priorizó la producción masiva de los compuestos ya conocidos

## EVOLUCIÓN DEL USO DE ANTIBIÓTICOS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

### IMPACTO GLOBAL



Figura 4. Evolución del uso de antibióticos en la producción animal: impacto global.

por su eficacia. La repetición constante de estos generó una fuerte presión evolutiva sobre las bacterias, favoreciendo la aparición de mecanismos como: inactivación enzimática del antibiótico, la reducción de su acumulación intracelular debido a cambios en la permeabilidad de la membrana, lo que impide que el fármaco alcance concentraciones efectivas dentro de la célula, y las modificaciones en los sitios blanco del antibiótico, que evitan su unión y acción. Así, la herramienta que aceleró la productividad también aceleró la adaptación bacteriana (Loureiro *et al.*, 2016; Low *et al.*, 2021).

Al mismo tiempo, comenzaron a difundirse prácticas inadecuadas en las granjas, muchas de ellas impulsadas por la desinformación. Tratamientos demasiado cortos o excesivamente largos, dosis incorrectas e incluso el uso de compuestos no indicados para el tipo de infección, contribuyeron a reducir su eficacia y a fortalecer el problema. También influyó su administración como medida profiláctica en grupos completos de animales y su uso como promotores de crecimiento nutricional, especialmente en modelos donde las regulaciones sanitarias eran aún laxas o inexistentes (Low *et al.*, 2021).

Entre los grupos de antibióticos más empleados se encuentran los  $\beta$ -lactámicos (penicilinas), tetraciclinas, aminoglucósidos, macrólidos, sulfonamidas y fluoroquinolonas, lo que ha favorecido la aparición de cepas multirresistentes de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. (Marshall y Levy, 2011).

En América Latina se ha documentado la presencia de *S. aureus* con perfiles relevantes de resistencia antimicrobiana en unidades de producción lechera. En el suroeste de Brasil, Freu *et al.* (2022) analizaron 84 cepas de *S. aureus* aisladas de vacas con mastitis clínica en 13 rebaños lecheros. Los aislamientos fueron evaluados frente a 10 antimicrobianos que pertenecían a diferentes familias, incluyendo  $\beta$ -lactámicos (penicilina, ampicilina, cefalotina, ceftiofur y oxacilina), macrólidos (eritromicina), tetraciclinas (tetraciclina), lincosamidas (pirlimicina) y sulfonamidas (sulfadimetoxina). Se observó una alta similitud genotípica entre las cepas y resistencia frente a varios de los antibióticos evaluados, particularmente a los  $\beta$ -lactámicos. Estos resultados sugieren la posible diseminación de cepas resistentes entre rebaños y un riesgo para la eficacia de los tratamientos convencionales.

De manera similar, en México se ha reportado una prevalencia del 42 % de mastitis subclínica asociada a *S. aureus*, cuyos aislamientos presentaron genes relacionados con resistencia a tres familias de antibióticos, incluyendo fluoroquinolonas, tetraciclinas

y  $\beta$ -lactámicos (cefalosporinas). Además, se identificaron genes asociados con virulencia, invasión y supervivencia bacteriana, lo que resalta la capacidad adaptativa del patógeno (Aguirre *et al.*, 2024).

Estudios con *E. coli* provenientes de animales de producción como pollos de engorda, cerdos y bovinos han reportado resistencia a familias de antibióticos, incluyendo  $\beta$ -lactámicos, tetraciclinas, sulfonamidas y fluoroquinolonas, lo que evidencia la presencia de cepas multirresistentes en los sistemas pecuarios (Marshall y Levy, 2011; Nhung *et al.*, 2017).

Con el paso de los años, esta situación se convirtió en una lección biológica inevitable para los sistemas pecuarios. Aunque el uso de antibióticos tuvo como objetivo mejorar la salud animal, proteger la producción y sostener la economía de los productores, con el tiempo se evidenció que sus efectos trascendieron el ámbito de las granjas, generando implicaciones sanitarias y económicas de alcance global. La multirresistencia antimicrobiana ha ocasionado importantes pérdidas asociadas al incremento en los costos de tratamiento, la disminución de la productividad y el aumento de la mortalidad animal, lo que impacta directamente la sostenibilidad de los sistemas pecuarios. A nivel mundial, el sector pecuario desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y en el sustento de millones de personas; sin embargo, la creciente resistencia antimicrobiana representa una amenaza significativa para la disponibilidad, seguridad y sostenibilidad de los productos de origen animal (Enshaie *et al.*, 2025; Panicker *et al.*, 2025).

En la actualidad, la discusión ya no gira solo en torno a producir más, sino a producir mejor. Esta nueva visión impulsa la búsqueda de estrategias novedosas, naturales y biotecnológicas que permitan proteger tanto la productividad como la salud animal, humana y ambiental.

## PLAN DE ACCIÓN MUNDIAL FRENTE A LA MULTIRRESISTENCIA A LOS ANTIMICROBIANOS

La multirresistencia bacteriana evidenció que la producción pecuaria y la salud humana comparten el mismo entorno biológico, por lo que el problema debía atenderse de manera coordinada y global. Bajo esta necesidad de colaboración, en 2015 se lanzó el Plan de Acción Mundial (GAP), impulsado por organismos internacionales como la OMS, la FAO y la OIE. Este plan propuso por primera vez un enfoque articulado de "Una Salud", entendiendo que prevenir la multirresistencia antimicrobiana implica actuar simultáneamente en sectores humanos, animales, vegetales y ambientales.



**Figura 5.** De la etnobotánica a la biotecnología: revalorización de plantas medicinales ancestrales. Imagen generada mediante ChatGPT (OpenAI, 2025).

Un año después, en 2016, la 71.<sup>a</sup> Asamblea General de las Naciones Unidas respaldó el plan mediante una declaración política de alto nivel, comprometiéndolo a los países a su implementación en escala regional y nacional. El GAP estableció ejes estratégicos clave, como: el uso responsable de antimicrobianos, la concienciación social, la vigilancia sanitaria y la investigación de nuevas alternativas terapéuticas (Wernli *et al.*, 2022).

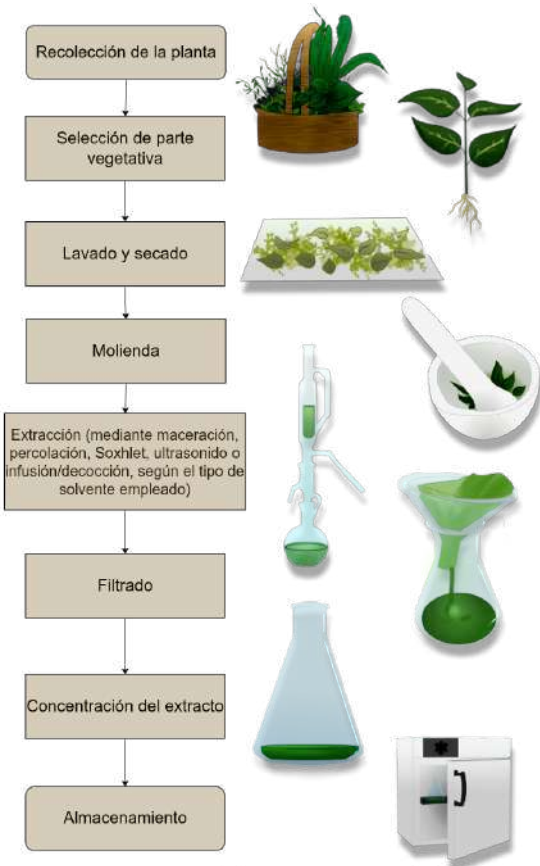
La adopción del GAP motivó cambios importantes en distintas partes del mundo. Algunos países optaron por prohibiciones totales de antibióticos como promotores de crecimiento, como ocurrió en la Unión Europea en 2006 y más recientemente en Chile en 2023. Otros implementaron restricciones específicas sobre compuestos concretos como: colistina, avoparcina, vancomicina, bacitracina, tilosina, virginiamicina y tiamulina, estrategia adoptada por países como China en 2016, India en 2019, México en 2007 y Brasil en 2020 (Comisión Europea, 2005; da Silva *et al.*, 2023; Hennessey *et al.*, 2025; Walsh y Wu, 2016).

Aunque estas decisiones no surgieron con la intención de afectar la productividad, sino de proteger la salud, hoy han impulsado una interrogante cada vez más presente: ¿Cómo mantener la producción pecuaria sin depender tanto de los antibióticos? Esta pregunta ha abierto la puerta a alternativas naturales estudiadas desde la biotecnología moderna, donde los extractos vegetales están comenzando a ocupar un papel importante.

## DE LA ETNOBOTÁNICA A LA PRODUCCIÓN PECUARIA: EXTRACTOS VEGETALES

El desafío global de la multirresistencia antimicrobiana ha llevado a replantear el uso de antibióticos en la producción pecuaria y ha acelerado la búsqueda de alternativas naturales, como extractos ricos en taninos, aceites esenciales o compuestos fenólicos. Países e instituciones han impulsado regulaciones para limitar su empleo como promotores de crecimiento, lo que abre una oportunidad científica para explorar nuevas estrategias que protejan tanto la productividad animal como la salud del ecosistema completo. Este cambio de paradigma invita a ver a las plantas desde una nueva perspectiva: de tradición cultural a solución biotecnológica (Figura 5).

Los extractos vegetales concentran compuestos bioactivos que las plantas producen en respuesta adaptativa ante amenazas como herbívoros, estrés ambiental o interacciones competitivas. Estas moléculas no aparecen al azar: son parte de sistemas naturales de defensa. Por ejemplo, el sabor amargo de muchas plantas proviene de los taninos, sustancias que dificultan su consumo por herbívoros. De manera similar, la cafeína en el café, la nicotina en el tabaco o el mentol en la menta funcionan como repelentes o tóxicos para ciertos insectos. Lo que la planta fabrica para sobrevivir, la ciencia lo estudia hoy para sanar (Rasheed *et al.*, 2024; Rutkowska y Pasqualone, 2025).



**Figura 6.** Proceso general para la obtención de extractos vegetales.

Desde la biotecnología moderna, estos extractos se obtienen (Figura 6) a partir de hojas, raíces, flores, semillas o corteza mediante métodos como destilación, extracción con agua o alcoholes, así como tecnologías emergentes asistidas por presión, temperatura o ultrasonido. Gracias a su diversidad química, los extractos de plantas han mostrado actividades de alto interés en la producción pecuaria, como potencial antimicrobiano, antioxidante e incluso inmunomodulador (Bhadange *et al.*, 2024).

En este marco, divulgar los avances y retos de los ingredientes vegetales bioactivos contribuye a informar, concienciar y promover opciones sostenibles para los animales de producción (Figura 7), sin comprometer la salud humana ni el entorno ambiental. Así, esta ciencia, con raíces culturales profundas, permite comprender la importancia del uso de extractos vegetales bioactivos como alternativa biotecnológica para promover la salud animal en los sistemas pecuarios desde un enfoque sostenible.

### LA DEFENSA NATURAL DE LAS PLANTAS BAJO LA LUPA DE LA BIOTECNOLOGÍA

Las investigaciones sobre extractos vegetales comenzaron a ganar fuerza entre finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX, un periodo marcado por avances decisivos en química y botánica. Esta

etapa transformó la forma de estudiar a las plantas: del conocimiento empírico a la experimentación científica, con métodos más sistemáticos y herramientas de análisis cada vez más precisas. Uno de los primeros hitos científicos ocurrió en 1805, cuando el químico Friedrich Sertürner aisló la morfina del opio, convirtiéndola en el primer alcaloide vegetal purificado y documentado científicamente por su acción analgésica, lo que abrió el camino formal a la química de productos naturales (Krishnamurti y Rao, 2016).

Más de un siglo después, en 1897, investigadores de la época desarrollaron el ácido acetilsalicílico, conocido como aspirina, derivado de la corteza del sauce, consolidándolo como uno de los compuestos más influyentes de origen vegetal en la historia de la farmacología (Montinari *et al.*, 2005). De igual forma, el curare, una preparación vegetal utilizada ancestralmente en América del Sur como veneno para flechas, dio origen al estudio y aislamiento de la tubocurarina en el siglo XX, compuesto que encontró una aplicación específica como relajante muscular durante procesos de anestesia (Lee, 2005).

Estos descubrimientos reflejan una nueva narrativa en torno a las plantas: ya no solo se observan sus efectos, ahora se descifran, se aíslan y se aplican de forma dirigida. Este recorrido histórico demuestra que los extractos vegetales son una fuente inagotable de innovación, tanto para la medicina humana como para nuevas aplicaciones en salud animal y producción sostenible en el sector pecuario.



**Figura 7.** Uso de extractos vegetales en la producción animal. Imagen generada mediante ChatGPT (OpenAI, 2025).

## APLICACIONES DE EXTRACTOS VEGETALES EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA

En los últimos años, distintas investigaciones han evaluado la eficacia de los extractos obtenidos de plantas en especies de producción pecuaria, especialmente frente a enfermedades frecuentes que afectan al sector pecuario (Lopes *et al.*, 2020). Estos estudios reportan resultados prometedores en el control de la mastitis bovina, la reducción de infecciones digestivas y respiratorias en pollos de engorde, así como en la disminución de la incidencia de diarrea en lechones post-destete (Tomanić *et al.*, 2024; Upadhaya y Kim, 2017; Windisch *et al.*, 2008). Estas evidencias coinciden en que los bioactivos vegetales actúan como moléculas defensivas que la biotecnología puede transformar en herramientas funcionales para la salud, la nutrición y el bienestar animal.

La literatura científica ha mostrado que compuestos de origen vegetal, como flavonoides, terpenoides, polifenoles y alcaloides, no sólo presentan actividad antimicrobiana, sino también efectos antioxidantes e inmunomoduladores (Gessner *et al.*, 2017; Greathead, 2003; Windisch *et al.*, 2008), influyendo favorablemente en la salud intestinal, la fisiología de la mucosa digestiva, la estabilidad de la microbiota y la conversión eficiente del alimento en crecimiento (Gessner *et al.*, 2017; Hashemi y Davoodi, 2011; Upadhaya y Kim, 2017).

### USO PROFILÁCTICO DE EXTRACTOS VEGETALES

La antisepsia de los pezones antes y después del ordeño, conocida como pre-dipping y post-dipping, es una de las medidas más eficaces para reducir la mastitis en vacas. Este procedimiento evita que las bacterias presentes en la piel del pezón entren a la ubre durante la ordeña, ayudando así a proteger la salud mamaria y la calidad higiénica de la leche. Los extractos vegetales han demostrado ser capaces de disminuir la carga microbiana, posicionándose como alternativas viables frente a los antisépticos químicos tradicionales, con beneficios adicionales para el cuidado de la piel del pezón (do Nascimento *et al.*, 2025).

Un estudio reciente realizado en Brasil evaluó dos formulaciones a base de extractos de papaya (*Carica papaya*), sábila (*Aloe barbadensis*), andiroba (*Carapa guianensis*), copaiba (*Copaifera officinalis*), árbol de té (*Melaleuca alternifolia*) y barbatimão (*Stryphnodendron barbatiman*). En la primera etapa, se verificó su actividad antimicrobiana *in vitro* frente a bacterias asociadas a mastitis bovina, como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* y *Escherichia coli*. Posteriormente, en pruebas *in vivo*, las formulaciones

se aplicaron en los pezones antes y después del ordeño, logrando una reducción de la carga microbiana superior al 80%, con una eficacia comparable al yodo y al peróxido de hidrógeno, antisépticos de uso convencional en granja (do Nascimento *et al.*, 2025).

De manera complementaria, otro estudio evaluó la acción antibacteriana de extractos de clavo, citronela y albahaca, y desarrolló formulaciones en aerosol para su uso como desinfección postordeño. En ensayos en vacas, el aerosol de citronela mostró una reducción del 99.9% de bacterias en la piel del pezón en solo 1 minuto, comparable a un protocolo de desinfección con yodo al 0.54%. Estos resultados posicionan a la citronela como una de las opciones más prometedoras para uso profiláctico postordeño, con alta eficacia antimicrobiana y excelente tolerancia en la piel del pezón bajo condiciones reales de ordeña en granja (Aiemsraad *et al.*, 2023).

En este panorama, los extractos vegetales bioactivos se presentan como herramientas biotecnológicas de origen natural que permiten cuidar la salud preventiva en animales, sin agregar presión evolutiva innecesaria sobre las bacterias presentes en los sistemas de producción pecuaria.

### USO TERAPÉUTICO DE EXTRACTOS VEGETALES

Los compuestos bioactivos de las plantas han despertado el interés de la ciencia veterinaria por su capacidad para combatir microorganismos, modular la microbiota intestinal y estimular la respuesta inmune del animal. Estas propiedades los posicionan como aliados terapéuticos y han impulsado su estudio como suplementos funcionales en la producción pecuaria. En la Tabla 1 se presentan estudios recientes que muestran que estos compuestos pueden reducir infecciones bacterianas y parasitarias, además de mejorar las defensas naturales del animal, respaldando el potencial de las plantas como herramientas terapéuticas en la salud animal.

### USO DE EXTRACTOS VEGETALES COMO PROMOTOR DE CRECIMIENTO

El crecimiento de los animales en granjas y sistemas pecuarios está íntimamente ligado a la salud intestinal. Un intestino saludable no solo digiere y absorbe nutrientes de forma eficiente, también mantiene una barrera física protectora, regula la respuesta inmune en la mucosa digestiva y alberga una microbiota equilibrada. Este conjunto de bacterias benéficas actúa como un componente funcional esencial, porque participa activamente en la defensa del organismo, optimiza la digestión y se comunica incluso con el sistema nervioso del animal, influyendo en su fisiología general y bienestar.

**Tabla 1. Estudios *in vivo* sobre el uso de extractos vegetales, aceites esenciales y compuestos fitoquímicos en enfermedades de animales de producción.**

| Producto / Extracto vegetal   | Principales compuestos bioactivos   | Especie animal       | Patógeno o infección   | Principales efectos observados  | Referencia                     |
|---|---|----------------------|--|---|--------------------------------|
| Mezcla fitogénica: fenogreco ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ) y cúrcuma ( <i>Curcuma longa</i> ), combinada con aceites esenciales.   | Trans-anetol y carvacrol  | Lechones postdestete | <i>E. coli</i>   | Reducción de excreción bacteriana en heces y aumento de células productoras de mucina intestinal.                                   | Alberto <i>et al.</i> , 2025   |
| Mezcla de aceites esenciales: Ajo ( <i>Allium sativum</i> ) y Ajenjo ( <i>Artemisia absinthium</i> ).   | Polifenoles y flavonoides, tocoferoles, esteroides vegetales, compuestos azufrados y lactonas sesquiterpénicas. | Cerdos               | <i>Eimeria</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Ascaris suum</i> , <i>Trichuris suis</i>                | Reducción significativa de la carga parasitaria y mejora del estado sanitario.  | Băieș <i>et al.</i> , 2024     |
| Mezcla de aceites esenciales: Tomillo ( <i>Thymus vulgaris</i> ), tomillo silvestre ( <i>Thymus serpyllum</i> ), orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ), ajedra de montaña ( <i>Satureja montana</i> ) | Terpenoides como timol y carvacrol  | Vacas lecheras       | Mastitis asociada a <i>Candida spp.</i>  | Reducción significativa de aislamientos de <i>Candida</i> y efecto sinérgico con antibióticos.                                      | Tomanić <i>et al.</i> , 2024   |
| Mezcla de aceites esenciales  | Trans-cinamaldehído, eugenol, carvacrol, timol, disulfuro de dialilo  | Lechones postdestete | <i>E. coli</i>   | Mejora del equilibrio de la microbiota intestinal y aumento de la relación lactobacilos/coliformes.                                 | Montoya <i>et al.</i> , 2021   |
| Extractos vegetales + propóleo.   | Curcuminoides, flavonoides naringínicos, derivados carnósicos, derivados salicílicos, artemipilina-C            | Lechones postdestete | <i>E. coli</i>   | Mejora de la morfología intestinal y reducción de la respuesta inflamatoria.  | Montoya <i>et al.</i> , 2021   |
| Extracto acuoso de <i>Combretum glutinosum</i> (corteza)  | Taninos y otros fitoquímicos fenólicos  | Ovejas               | Helmintos gastrointestinales ( <i>Haemonchus contortus</i> y <i>Trichostrongylus colubriformis</i> ) | Reducción de excreción de huevos, mejora de peso corporal y parámetros hematológicos.   | Toklo <i>et al.</i> , 2023     |
| <i>Medicago polymorpha</i> y <i>Medicago sativa</i>   | Saponina  | Ovejas               | Estrongílidos gastrointestinales ovinos  | Inhibición significativa de larvas y huevos.  | Maestrini <i>et al.</i> , 2020 |
| Nanoemulsión de aceites esenciales: Clavo ( <i>Syzygium aromaticum</i> ) Canela ( <i>Cinnamomum verum</i> )   | Eugenol, aldehídos y terpenos   | Gallinas ponedoras   | Ácaro rojo de las aves ( <i>Dermanyssus gallinae</i> )   | Reducción >95% de ectoparásitos, mejora en producción de huevos, salud general, plumaje y piel; sin residuos detectables en huevos. | Pumnuan <i>et al.</i> , 2024   |

**Tabla 1. Estudios *in vivo* sobre el uso de extractos vegetales, aceites esenciales y compuestos fitoquímicos en enfermedades de animales de producción.**

| Producto / Extracto vegetal   | Principales compuestos bioactivos                                    | Especie animal    | Patógeno o infección                        | Principales efectos observados   | Referencia                 |
|---|--|-------------------|---|--|----------------------------|
| Cúrcuma ( <i>Curcuma longa</i> ) Fenogreco ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ) | Curcuminoides (curcumina, desmetoxicurcumina) Saponinas, flavonoides | Pollos de engorde | <i>Salmonella entérica</i> y <i>E. coli</i> | Reducción de diseminación bacteriana y mejoría de algunos parámetros patológicos y microbiológicos.  | Kerek <i>et al.</i> , 2023 |
| Germen de trigo, extracto de lúpulo, extracto de semilla de uva                 | Polifenoles, proantocianidinas y tocoferoles                         | Pollos de engorde | <i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i>          | Reducción de emisiones de gases nocivos en las heces, así como los niveles fecales de <i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i> , e incrementar los niveles de <i>Lactobacillus</i> . | Zou <i>et al.</i> , 2023   |

Los extractos vegetales concentran compuestos como aceites esenciales, polifenoles, flavonoides y otros metabolitos que las plantas producen para defenderse. La biotecnología moderna ha comenzado a leer ese lenguaje químico para usarlo en beneficio de la salud y nutrición animal. Las propiedades antimicrobianas, antioxidantes e inmunomoduladoras de estos ingredientes ayudan a equilibrar el ambiente intestinal, estabilizar la microbiota y mejorar la conversión del alimento en peso corporal, sin recurrir exclusivamente a moléculas sintéticas (Obianwuna *et al.*, 2024).

En México, la combinación de inulina obtenida del agave junto con aceite esencial de orégano mexicano probó ser eficaz para incrementar el peso vivo y mejorar la conversión alimenticia en pollos de engorde, efectos asociados a cambios positivos en el intestino y su microbiota (Sánchez *et al.*, 2019). De la misma forma, en China se evaluó un extracto acuoso de orégano en pollos de engorda, obteniendo mejoras en la inmunidad de la mucosa intestinal y el fortalecimiento de su función de barrera, efectos mediados por modificaciones favorables en la composición microbiana. Las moléculas vegetales responsables, como terpenoides y fenoles, son ejemplo de compuestos defensivos que hoy encuentran un uso terapéutico y nutricional dirigido, especialmente en condiciones de producción intensiva (Zhang *et al.*, 2023).

En América Latina, países como Brasil también han estudiado extractos de plantas locales con potencial en nutrición pecuaria. En ovinos alimentados en pastoreo en regiones semiáridas, la inclusión del extracto de mezquite

mejoró la digestibilidad, optimizó la eficiencia de uso del nitrógeno y favoreció la conversión de proteínas en músculo, traducándose en mayor ganancia de peso final y mejor rendimiento productivo, en comparación con ovinos alimentados solo con pasto (Férrer *et al.*, 2021).

En conjunto, estos estudios muestran que los extractos vegetales pueden impulsar el crecimiento desde una mejora biológica, no desde la dependencia química, reforzando su potencial como ingredientes bioactivos en sistemas pecuarios más sostenibles y resilientes.

## LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

A pesar del creciente interés en los extractos vegetales como alternativa a los antimicrobianos en la producción pecuaria, aún existen diversas limitaciones que deben considerarse. En primer lugar, la composición química de los extractos vegetales puede variar considerablemente según factores como la especie vegetal, la parte de la planta utilizada, las condiciones de cultivo, el momento de cosecha y el método de extracción empleado. Esta variabilidad dificulta la estandarización de los productos y la comparación directa entre estudios (Alami *et al.*, 2024). Asimismo, algunos compuestos pueden presentar efectos adversos o tóxicos a altas concentraciones, así como problemas de palatabilidad debido a sabores u olores intensos que pueden afectar el consumo del alimento (Adetunji *et al.*, 2025; Ahmadi *et al.*, 2025).

Otra limitación importante es que muchos de los trabajos disponibles se han realizado en condiciones experimentales controladas o con tamaños de muestra reducidos, lo que limita la extrapolación de los resultados a sistemas productivos comerciales. Además, en algunos casos aún se desconocen con precisión los mecanismos de acción de los compuestos bioactivos, así como sus posibles interacciones con la microbiota intestinal, la dieta o los tratamientos veterinarios convencionales (Biswas y Kim, 2025).

En este contexto, las investigaciones futuras deberán enfocarse en la estandarización de extractos vegetales, la identificación de los compuestos activos responsables de sus efectos biológicos y la evaluación de su eficacia mediante estudios *in vivo* a mayor escala. Asimismo, el desarrollo de tecnologías de formulación, como nanoemulsiones o sistemas de liberación controlada, podría mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de estos compuestos en los animales.

Algunos compuestos fitoquímicos ya han sido incorporados en productos comerciales utilizados en la nutrición animal. Los denominados aditivos fitogénicos o phytogetic feed additives incluyen mezclas de aceites esenciales, extractos vegetales y compuestos bioactivos derivados de plantas, como carvacrol, timol, cinamaldehído y capsaicina. Estos productos se utilizan actualmente en dietas para aves, cerdos y rumiantes con el objetivo de mejorar la salud intestinal, estimular la respuesta inmunológica y optimizar el rendimiento productivo. De hecho, algunos ya han recibido autorización regulatoria en la Unión Europea como aditivos zootécnicos (Lillehoj *et al.*, 2018).

Entre los ejemplos se encuentra Digestarom®, un aditivo formulado a partir de aceites esenciales y extractos de plantas como orégano, anís e hinojo, empleado en dietas de aves, cerdos y rumiantes para mejorar la digestibilidad y el rendimiento productivo. De manera similar, Activo® es un producto basado en aceites esenciales microencapsulados ricos en carvacrol, timol y cinamaldehído, diseñado para modular la microbiota intestinal y mejorar la conversión alimenticia en aves y cerdos. Otro ejemplo es XTRACT®, formulado con compuestos como carvacrol, capsaicina y cinamaldehído, que ha sido utilizado en distintas especies pecuarias para estimular la digestión y favorecer el crecimiento animal (Lillehoj *et al.*, 2018).

La presencia de estos productos en el mercado refleja cómo el conocimiento sobre compuestos bioactivos de origen vegetal ha comenzado a trasladarse desde la investigación científica hacia aplicaciones prácticas dentro de los sistemas de producción pecuaria.

## CONCLUSIÓN

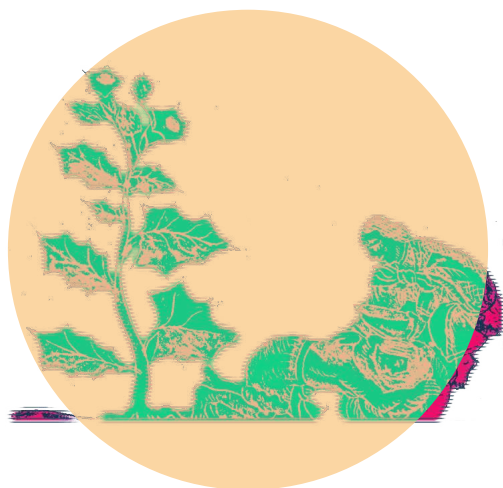
La convergencia entre la etnobotánica y la biotecnología se consolida como un camino esencial para afrontar la resistencia antimicrobiana en la producción pecuaria. Los saberes ancestrales sobre el uso de las plantas no representan únicamente un legado cultural, sino un punto de partida científico que la biotecnología moderna ha comenzado a reinterpretar, caracterizar y transformar en herramientas funcionales.

El avance en técnicas analíticas permite hoy identificar moléculas vegetales bioactivas con mayor precisión, mientras que los nuevos métodos de formulación pueden garantizar su estabilidad y biodisponibilidad. No obstante, el verdadero salto biotecnológico ocurrirá cuando comprendamos sus mecanismos específicos y validemos su seguridad en modelos clínicos animales, sin comprometer la productividad ni el equilibrio ambiental.

A pesar de estos desafíos pendientes, los ingredientes vegetales bioactivos ya han demostrado ser soluciones necesarias, viables y prometedoras. Solo mediante la integración de la ciencia rigurosa y las prácticas sostenibles podremos transformar la herencia de la etnobotánica en una estrategia de salud global. En última instancia, aprovechar el potencial de los extractos vegetales permitirá avanzar hacia sistemas de producción pecuaria más saludables, responsables y resilientes frente a los desafíos sanitarios y ambientales del futuro.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.



# Literatura citada



- Adetunji, A.O., J. Price, H. Owusu, E.F. Adewale, P.A. Adesina, T.P. Saliu, Z. Zhu, C. Xedzro, E. Asiamah, S. Islam. 2025. Mechanisms by which phytogetic extracts enhance livestock reproductive health: Current insights and future directions. *Frontiers in Veterinary Science*. 12: 1568577. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1568577>
- Aguirre-Sánchez, J.R., N.C. del Campo, J.A. Medrano-Félix, A.O. Martínez-Torres, C. Chaidez, J. Querol-Audi. 2024. Genomic insights of *Staphylococcus aureus* associated with bovine mastitis in a high livestock activity region of Mexico. *Journal of Veterinary Science*. 25(4). <https://doi.org/10.4142/jvs.23286>
- Ahmadi, F., H.A.R. Suleria, F.R. Dunshea. 2025. Role of plant bioactive compounds in improving ruminant resilience to heat stress. *Animal Production Science*. 65(6): AN23386. <https://doi.org/10.1071/AN23386>
- Aiemsaaard, J., G.N. Borlace, E. Thongkham, C. Jarassaeng. 2023. Antibacterial efficacy of essential oil spray formulation for post-milking disinfection in dairy cows. *Veterinary World*. 16(7): 1552-1561. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.1552-1561>
- Alami, M.M., S. Guo, Z. Mei, G. Yang, X. Wang. 2024. Environmental factors on secondary metabolism in medicinal plants: exploring accelerating factors. *Medicinal Plant Biology*. 3: e016. <https://doi.org/10.48130/mpb-0024-0016>
- Alberto, T.-P., A. Keiner, M. Le Gall, F. Molist, X. Guan, A. Middelkoop, E. Jiménez-Moreno, A. Balfagón, G. Mantovani, M. Nofrarias, T. Aumiller. 2025. Impact of a phytogetic feed additive on diarrhea incidence, intestinal histomorphology and fecal excretion of F4-fimbriated enterotoxigenic *Escherichia coli* in post-weaning piglets. *Stresses*. 5(1): 8. <https://doi.org/10.3390/stresses5010008>
- Anderson, E.S. 1968. Drug resistance in *Salmonella typhimurium* and its implications. *British Medical Journal*. 3(5614): 333-339. <https://doi.org/10.1136/bmj.3.5614.333>
- Anderson, E.S., N. Datta. 1965. Resistance to penicillins and its transfer in Enterobacteriaceae. *The Lancet*. 1(7382): 407-409. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(65\)90004-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(65)90004-8)
- Băieș, M.H., C. Lăcătușu, C. Mălăncioiu, D. Mierliță, D. Cucu, D. Moț, D.I. Hădărugă. 2024. Antiparasitic activity of plant-derived powders (garlic and wormwood) in pigs naturally infected with gastrointestinal parasites under low-input farm conditions. *BMC Veterinary Research*. 20(1): 99. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-03983-3>
- Bhadange, Y.A., J. Carpenter, V.K. Saharan. 2024. A comprehensive review on advanced extraction techniques for retrieving bioactive components from natural sources. *ACS Omega*. 9(29): 31274-31297. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02718>
- Biswas, S., I.H. Kim. 2025. A thorough review of phytogetic feed additives in non-ruminant nutrition: production, gut health, and environmental concerns. *Journal of Animal Science and Technology*. 67(3): 497-519. <https://doi.org/10.5187/jast.2025.e26>
- Casas, A., J. Blancas, R. Lira. 2016. Mexican ethnobotany: Interactions of people and plants in Mesoamerica. En: R. Lira, A. Casas, J. Blancas (eds). *Ethnobotany of Mexico*. Springer, New York, NY, pp. 1-19. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_1)
- Coates, M.E., C.D. Dickinson, G.F. Harrison, S.K. Kon, W.F.J. Cuthbertson. 1951. A mode of action of antibiotics in the stimulation of growth of chicks. *Nature*. 168: 332-333. <https://doi.org/10.1038/168332a0>
- Comisión Europea. 2005. La prohibición de los antibióticos como promotores del crecimiento en la alimentación animal entra en vigor el 1 de enero de 2006. En: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_05\\_1687](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_05_1687) (consultado el 21/10/2025).
- da Silva, R.A., N.E. Arenas, V.L. Luiza, J.A.Z. Bermudez, S.E. Clarke. 2023. Regulations on the use of antibiotics in livestock production in South America: A comparative literature analysis. *Antibiotics*. 12(8): 1303. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12081303>
- do Nascimento, G.M., R.A. Rodrigues, H.C. Brugnera, J.C. Barbosa, F.R. Favaron, G.A.M. Rossi, C.R.S. de Bragança, R.P. Schocken-Iturrino, F.A. de Ávila, M.V. Cardozo. 2025. Antimicrobial activity of teat antiseptic formulations based on plant extracts for controlling bovine mastitis: In vitro and in vivo evaluation. *Veterinary Sciences*. 12(4): 293. <https://doi.org/10.3390/vetsci12040293>
- Enshaie, E., S. Nigam, S. Patel, V. Rai. 2025. Livestock antibiotics use and antimicrobial resistance. *Antibiotics*. 14(6): 621. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14060621>
- Férrer, J.P., M.V. da Cunha, M.V.F. dos Santos, T.R. Torres, J.R.C. da Silva, R.M.L. Vêras, D.C. da Silva, A.H. da Silva, L.M.D. Queiroz, M.T. Férrer, E.L.S. Neto, D.M. Jaramillo, E.J.O. de Souza. 2021. Mesquite (*Prosopis juliflora*) extract as a phytogetic additive for sheep finished on pasture in the semiarid region. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 12(1): 14. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00556-2>
- Freu, G., T. Tomazi, A.F.S. Filho, M.B. Heinemann, M.V. dos Santos. 2022. Antimicrobial resistance and molecular characterization of *Staphylococcus aureus* recovered from cows with clinical mastitis in dairy herds from southeastern Brazil. *Antibiotics*. 11(4). <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040424>
- Gessner, D.K., R. Ringseis, K. Eder. 2017. Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 101(4): 605-628. <https://doi.org/10.1111/jpn.12579>
- Greathead, H. 2003. Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of the Nutrition Society*. 62(2): 279-290. <https://doi.org/10.1079/pns2002197>
- Hashemi, S.R., H. Davoodi. 2011. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*. 35(3): 169-180. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>
- Hennessey, M., P. Alarcon, I. Samanta, G. Fournié, H. Paleja, K. Papaiyan, M. Gautham. 2025. Formulating antibiotic policy: Analysis of India's ban on colistin use in food producing animals. *Preventive Veterinary Medicine*. 240: 106534 <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106534>
- Kerek, Á., Á. Szabó, P.F. Dobra, K. Bárdos, L. Ózsvári, P. Fehérvári, Z. Bata, V. Molnár-Nagy, Á. Jerzele. 2023. Determining the in vivo efficacy of plant-based and probiotic-based antibiotic alternatives against mixed infection with *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* in domestic chickens. *Veterinary Sciences*. 10(12): 706. <https://doi.org/10.3390/vetsci10120706>
- Krishnamurti, C., S.S.C. Rao. 2016. The isolation of morphine by Serturner. *Indian Journal of Anaesthesia*. 60(11): 861-862. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.193696>
- Lees, P., L. Pelligand, E. Giraud, P.L. Toutain. 2021. A history of antimicrobial drugs in animals: Evolution and revolution. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 44(2): 137-171. <https://doi.org/10.1111/jvp.12895>
- Levy, S.B., G.B. Fitzgerald, A.B. Maccone. 1976. Changes in in-

- testinal flora of farm personnel after introduction of a tetracycline-supplemented feed on a farm. *New England Journal of Medicine*. 295(11): 583-588. <https://doi.org/10.1056/NEJM197609092951101>
- Li, X., C. Xu, B. Liang, J.P. Kastelic, B. Han, X. Tong, J. Gao. 2023. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 10: 1160350. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1160350>
- Lillehoj, H.S., Y. Liu, S. Calsamiglia, M.E. Fernandez-Miyakawa, F. Chi, R.L. Cravens, S. Oh, C.G. Gay. 2018. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Veterinary Research*. 49: 76. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6>
- Lopes, T.S., P.S. Fontoura, A. Oliveira, F.A. Rizzo, S. Silveira, A.F. Streck. 2020. Use of plant extracts and essential oils in the control of bovine mastitis. *Research in Veterinary Science*. 131: 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.04.025>
- Loureiro, R.J., F. Roque, A. Teixeira Rodrigues, M.T. Herdeiro, E. Ramalheira. 2016. Use of antibiotics and bacterial resistance: Brief notes on its evolution. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. 34(1): 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.rpsp.2015.11.003>
- Low, C.X., L.T.-H. Tan, N.-S. Ab Mutalib, P. Pusparajah, B.-H. Goh, K.-G. Chan, V. Letchumanan, L.-H. Lee. 2021. Unveiling the impact of antibiotics and alternative methods for animal husbandry: A review. *Antibiotics*. 10(5): 578. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050578>
- Maestrini, M., A. Tava, S. Mancini, D. Tedesco, S. Perrucci. 2020. In vitro anthelmintic activity of saponins from *Medicago spp.* against sheep gastrointestinal nematodes. *Molecules*. 25(2): 242. <https://doi.org/10.3390/molecules25020242>
- Marshall, B.M., S.B. Levy. 2011. Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clinical Microbiology Reviews*. 24(4): 718-733. <https://doi.org/10.1128/CMR.00002-11>
- Montinari, M.R., S. Minelli, R. De Caterina. 2005. The first 3500 years of aspirin history from its roots—A concise summary. *Vascular Pharmacology*. 43(3): 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.vph.2005.05.004>
- Montoya, D., M. D'Angelo, S.M. Martín-Orúe, A. Rodríguez-Sorrento, M. Saladrigas-García, C. Araujo, T. Chabrilat, S. Kerros, L. Castillejos. 2021. Effectiveness of two plant-based in-feed additives against an *Escherichia coli* F4 oral challenge in weaned piglets. *Animals*. 11(7): 2024. <https://doi.org/10.3390/ani11072024>
- Morales-Ubaldo, A.L., N. Rivero-Perez, B. Valladares-Carranza, V. Velázquez-Ordoñez, L. Delgadillo-Ruiz, A. Zaragoza-Bastida. 2023. Bovine mastitis, a worldwide impact disease: Prevalence, antimicrobial resistance, and viable alternative approaches. *Veterinary and Animal Science*. 21: 100306. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100306>
- Nhung, N.T., N. Chansiripornchai, J.J. Carrique-Mas. 2017. Antimicrobial resistance in bacterial poultry pathogens: A review. *Frontiers in Veterinary Science*. 4: 126. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00126>
- Obianwuna, U.E., X. Chang, V.U. Oloruh-Okoleh, P.N. Onu, H. Zhang, K. Qiu, S. Wu. 2024. Phytobiotics in poultry: Revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 15: 169. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01101-9>
- Panicker, A., A. Changaroth, S.V. Gangadharan, T. Yamamoto, H. Noothalapati, M.K. Nambudiri, P. Poornachandran. 2025. From farms to homes: Navigating antimicrobial resistance landscapes from livestock to humans. *One Health Advances*. 3: 20. <https://doi.org/10.1186/s44280-025-00084-0>
- Peña, F.A.B., I.G. Rivas, L.C. Santos, M.S.O. Almanza. 2023. Uso actual de las plantas del Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis o Códice de la Cruz-Badiano en México. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 80(1): e135. <https://doi.org/10.3989/ajbm.548>
- Prescott, J.F. 2017. History and current use of antimicrobial drugs in veterinary medicine. *Microbiology Spectrum*. 5(6). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.ARBA-0002-2017>
- Pumnuan, J., A. Lakyat, A. Klompanya, D. Taemchuay, A. Assavawongsanon, T. Doungnapa, S. Kramchote. 2024. Parasitocidal properties of nanoemulsion-based plant essential oil formulations for controlling poultry ectoparasites in farm conditions. *Insects*. 15(11): 829. <https://doi.org/10.3390/insects15110829>
- Rasheed, H.A., A. Rehman, A. Karim, F. Al-Asmari, H. Cui, L. Lin. 2024. A comprehensive insight into plant-derived extracts/bioactives: Exploring their antimicrobial mechanisms and potential for high-performance food applications. *Food Bioscience*. 59: 104035. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104035>
- Reyes-Carcano, M., E. Espinosa-Ayala, C. Chávez-Mejía, O. Márquez-Molina, P.A. Hernández-García. 2024. Plantas medicinales para uso etnoveterinario en dos mercados locales de la zona Suroriente del Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola*. 73: 1-18. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.73.11>
- Rutkowska, J., A. Pasqualone. 2025. Plant extracts as functional food ingredients. *Foods*. 14(3): 374. <https://doi.org/10.3390/foods14030374>
- Sánchez-Zamora, N., R. Silva-Vázquez, Z.E. Rangel-Nava, C.A. Hernández-Martínez, J.R. Kawas-Garza, M.E. Hume, D.D. Herrera-Balandrano, G. Méndez-Zamora. 2019. Inulina de agave y aceite esencial de orégano mexicano mejoran el comportamiento productivo de pollos de engorde. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 6(18): 523-534. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2197>
- Stokstad, E.L.R., T.H. Jukes. 1950. Further observations on the animal protein factor. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 73: 523-528.
- Stokstad, E.L.R., T.H. Jukes, J. Pierce, A.C. Page, A.L. Franklin. 1949. The multiple nature of the animal protein factor. *Journal of Biological Chemistry*. 180: 647-654.
- Toklo, P.M., K.P. Challaton, M.F. Assogba, G.-C.A. Akakpo, A.H. Kifouly, G.G. Alowanou, S. Hounzangbe-Adote, E.C. Yayi, J.D. Gbenou. 2023. Phytochemical screening, in vitro and in vivo effects of an aqueous extract of the bark of *Combretum glutinosum* Perr ex DC. (Combretaceae) on gastrointestinal strongyles. *Phytomedicine Plus*. 3(4): 100491. <https://doi.org/10.1016/j.phyflu.2023.100491>
- Tomanić, D., D.D. Božić, N. Kladar, M. Samardžija, J. Apić, J. Baljak, Z. Kovačević. 2024. Clinical evidence on expansion of essential oil-based formulation's pharmacological activity in bovine mastitis treatment: Antifungal potential as added value. *Antibiotics*. 13(7): 575. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13070575>
- Trinchera, M., S. De Gaetano, E. Sole, A. Midiri, S. Silvestro, G. Mancuso, T. Catalano, C. Biondo. 2025. Antimicrobials in livestock farming and resistance: Public health implications. *Antibiotics*. 14(6): 606. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14060606>
- Upadhaya, S.D., I.H. Kim. 2017. Efficacy of phytogenic feed additive on performance, production and health status of monogastric animals: A review. *Annals of Animal Science*. 17(4): 929-948. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0079>
- Walsh, T.R., Y. Wu. 2016. China bans colistin as a feed additive for animals. *The Lancet Infectious Diseases*. 16(10): 1102-1103. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)30329-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)30329-2)
- Wernli, D., S. Harbarth, N. Levrat, D. Pittet. 2022. A whole of United Nations approach to tackle antimicrobial resistance. *BMJ Global Health*. 7(5). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-008181>
- Whitehill, A.R., J.J. Oleson, B.L. Hutchings. 1950. Stimulatory effect of aureomycin on the growth of chicks. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 74(1): 11-13. <https://doi.org/10.3181/00379727-74-17821>
- Windisch, W., K. Schedle, C. Plitzner, A. Kroismayr. 2008. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*. 86(14 Suppl.): E140-E148. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>
- Zhang, F., J. Yang, Q. Zhan, H. Shi, Y. Li, D. Li, X. Yang. 2023. Dietary oregano aqueous extract improves growth performance and intestinal health of broilers through modulating gut microbial compositions. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 14(1): 77. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00857-w>
- Zou, Q., W. Meng, C. Li, T. Wang, D. Li. 2023. Feeding broilers with wheat germ, hops and grape seed extract mixture improves growth performance. *Frontiers in Physiology*. 14: 1144997. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1144997>



# NARANJA DULCE (*CITRUS SINENSIS*):

## EXPLORANDO SU VALOR TERAPÉUTICO Y SU IMPACTO EN LA SALUD

/// MARCELA A. GLORIA-GARZA<sup>1\*</sup>, JORGE YITZHAK HAZEMY GARZA-SILVA<sup>1</sup>, CARLOS CASTILLO-ZACARÍAS<sup>2</sup>, GUADALUPE GUTIÉRREZ-SOTO<sup>3</sup>, JOEL H. ELIZONDO-LUEVANO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Facultad de Odontología. Dr. Eduardo Aguirre Pequeño, Monterrey, C.P. 64460, Nuevo León, México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Ambiental, Ciudad Universitaria S/N, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66455, Mexico.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda el Canadá, Cd. Gral. Escobedo, C.P. 66050, Nuevo León, México.

\*Correspondencia: marcela.gloriagz@uanl.edu.mx (M.A.G.G.)



**Palabras clave:** Medicina tradicional; Potencial terapéutico; Fruto; Cítricos; *Rutaceae*.

**Keywords:** Traditional medicine; Therapeutic potential; Fruit; Citrus fruits; *Rutaceae*.

## Resumen

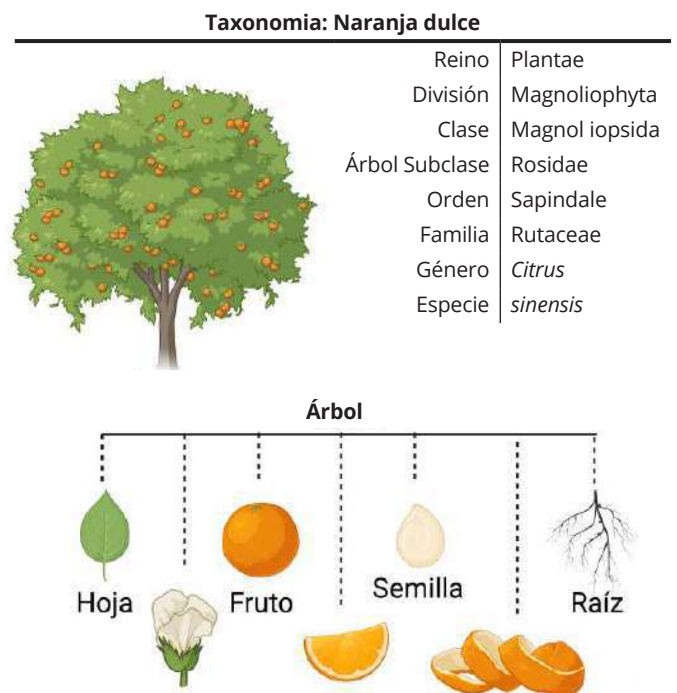
Los frutos cítricos son los cultivos subtropicales más comunes en el mundo; existe una gran cantidad de variación entre las especies y cultivos de cítricos. *Citrus sinensis* (L. Osbeck) o naranja dulce pertenece a la familia *Rutaceae*, es una de las especies de este género cultivado ampliamente, siendo esta variedad la principal fruta producida a nivel mundial. Anualmente se producen más de 80 millones de toneladas de *C. sinensis*, países como China, Brasil, la Unión Europea, México y Estados Unidos son los principales productores. *C. sinensis* se consume en todo el mundo, el consumo anual de naranja por habitante en México es de 36.9 kg. Las principales partes de este fruto utilizadas por su potencial terapéutico son la pulpa, semillas, hojas y cáscara. Esta fruta es rica en fitoquímicos como aceites esenciales, flavonoides, cumarinas, vitaminas y minerales, además son los responsables de una diversa actividad biológica antiinflamatoria, antimicrobiana, antibiopelícula, anticariogénica, antiparasitaria, antifúngica y antioxidante.

## Abstract

Citrus fruits are the most common subtropical crops in the world; there is a great deal of variation among citrus species and cultivars. *Citrus sinensis* (L. Osbeck), or sweet orange, belongs to the *Rutaceae* family and is one of the most widely cultivated species in this genus, with this variety being the main fruit produced globally. More than 80 million tons of *C. sinensis* are produced annually, with countries such as China, Brazil, the European Union, Mexico, and the United States being the main producers. *C. sinensis* is consumed worldwide; the annual per capita consumption of oranges in Mexico is 36.9 kg. The main parts of this fruit used for their therapeutic potential are the pulp, seeds, leaves, and peel. This fruit is rich in phytochemicals such as essential oils, flavonoids, coumarins, vitamins, and minerals, which are responsible for diverse biological activity, including anti-inflammatory, antimicrobial, antibiofilm, anticariogenic, antiparasitic, antifungal, and antioxidant properties.

## Introducción

La fruta, es uno de los alimentos más comunes en todo el mundo (Luo et al., 2023). Los cítricos se encuentran entre las frutas más consumidas mundialmente, por su sabor, su riqueza nutritiva y aroma característicos, se utilizan ampliamente en la industria alimentaria, cosmética, perfumería y farmacéutica (Abou Baker et al., 2022; Czech et al., 2020; Sasi et al., 2021). El género *Citrus* es originario del sudeste asiático, y China lo cultiva desde hace más de 2,400 años (Luo et al., 2023), etimológicamente *Citrus*, proviene del griego, que significa limón; de su nombre popular; *sinensis*, del latín *sinensis-e*, originario de China, pertenece a la familia *Rutaceae* con aproximadamente 1,300 especies (Abou Baker et al., 2022; Lin et al., 2021). *Citrus sinensis* (L. Osbeck) o naranja dulce (Figura 1) es una de las especies de este género cultivado ampliamente en las regiones tropicales y subtropicales, siendo esta variedad la principal fruta producida en todo el mundo (Matuka et al., 2020; Mohammed et al., 2024). Los principales cultivos de importancia comercial son Valencia, Pera, Navel y Hamlin, las naranjas Valencia y Navel son los dos tipos más importantes, representando el mayor grupo de cultivo de cítricos plantados a nivel mundial, con cerca del 70% de la producción anual total de especies de cítricos (Abou Baker et al., 2022; Mohammed et al., 2024).



**Figura 1.** Taxonomía de *C. sinensis* (Matuka et al., 2020)

Anualmente se producen más de 80 millones de toneladas de *C. sinensis*. En enero de 2021 se produjeron alrededor de 48 millones de toneladas de *C. sinensis* en todo el mundo, siendo China, Brasil, la Unión Europea, México y Estados Unidos los principales productores (Dongre et al., 2023). El consumo anual de naranja por habitante en México es de 36.9 kg y su participación en la producción nacional de frutos es de 19.3%. La principal variedad de naranja cultivada es la tipo Valencia. En 2022, esta variedad representó 95.2% de la producción. En México, Veracruz es el principal productor del cítrico con 51.6% de toda la producción nacional. En 2022 se produjeron 4 854 373 toneladas de naranja, de acuerdo con datos del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). La naranja tiene meses de mayor disponibilidad, de febrero a junio su producción es mayor y 70% de las naranjas se corta en el primer semestre del año. En estos meses se tiene la mejor calidad en el mercado, y los mayores volúmenes de exportación. De acuerdo con información del Panorama Agroalimentario 2023, publicado por el SIAP, México es el 4° productor a escala mundial, lo que lo coloca dentro de los cinco países con mayor aporte a la cosecha internacional (Atolani et al., 2020; Profeco, 2023).

*C. sinensis* se consume en todo el mundo, las principales partes de este fruto utilizadas por su potencial terapéutico son la pulpa, semillas, hojas y cáscara. Se caracteriza por presentar múltiples beneficios para la salud, consumida principalmente fresca o en jugo. La naranja dulce es una excelente fuente rica en vitaminas, minerales y fibra dietética, principalmente vitamina C, un poderoso antioxidante natural que fortalece el sistema inmunitario. Se ha utilizado tradicionalmente para tratar diversas afecciones como estreñimiento, calambres, cólicos, diarrea, bronquitis, tuberculosis, tos, resfriado, obesidad, trastornos menstruales, angina de pecho, hipertensión, ansiedad, depresión y estrés, asma, vómitos, fiebre, hipo, para la indigestión y los trastornos respiratorios (Dongre et al., 2023). En los últimos años se ha observado un creciente interés por los cítricos y sus productos, diversos estudios han demostrado que el consumo de cítricos y sus partes comestibles son beneficiosas, desempeñando un papel fundamental contra muchas enfermedades, debido a la presencia de compuestos bioactivos y fitoquímicos que contribuyen a la salud humana (Karki et al., 2024; D. Kumar et al., 2022). Este conocimiento puede servir de base para el desarrollo de aplicaciones específicas, como suplementos dietéticos, alimentos funcionales y productos terapéuticos que contribuyan a la salud general (Czech et al., 2020). El objetivo del presente trabajo es explorar el valor terapéutico de *Citrus. sinensis* (naranja dulce) y su impacto en la salud a través de la revisión de sus principales compuestos bioactivos y su actividad biológica.

## DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

*C. sinensis* es un árbol frutal que crece en regiones tropicales, semitropicales y templadas cálidas, convirtiéndose en el árbol frutal cítrico más cultivado del mundo. El árbol es originario de Asia y se extiende por todo el Pacífico y las áreas cálidas del mundo. Es un árbol de floración perenne que crece hasta 7.5 m, pero que ocasionalmente alcanza alturas de hasta 15 m, consiste en una copa compacta con ramas principalmente espinosas. Las hojas son lisas, de color verde oscuro, de 3 a 5 mm de ancho, 6.5 a 15 cm de largo de diferentes formas, ovaladas o elípticas, contienen abundante aceite irradiando un fuerte olor cítrico característico. Las flores son pequeñas, de color blanco ceroso y fragantes, que son axilares en verticilos de 5 cm de ancho con cinco pétalos blancos y de 20 a 25 estambres amarillos. Los frutos son redondos de color amarillo brillante y naranja, de 4 a 12 cm de diámetro, con una cáscara coriácea de 6 mm de grosor, firmemente adherida, que protege la pulpa interna, la cual está dividida en segmentos formado de gajos que contienen pulpa de color variable, anaranjado y rojo. Los gajos contienen semillas y numerosas células, cubiertas por una cáscara ligeramente rugosa de color anaranjado con interior blanco. La superficie externa de la cáscara de naranja se llama flavedo y la estructura interna blanca y esponjosa se llama albedo. El flavedo contiene bolsas con aceites esenciales (AE) compuestos principalmente de limoneno, mientras que el albedo tiene una estructura espumosa y presenta un alto contenido de pectina. La fruta está cubierta por un tejido similar a la piel llamado endocarpio, compuesto de pulpa y jugo. Las cáscaras son ricas en polisacáridos estructurales y polímeros, incluyendo celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina. También es abundante en azúcares libres como glucosa, fructosa y sacarosa, así como AE y proteínas (Dongre et al., 2023; Matuka et al., 2020).

## COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y BROMATOLÓGICA

La naranja dulce es fuente de ácido ascórbico o vitamina C. Contiene folatos, que contribuyen a la formación normal de las células sanguíneas. Además, las naranjas aportan carotenoides con actividad provitamínica A principalmente  $\beta$ -criptoxantina. También contiene otros carotenoides como la luteína y la zeaxantina. Las naranjas presentan en su composición ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico, que es el más abundante. Además, contienen importantes cantidades de los ácidos hidroxicinámicos, ferúlico, caféico y p-cumárico, con actividad antioxidante. Las naranjas son ricas en flavonoides como la hesperidina, neohesperidina, naringina, narirutina, tangeretina y nobiletina (Profeco, 2023). En la Tabla 1 se muestra la composición nutricional por porción de 100 g por ración.

**Tabla 1. Composición nutricional por porción de 100 g por ración**

|                               | Por 100 g de porción comestible | Por ración (225g) |
|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Energía (Kcal)                | 42                              | 69                |
| Proteínas (g)                 | 0,8                             | 1,3               |
| Lípidos totales (g)           | Tr                              | Tr                |
| AG saturados (g)              | -                               | -                 |
| AG monoinsaturados (g)        | -                               | -                 |
| AG poliinsaturados (g)        | -                               | -                 |
| Colesterol (mg/1000 kcal)     | 0                               | 0                 |
| Hidratos de carbono (g)       | 8,6                             | 14,1              |
| Fibra (g)                     | 2                               | 3,3               |
| Agua (g)                      | 88,6                            | 146               |
| Calcio (mg)                   | 36                              | 59,1              |
| Hierro (mg)                   | 0,3                             | 0,5               |
| Yodo (µg)                     | 2                               | 3,3               |
| Magnesio (mg)                 | 12                              | 19,7              |
| Zinc (mg)                     | 0,18                            | 0,3               |
| Sodio (mg)                    | 3                               | 4,9               |
| Potasio (mg)                  | 200                             | 329               |
| Fósforo (mg)                  | 28                              | 46,0              |
| Selenio (µg)                  | 1                               | 1,6               |
| Tiamina (mg)                  | 0,1                             | 0,16              |
| Rivoflavina (mg)              | 0,03                            | 0,05              |
| Equivalentez niacina (mg)     | 0,3                             | 0,5               |
| Vitamina B <sub>6</sub> (mg)  | 0,06                            | 0,10              |
| Folatos (µg)                  | 37                              | 60,8              |
| Vitamina B <sub>12</sub> (µg) | 0                               | 0                 |
| Vitamina C (mg)               | 50                              | 82,1              |
| Vitamina A: Eq. Retinol (µg)  | 40                              | 65,7              |
| Vitamina D (µg)               | 0                               | 0                 |
| Vitamina E (mg)               | 0,2                             | 0,3               |

Tr:Trazas.0:Virtualmente ausente en el alimento.—:Dato no disponible



## COMPUESTOS FITOQUÍMICOS *C. SINENSIS*

La composición fitoquímica de *C. sinensis* se ve influenciada por diversos factores, como la especie, variedad, condiciones de crecimiento, estado de maduración, condiciones climáticas y la parte de la fruta. Esta fruta es rica en fitoquímicos presentes en diversas partes de *C. sinensis*, como hojas, semillas, flores, jugo, cáscara y raíz (Karki et al., 2024). Diversas investigaciones han reportado compuestos químicos como aceites esenciales, flavonoides, carbohidratos,

cumarinas, péptidos, ácidos grasos, esteroides, alcanos, hidroxiamidas, carotenoides, carbamatos, vitaminas y alquilaminas. Los hallazgos de estos estudios mostraron que las naranjas son una buena fuente de sustancias químicas que podrían usarse como aditivos funcionales en productos para la salud humana (Figura 2) (Dongre et al., 2023). Los aspectos más destacados de las investigaciones recientes sobre la actividad biológica y el impacto en la salud de los compuestos bioactivos presentes en diferentes partes de *C. sinensis* se resumen en la Tabla 2.

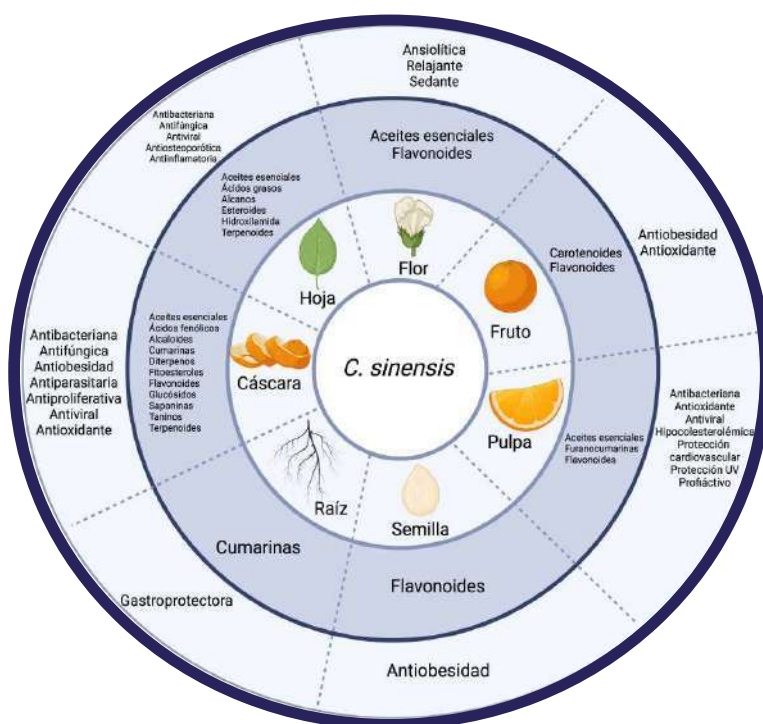


Figura 2. Compuestos bioactivos y actividad biológica de *C. sinensis*.

Tabla 2. Actividad biológica e impacto en la salud de compuestos bioactivos de *C. sinensis*.

| Parte de la planta | Compuesto bioactivo  | Actividad biológica   | Impacto en la salud  | Referencia  |
|--------------------|--|---|--|---|
| Hojas              | Sabineno, Terpinen-4-ol, Limoneno, $\beta$ -elemeno, Linalool, Cumarinas   | Antiinflamatoria<br>Antimicrobiana<br>Antibiopelícula             | Tratamiento contra gastritis y úlcera péptica  | (Matuka et al., 2020; Mohammed et al., 2024)                |
| Zumo               | Flavonoides<br>Potasio<br>Fósforo<br>Manganeso   | Antimicrobiana<br>Anticariogénica                                 | Salud dental y equilibrio hídrico y electrolítico                                    | (Czech et al., 2020; Saha et al., 2023)                     |
| Semilla            | Ácido linoléico y oléico   | Antimicrobiana,<br>Antiparasitaria, Antifúngica,<br>Antioxidante, | Previene estrés oxidativo  | (Atolani et al., 2020)                                      |
| Cáscara            | Hierro<br>Cobre<br>D-limoneno<br>Alcaloides<br>Flavonoides<br>Fenoles<br>Fitoesteroides<br>Diterpenos<br>Taninos<br>Glucósidos<br>Ácido ascórbico<br>Ácido esteárico<br>Linalol<br>Ácido linoleico<br>Ácido palmítico<br>Ácido pentadecílico | Antiinflamatoria<br>Antimicrobiana<br>Antioxidante                | Tratamiento en trastornos en la producción de hemoglobina, previene estrés oxidativo | (Czech et al., 2020; Matuka et al., 2020; Ogo et al., 2024) |

Matuka *et al.* en 2020 realizaron un estudio para determinar el perfil químico de los aceites esenciales extraídos de hojas y cáscaras de *C. sinensis* (L.) Osbeck cultivadas en Sudáfrica y evaluar su potencial antiinflamatorio. Los resultados demostraron que los compuestos mayoritarios en el aceite esencial de hojas frescas fueron sabineno y terpinen-4-ol, mientras que  $\beta$ -elemeno y sabineno se identificaron en el aceite esencial de hojas secas. En los aceites de cáscara fresca y seca, se identificó limoneno como el compuesto más prevalente. Los compuestos bioactivos de los aceites esenciales de la hoja y cáscara seca de *C. sinensis* suprimieron significativamente el edema en la pata trasera de ratas, principalmente a una dosis de 200 mg/kg, lo que indica una buena actividad antiinflamatoria. La abundancia de limoneno en el aceite esencial de cáscara y de  $\beta$ -elemeno y sabineno en el aceite esencial de hoja desempeñó un papel importante en las propiedades antiinflamatorias de *C. sinensis*.

En 2024, Mohammed *et al.* evaluaron el extracto etanol acuoso de hoja de *C. sinensis* y cumarinas aisladas para determinar su efecto antimicrobiano contra *Helicobacter pylori* y su actividad antibiopelícula. Los resultados mostraron que el citopteno inhibió completamente el crecimiento planctónico de *H. pylori*. Además, suprimió completamente la biopelícula de *H. pylori*. El estudio demostró que las hojas de *C. sinensis* son una buena fuente de cumarinas que pueden actuar como agentes anti-*H. pylori* naturalmente eficaces.

El grupo de Czech *et al.* en 2020 realizaron un estudio para comparar el contenido mineral entre la cáscara y la pulpa de cítricos y determinar cuál, entre la naranja (*Citrus sinensis*), el pomelo (*Citrus maxima*), la mandarina (*Citrus reticulata*), el limón (*Citrus limon*), la lima (*Citrus aurantifolia*) y el pomelo rojo, amarillo o verde (*Citrus paradisi*), era el más rico en minerales. Los resultados de la investigación indicaron que las naranjas y los pomelos son las frutas más ricas en hierro y cobre, por lo que podrían recomendarse en casos como trastornos en la producción de hemoglobina derivados de una deficiencia de estos elementos. Las naranjas también pueden enriquecer el organismo con potasio, fósforo y manganeso, mientras que la lima puede ser una fuente de calcio, zinc, sodio y, especialmente, potasio. Destacando que todos los cítricos son una fuente muy valiosa de potasio, necesario para asegurar el equilibrio hídrico y electrolítico.

Saha *et al.* en 2023 evaluaron las propiedades antibacterianas de los extractos industriales de residuos de naranja dulce. Los resultados obtenidos mostraron actividad antibacteriana contra los patógenos cariogénicos dentales *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus casei*. Al evaluarse en un modelo de

biopelícula oral de dos especies durante 7 días, los extractos industriales de residuos de naranja dulce redujeron el recuento de bacterias viables de forma dosis-dependiente y demostraron fuertes efectos sinérgicos al combinarse con el antiséptico clorhexidina. Los flavonoides cítricos contribuyeron de forma diferente a estos efectos, ya que las flavonas (nobiletina, tangeretina y sinensetina) mostraron menor actividad en comparación con las flavanonas hesperidina y narirutina.

En 2020, Atolani *et al.* elaboraron una preparación ecológica de jabones medicinales sin aditivos sintéticos a partir de aceite de semilla tropical de *C. sinensis* y algunos aditivos naturales como miel natural, extracto de hojas de *Ocimum gratissimum*, aceite de semilla de *Moringa oleifera* y aceite de coco. La incorporación de miel y extracto de hoja de *O. gratissimum* proporcionó propiedades antimicrobianas, antioxidantes y de fragancia adicionales. En esta investigación encontraron que los ácidos linoléico y oléico fueron los más prominentes en el aceite de semilla de *C. sinensis*. Las muestras de jabón registraron la mayor actividad antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* y *Bacillus subtilis*, así como una notable actividad antifúngica contra *Penicillium notatum* y *Candida albicans*. Además, el aceite mostró una actividad antiparasitaria moderada contra *Toxoplasma gondii* y actividad antioxidante.

El grupo de Ogo *et al.* en 2020 realizaron un análisis fitoquímico y de actividad antioxidante de tres variedades de cítricos comúnmente cultivadas: *Citrus sinensis* "valencia", *Citrus sinensis* "washinton" y *Citrus sinensis* "thompson navel". Los resultados mostraron que los extractos de cáscara de *C. sinensis* contienen alcaloides, flavonoides, fenoles, fitoesteroles, diterpenos, taninos y glucósidos. Se identificaron compuestos bioactivos predominantes como limoneno, ácido ascórbico, ácido esteárico, linalol, ácido linoleico, ácido palmítico y ácido pentadecílico. Los investigadores concluyeron que las cáscaras de cítricos son ricas en compuestos bioactivos con una excelente actividad antioxidante y pueden servir como fuentes potenciales de antioxidantes naturales para productos alimenticios o formulaciones farmacéuticas.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

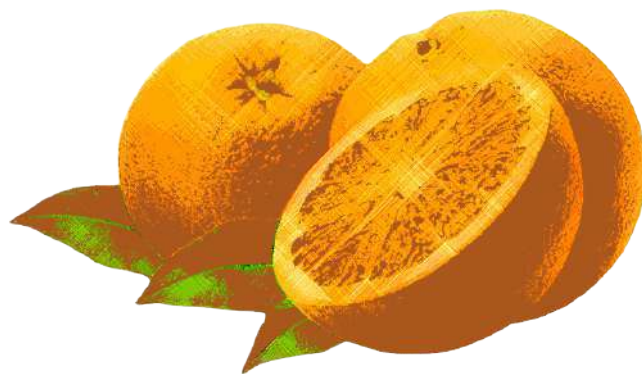
Los cítricos se encuentran entre los principales cultivos frutales y desempeñan un papel importante en la contribución a la economía del país. El género citrus pertenece a la familia de las *Rutaceae* siendo *C. sinensis* el más importante (M. Kumar *et al.*, 2021). Estudios recientes confirman la presencia de compuesto bioactivos como aceites esenciales,

alcaloides, cumarinas, diterpenos, fitoesteroles, flavonoides, saponinas, taninos y terpenoides, con una diversa actividad biológica como antiinflamatoria, antimicrobiana, antibiopelícula, anticariogénica, antiparasitaria, antifúngica y antioxidante. La literatura basada en evidencia demuestra claramente que las naranjas son una fuente única y valiosa de compuestos bioactivos que podrían tener un buen potencial para su incorporación a la alimentación humana y ser prometedoras para el manejo de afecciones de salud leves y mortales. Además, se necesitan más investigaciones para explorar

los beneficios reales e invisibles de los extractos obtenidos de *C. sinensis* que puedan abrir las posibilidades de encontrar nuevos medicamentos de aplicación médica y odontológica, clínicamente seguros y efectivos.

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por su apoyo para la realización de este proyecto.





- Abdelazem, R., H. Hefnawy, G. El-Shorbagy. 2021. Chemical composition and phytochemical screening of *Citrus sinensis* (orange) peels. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 48 (3): 793-804. <https://doi.org/10.21608/zjar.2021.191315>
- Abou Baker, D.H., B.M.M. Ibrahim, Y. Abdel-Latif, N.S. Hassan, E.M. Hassan, S. El Gengaihi. 2022. Biochemical and pharmacological prospects of *Citrus sinensis* peel. *Heliyon*. 8 (8): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09979>
- Atolani, O., N. Adamu, O.S. Oguntoye, M.F. Zubair, O.A. Fabiyi, R.A. Oyegoke, O.S. Adeyemi, E.T. Areh, D.E. Tarigha, L. Kambizi, G.A. Olatunji. 2020. Chemical characterization, antioxidant, cytotoxicity, Anti-Toxoplasma gondii and antimicrobial potentials of the *Citrus sinensis* seed oil for sustainable cosmeceutical production. *Heliyon*. 6 (2): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03399>
- Czech, A., E. Zarycka, D. Yanovych, Z. Zasadna, I. Grzegorzczak, S. Kłys. 2020. Mineral Content of the Pulp and Peel of Various Citrus Fruit Cultivars. *Biological Trace Element Research*. 193 (2): 555-563. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01727-1>
- Dongre, P., C. Doifode, S. Choudhary, N. Sharma. 2023. Botanical description, chemical composition, traditional uses and pharmacology of *Citrus sinensis*: An updated review. *Pharmacological Research-Modern Chinese Medicine*. 8: 100272. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100272>
- Guo, X., W. Luo, L. Wu, Z. Zhang, Y. Chen, T. Li, H. Li, W. Zhang, Y. Liu, J. Zheng, Y. Wang. 2024. Natural Products from Herbal Medicine Self-Assemble into Advanced Bioactive Materials. *Advanced Science*. 11 (35): 2403388. <https://doi.org/10.1002/advs.202403388>
- Karki, N., H. Achhami, B.B. Pachhai, S. Bhattarai, D.K. Shahi, L.R. Bhatt, M.K. Joshi. 2024. Evaluating citrus juice: A comparative study of physicochemical, nutraceutical, antioxidant, and antimicrobial properties of citrus juices from Nepal. *Heliyon*. 10 (23): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40773>
- Kumar, D., M.S. Ladaniya, M. Gurjar, S. Kumar. 2022. Impact of drying methods on natural antioxidants, phenols and flavanones of immature dropped *Citrus sinensis* L. Osbeck fruits. *Scientific Reports*. 12 (1): 6684. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10661-7>
- Kumar, M., S. Prakash, Radha, N. Kumari, A. Pundir, S. Punia, V. Saurabh, P. Choudhary, S. Changan, S. Dhumal, P.C. Pradhan, O. Alajil, S. Singh, N. Sharma, T. Ilakiya, S. Singh, M. Mekhemar. 2021. Beneficial role of antioxidant secondary metabolites from medicinal plants in maintaining oral health. *Antioxidants*. 10 (7): 1061. <https://doi.org/10.3390/antiox10071061>
- Lin, X., S. Cao, J. Sun, D. Lu, B. Zhong, J. Chun. 2021. The chemical compositions, and antibacterial and antioxidant activities of four types of citrus essential oils. *Molecules*. 26 (11): 3412. <https://doi.org/10.3390/molecules26113412>
- Luo, J., H. Yuan, L. Mao, J. Wu, S. Jiang, Y. Yang, Y. Fu, L. Liu, S. Chen, W. Wang. 2023. The young fruit of *Citrus aurantium* L. or *Citrus sinensis* Osbeck as a natural health food: A deep insight into the scientific evidence of its health benefits. *Arabian Journal of Chemistry*. 16 (5): 104681. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104681>
- Matuka, T., O. Oyedeji, M. Gondwe, A. Oyedeji. 2020. Chemical composition and In vivo Anti-inflammatory Activity of Essential Oils from *Citrus sinensis* (L.) Osbeck growing in South Africa. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*. 23 (4): 638-647. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1819885>
- Mickky, B., H. Elsaka, M. Abbas, A. Gebreil, R.S. Eldeen. 2024. Plackett-Burman screening of physico-chemical variables affecting Citrus peel-mediated synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial activity. *Scientific Reports*. 14 (1): 8079. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58102-x>
- Mohammadi-Sichani, M., V. Karbasizadeh, S.C. Dokhaharani. 2016. Evaluation of biofilm removal activity of *Quercus infectoria* galls against *Streptococcus mutans*. *Dental Research Journal*. 13 (1): 46-51. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.174708>
- Mohammed, H.S., M.H. Ibrahim, M.M. Abdel-Aziz, M.A. Ghareeb. 2024. Anti *Helicobacter pylori*, anti-biofilm activity, and molecular docking study of citropten, bergapten, and its positional isomer isolated from *Citrus sinensis* L. leaves. *Heliyon*. 10 (3): e25232. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25232>
- Ogo, O., N. Hembafan, R. Amokaha, O. Jeremiah, B. Inalegwu. 2024. Characterization and antioxidant activity of peel extracts from three varieties of *Citrus sinensis*. *Heliyon*. 10 (7): e28456. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28456>
- Saha, S., T. Do, J. Maycock, S. Wood, C. Boesch. 2023. Antibiofilm Efficacies of Flavonoid-Rich Sweet Orange Waste Extract against Dual-Species Biofilms. *Pathogens*. 12 (5): 657. <https://doi.org/10.3390/pathogens12050657>
- Samtiya, M., R.E. Aluko, T. Dhewa, J.M. Moreno-Rojas. 2021. Potential health benefits of plant food-derived bioactive components: An overview. *Foods*. 10 (4): 839. <https://doi.org/10.3390/foods10040839>
- Sasi, M., S. Kumar, M. Kumar, S. Thapa, U. Prajapati, Y. Tak, S. Changan, V. Saurabh, S. Kumari, A. Kumar, M. Hasan, D. Chandran, Radha, S.P. Bangar, S. Dhumal, M. Senapathy, A. Thiyagarajan, A. Alhariri, A. Dey, M. Mekhemar. 2021. Garlic (*Allium sativum* L.) bioactives and its role in alleviating oral pathologies. *Antioxidants*. 10 (11): 1847. <https://doi.org/10.3390/antiox10111847>
- Shetty, S.B., P. Mahin-Syed-Ismael, S. Varghese, B. Thomas-George, P. Kandathil-Thajuraj, D. Baby, S. Haleem, S. Sreedhar, D. Devang-Divakar. 2016. Antimicrobial effects of Citrus sinensis peel extracts against dental caries bacteria: An in vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 8 (1): e71-e77. <https://doi.org/10.4317/jced.52493>



# LOS INVISIBLES DEL MAR:



# EL ROL ECOLÓGICO DEL PÓLIPO EN LAS FLORACIONES DE MEDUSAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

/// MARCOS PORCHAS-QUIJADA<sup>1</sup>, JUANA LÓPEZ-MARTÍNEZ<sup>1</sup> &  
\*CINTYA A. NEVÁREZ-LÓPEZ<sup>2</sup>

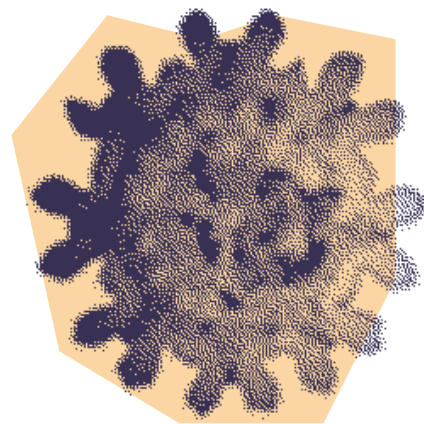
<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas, Km. 2.35 Carretera a las Tinajas S/N Col. Tinajas, Guaymas, Sonora, México. CP 85460.

<sup>2</sup> Laboratorio de Pesquerías. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas. Estero de Bacochibampo, Km. 2.35 Camino al Tular, Guaymas - Hermosillo 349, Sin Nombre, 85400 Guaymas, Son.

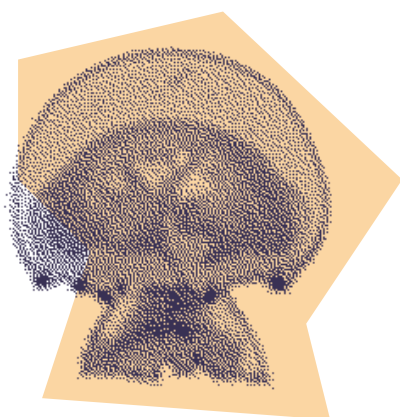
\* Autor para correspondencia: [cnevarez@cibnor.mx](mailto:cnevarez@cibnor.mx)

## RESUMEN

Las medusas han aparecido con mayor frecuencia en grandes cantidades desde la década de 1990, con reportes particularmente frecuentes en los años 2000 y 2010, afectando ecosistemas marinos, actividades pesqueras, turismo y hasta plantas de energía. Si bien la atención suele centrarse en la medusa, este artículo destaca el papel poco conocido del pólipo, una fase del ciclo de vida que ocurre en el fondo marino. El pólipo es clave porque, bajo ciertas condiciones ambientales como la temperatura, la luz o la disponibilidad de alimento, puede multiplicarse y dar origen a nuevas medusas. En el contexto del cambio climático, entender cómo funciona esta fase ayuda a predecir futuras floraciones y a diseñar mejores estrategias para monitorear y gestionar los ecosistemas costeros.



## ABSTRACT



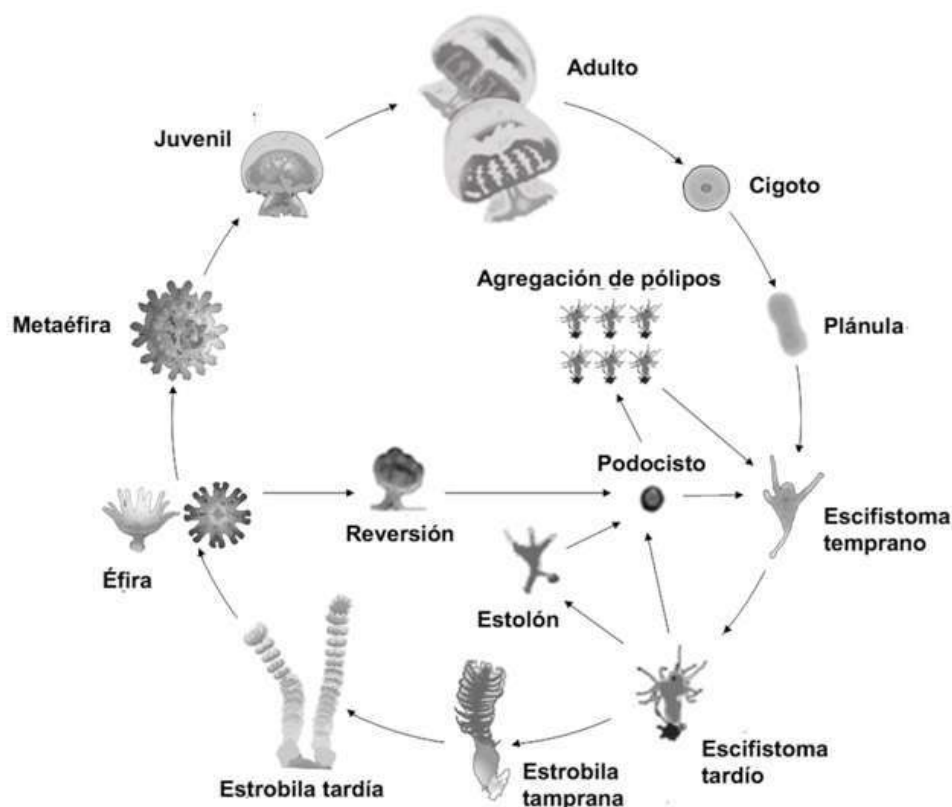
Jellyfish have appeared more frequently in large numbers since the 1990s, with particularly frequent reports during the 2000s and 2010s, affecting marine ecosystems, fisheries, tourism, and even power plants. While most attention is usually given to the medusa stage, this article highlights the lesser-known role of the polyp, a life stage that occurs on the seafloor. The polyp is crucial because, under certain environmental conditions such as temperature, light, or food availability, it can multiply and give rise to new jellyfish. In the context of climate change, understanding how this stage functions helps predict future blooms and supports the design of better strategies to monitor and manage coastal ecosystems.



**PALABRAS CLAVE:** ciclo de vida, estrobilación, pólipo, proliferación de medusas, temperatura ambiental.

**KEY WORDS:** environmental temperature, jellyfish blooms, life cycle, polyp, strobilation.





**Figura 1.-** Ciclo de vida de la medusa bola de cañón *Stomolophus* sp.2. Fuente: Tomado de: (López-Martínez et al. 2023).

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha documentado un incremento en la frecuencia de floraciones de medusas. Entre las causas más relevantes se encuentran el calentamiento del océano, la eutrofización de cuerpos costeros, la sobrepesca y la proliferación de estructuras artificiales sumergidas, que de forma conjunta favorecen la supervivencia y multiplicación de estas especies, incluyendo su fase bentónica o pólipo (Liu *et al.*, 2008).

Estos eventos han dejado de ser fenómenos esporádicos para convertirse en indicadores visibles de alteraciones ecológicas. Su impacto va más allá del ambiente: afectan a la pesca y la acuicultura, inciden en el turismo costero y pueden interferir con la operación de plantas de energía al bloquear tomas de agua de refrigeración (Zang *et al.*, 2022).

Los escifozoos (Clase Scyphozoa) son cnidarios conocidos como medusas verdaderas; poseen células urticantes (cnidocitos) y un ciclo de vida con una fase medusa dominante y una fase pólipo pequeña y sésil. La mayoría de las investigaciones y del interés mediático se centran en la medusa en su fase pelágica (visible, gelatinosa y nadadora, en la columna de agua). Sin embargo, esta es solo una de las fases del complejo ciclo de vida de los escifozoos. La fase bentónica (el pólipo, en el fondo) suele pasar desapercibida tanto en estudios científicos como en programas de monitoreo costero. Esta omisión es significativa, ya que se ha demostrado

que el pólipo juega un papel crucial en la regeneración poblacional a través de procesos de reproducción asexual, como la brotación o la estrobilación (Wang *et al.*, 2023; Loveridge *et al.*, 2024).

El pólipo, anclado al sustrato marino, es una etapa longeva, resistente y altamente plástica, capaz de responder a cambios ambientales con una variedad de estrategias fisiológicas. Factores como la temperatura, la intensidad lumínica, la salinidad y la disponibilidad de alimento modulan su supervivencia y capacidad reproductiva. En contextos de cambio climático, incluso pequeñas variaciones en la temperatura estacional pueden alterar la sincronía y magnitud de las floraciones posteriores (Liu *et al.*, 2008; Loveridge *et al.*, 2024).

Este artículo tiene como objetivo mostrar la importancia del pólipo como regulador oculto de las floraciones de medusas, explorando su biología, su sensibilidad ecofisiológica y las implicaciones que esto tiene para la gestión costera en un escenario de cambio climático.

## CICLO DE VIDA DE LAS MEDUSAS: EL PAPEL CENTRAL DEL PÓLIPO

Las medusas escifozoos presentan un ciclo de vida complejo y fascinante, conocido como ciclo metagenético, en el que se alternan fases sexuales y asexuales (Liu *et al.*, 2008). La forma más conocida es la medusa adulta, de vida libre y aspecto gelatinoso, que representa la etapa sexual. Sin embargo, el ciclo

comienza cuando la medusa libera gametos al medio, produciendo una larva nadadora llamada plánula. Esta larva se asienta en un sustrato adecuado del fondo marino y se transforma en un pólipo, marcando el inicio de la fase bentónica del ciclo (López-Martínez *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023).

El pólipo, a diferencia de la medusa, es sésil, de forma cilíndrica y puede reproducirse de forma asexual mediante brotación o estrobilación. La brotación permite la formación de nuevos pólipos, mientras que la estrobilación da lugar a la producción de pequeñas medusas juveniles llamadas éfiras. Este proceso se da a través de una segmentación transversal del pólipo que origina múltiples éfiras, las cuales crecerán hasta convertirse en medusas adultas (Liu *et al.*, 2008; Treible y Condon, 2019). Un solo pólipo puede producir más de una docena de éfiras en un solo evento reproductivo (Zang *et al.*, 2022), o bien mantener una fase latente hasta que las condiciones ambientales se tornen favorables.

Esta capacidad del pólipo de multiplicarse y dar origen a varias medusas en diferentes momentos le otorga un rol ecológico crucial. A diferencia de las medusas adultas, cuyo ciclo de vida puede durar semanas o meses, los pólipos pueden vivir durante años adheridos a estructuras sumergidas, rocas o sustratos artificiales, como muelles y pilotes (López-Martínez *et al.*, 2023). Esta longevidad representa una memoria ecológica que permite a las poblaciones responder rápidamente ante señales ambientales. En diversos sistemas costeros, se han documentado brotes masivos de medusas vinculados a la supervivencia prolongada de pólipos y su capacidad de estrobar repetidamente bajo condiciones favorables, con consecuencias significativas sobre las redes tróficas (Graham *et al.*, 2003; Pauly *et al.*, 2008).

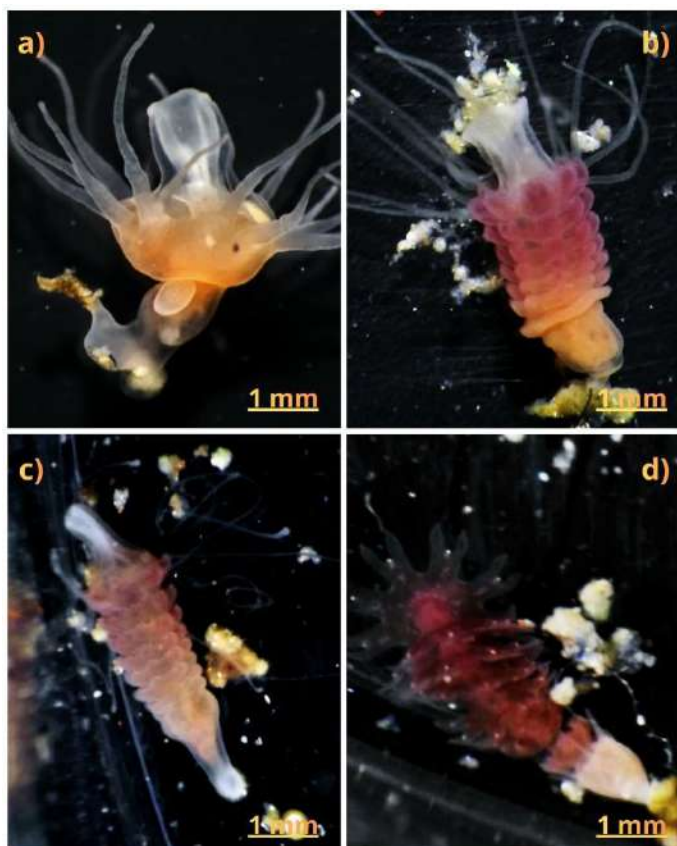
Además, los pólipos presentan una notable plasticidad fenotípica que les permite sobrevivir a condiciones desfavorables mediante estrategias como la formación de podocistos (estructuras latentes de resistencia; descritos en *Aurelia* spp., ver Liu *et al.*, 2008; Treible y Condon, 2019) o, en algunos casos, la reversión de las éfiras a pólipos (documentada como probable reversión del ciclo en *Stomolophus* sp. 2: López-Martínez *et al.*, 2023). Estas capacidades confieren al pólipo un papel resiliente y estratégico en ambientes costeros variables y bajo presión climática.

La transición del pólipo a la fase medusa no ocurre de manera automática. Está regulada por condiciones ambientales específicas, entre ellas la temperatura del agua, el fotoperiodo, la disponibilidad de alimento y, posiblemente, señales químicas del entorno (Treible y Condon, 2019). Por ejemplo, en regiones templadas, un descenso térmico invernal seguido de un aumento de temperatura en primavera puede activar la estrobilación, desencadenando la liberación de las éfiras (Zang *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023).

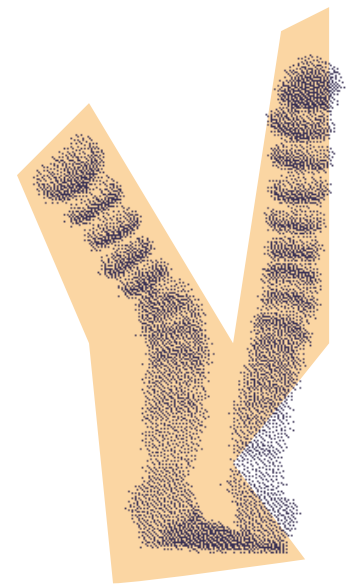
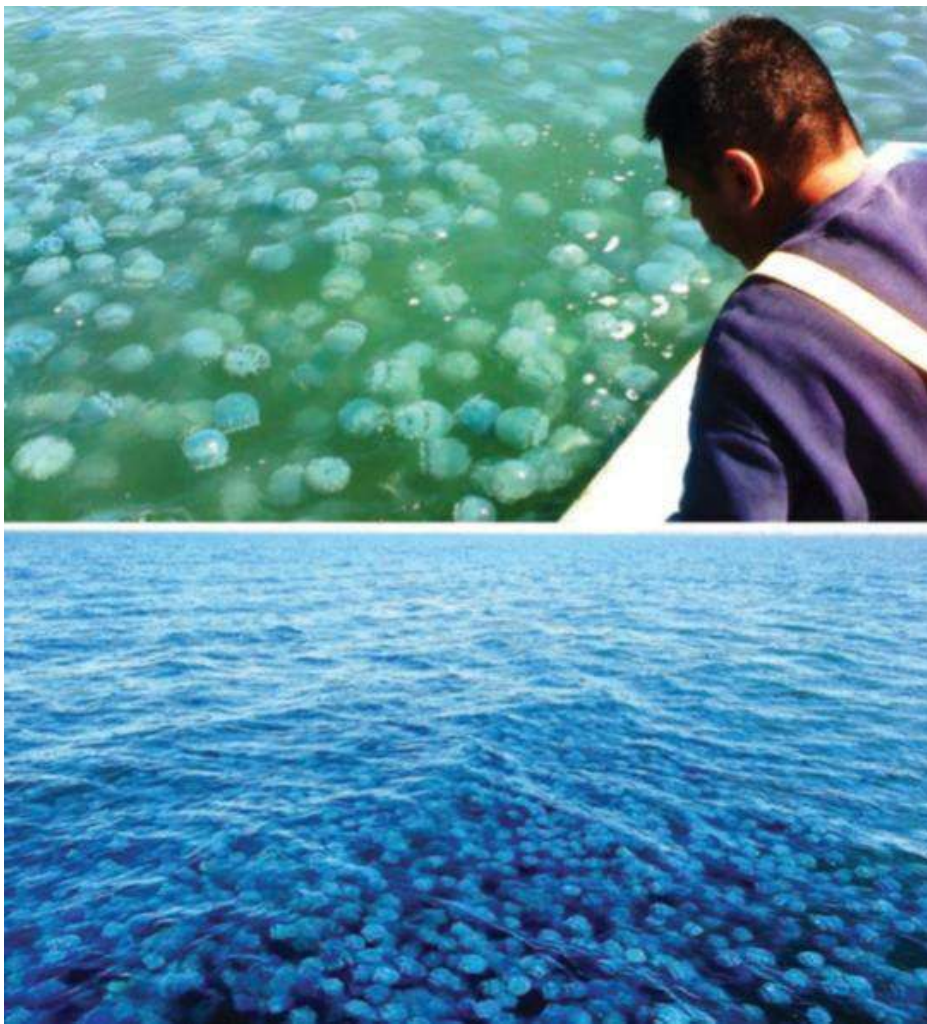
## EL PÓLIPO COMO SENSOR AMBIENTAL

Los pólipos de medusas escifozoos son fisiológicamente dinámicos, capaces de responder a variaciones ambientales mediante ajustes en su reproducción, desarrollo o supervivencia. Esta sensibilidad ecofisiológica convierte al pólipo en un sensor biológico clave para interpretar los efectos del cambio ambiental en ecosistemas costeros (Liu *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2023). En condiciones óptimas, los pólipos pueden reproducirse asexualmente de forma continua, pero bajo estrés ambiental, su actividad reproductiva puede reducirse o incluso cesar por completo.

Entre los múltiples factores que afectan al pólipo, la temperatura es sin duda el más influyente. Distintos



**Figura 2.** Proceso de estrobilación en pólipos de medusa bola de cañón: (a) pólipo en estado vegetativo, con tentáculos extendidos y disco oral funcional; (b) inicio del proceso de estrobilación, evidenciado por la segmentación del cuerpo oral; (c) estróbila en fase tardía, con formación visible de surcos de segmentación y diferenciación cefálica; (d) estróbila madura, lista para la liberación de éfiras. Las imágenes muestran el desarrollo asexual por estrobilación, un mecanismo clave en la proliferación de medusas.



**Figura 3.** Floración masiva de medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*) en aguas del Golfo de California. Fuente: Tomado de (López-Martínez *et al.*, 2018).

estudios han mostrado que existen rangos térmicos específicos que favorecen la estrobilación, mientras que temperaturas por encima o por debajo de esos umbrales pueden inhibir la estrobilación o inducir mortalidad (Treible y Condon, 2019; Loveridge *et al.*, 2024). Por ejemplo, en poblaciones de regiones templadas, una secuencia térmica invernal seguida de un aumento gradual en primavera puede activar la liberación de las éfiras. Sin embargo, en ambientes tropicales o subtropicales, como en ciertas costas del Pacífico mexicano, el aumento constante de temperatura puede superar los límites fisiológicos del pólipo, disminuyendo su tasa reproductiva o promoviendo la formación de estructuras de resistencia como podocistos (López-Martínez *et al.*, 2023).

La disponibilidad de alimento también juega un papel determinante. La reproducción asexual requiere reservas energéticas adecuadas, por lo que condiciones de inanición prolongada pueden suprimir por completo la estrobilación (Zang *et al.*, 2022). Este efecto es especialmente importante cuando se considera en conjunto con la temperatura: el estrés combinado por calor y escasez de alimento puede tener efectos sinérgicos negativos sobre la población bentónica.

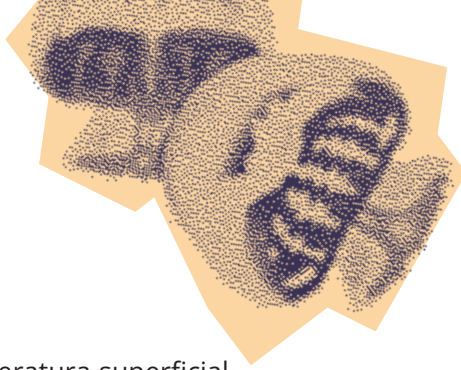
Otros factores relevantes incluyen la salinidad y el fotoperiodo. Cambios abruptos en la salinidad pueden afectar la viabilidad larval y la fijación del

pólipo, mientras que la duración del día puede actuar como señal estacional para iniciar o inhibir procesos reproductivos (Chi *et al.*, 2022). La integración de estos factores modula la dinámica temporal de la fase bentónica, haciendo que su comportamiento varíe según el contexto ecológico.

Frente a condiciones adversas, los pólipos pueden reducir su tamaño, formar estructuras de resistencia (por ejemplo, podocistos) o incluso revertir la diferenciación de las éfiras a pólipos (López-Martínez *et al.*, 2023; Loveridge *et al.*, 2024). Esta flexibilidad funcional favorece la persistencia de las poblaciones en ambientes fluctuantes o degradados y, cuando el entorno mejora, facilita la rápida producción de medusas y la eventual ocurrencia de floraciones.

### FLORACIONES DE MEDUSAS EN UN MUNDO MÁS CÁLIDO

En las últimas décadas, numerosos estudios han reportado un aumento en la frecuencia, duración e intensidad de floraciones de medusas a escala global. Si bien estos eventos pueden ser parte de dinámicas naturales interanuales, existe consenso creciente sobre el papel del cambio climático como factor amplificador, especialmente por su influencia sobre las fases tempranas del ciclo de vida, como el pólipo (Wang, 2014; Pitt *et al.*, 2018).



El incremento sostenido de la temperatura superficial del mar modifica los umbrales fisiológicos que regulan la estrobilación. En zonas templadas, esto puede resultar en una prolongación de las ventanas de reproducción asexual y, por tanto, en una producción mayor y más temprana de las éfiras (Treible y Condon, 2019; Zang *et al.*, 2022). Por otro lado, en regiones tropicales y subtropicales, el estrés térmico puede activar mecanismos de resistencia o forzar la sincronización masiva de estrobilación, generando pulsos de medusas que exceden la capacidad del ecosistema para amortiguarlos (López-Martínez *et al.*, 2023).

Además del aumento térmico, el cambio climático intensifica fenómenos de estratificación, hipoxia y acidificación, que favorecen indirectamente a las medusas frente a otros invertebrados y peces pelágicos más sensibles (Wang, 2014; Pitt *et al.*, 2018). Estos efectos se ven potenciados por presiones de actividades humanas, como la sobrepesca, que reducen las poblaciones de depredadores y competidores, desequilibrando las redes tróficas a favor de organismos oportunistas como las medusas (Pauly *et al.*, 2008).

El pólipo, con su capacidad de permanecer en estado latente durante años y responder rápidamente a señales ambientales favorables, actúa como una reserva biológica que permite la explosión de poblaciones en momentos propicios. Este comportamiento confiere a las medusas una ventaja adaptativa en ecosistemas alterados. Estudios documentan floraciones masivas de la medusa morada *Phyllorhiza punctata* en el golfo de México, atribuibles a la combinación de condiciones oceanográficas anómalas y actividades humanas (Graham *et al.*, 2003).

Las consecuencias ecológicas son múltiples, desde la depredación de huevos y larvas de peces, la competencia por zooplancton, hasta el colapso de pesquerías locales (Graham *et al.*, 2003; Pauly *et al.*, 2008). Además, las floraciones pueden causar obstrucciones en plantas de energía, afectaciones al turismo y daños a la acuicultura (Pitt *et al.*, 2018).

Así, el cambio climático no solo altera los parámetros ambientales, sino que reestructura profundamente las condiciones ecológicas que permiten la proliferación de medusas. Comprender el rol del pólipo en este contexto es clave para anticipar los escenarios futuros de dominancia gelatinosa en ecosistemas costeros.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Este manuscrito se centra en los escifozoos (Clase Scyphozoa) y destaca la función ecológica del pólipo como etapa clave en su ciclo de vida. Esta fase bentónica, a menudo invisible para el ojo humano y ausente en el monitoreo marino convencional, actúa como núcleo de las floraciones masivas que, bajo ciertas condiciones ambientales, pueden alterar el equilibrio ecológico de ecosistemas costeros y marinos. Cabe precisar que esta afirmación aplica a Scyphozoa; en otros linajes de Medusozoa (por ejemplo, Hydrozoa, Cubozoa, Staurozoa) el papel del pólipo y/o la presencia de la fase medusa difieren sustancialmente.

Se ha demostrado científicamente que el aumento de la temperatura, la variabilidad estacional, la alteración de hábitats y la presión por actividades humanas sobre las redes tróficas favorecen la reproducción asexual y la supervivencia del pólipo. El pólipo no es una fase pasiva: actúa como una reserva reproductiva capaz de activarse tras largos periodos de latencia, en respuesta a cambios del entorno. Esta capacidad de persistencia y activación diferida transforma al pólipo en un actor central en la expansión poblacional de medusas ante el cambio climático.

Estos hallazgos tienen implicaciones directas para la gestión costera. Aunque el monitoreo de pólipos en ambientes naturales sigue siendo un desafío debido a su tamaño diminuto, su inclusión en estrategias de investigación puede ofrecer pistas valiosas sobre la dinámica futura de las medusas. En particular, estudios de pólipos adheridos a estructuras artificiales como muelles, boyas o pilotes podrían facilitar su detección y evaluación.

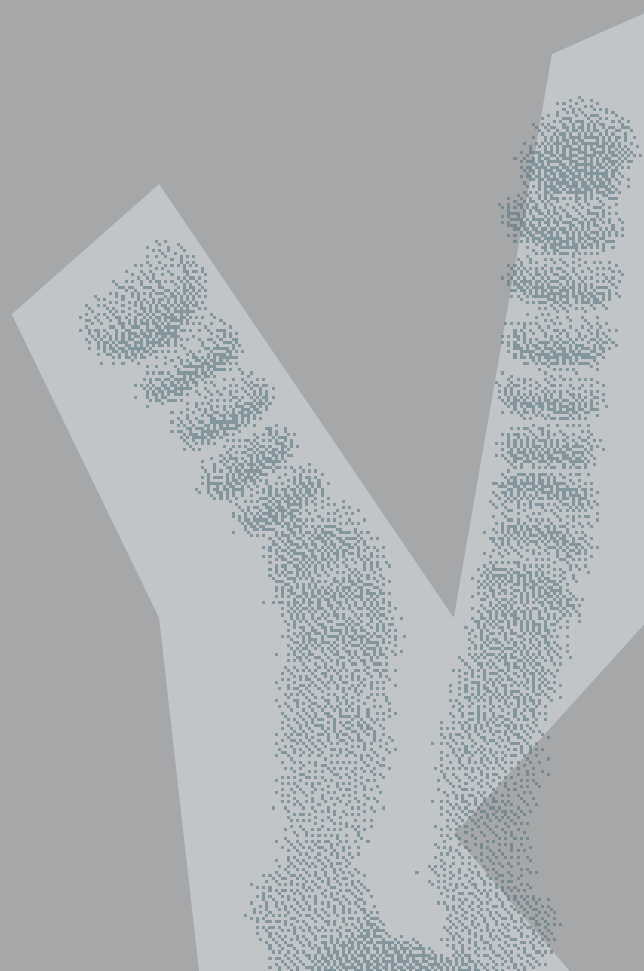
Finalmente, se plantea una línea clara para futuras investigaciones, aumentando la necesidad de estudios en campo sobre la distribución, densidad y fisiología de los pólipos. Particularmente en regiones tropicales y subtropicales donde la evidencia aún es limitada. Estudiar el pólipo permite entender los mecanismos que controlan la proliferación de medusas en los océanos actuales.

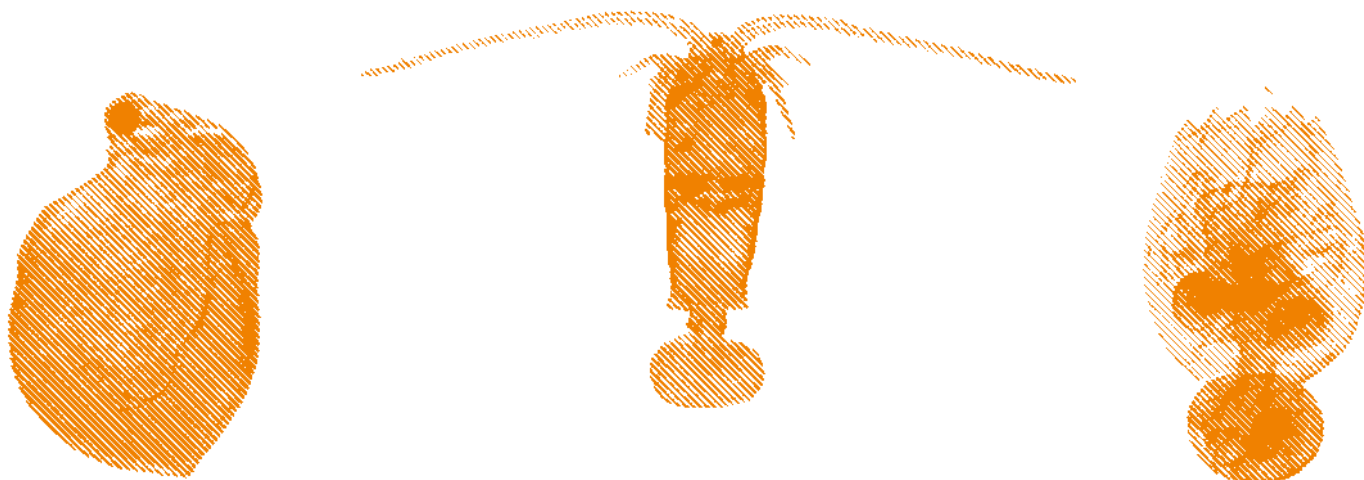
## AGRADECIMIENTOS

Se agradecen a dos árbitros anónimos los comentarios y correcciones realizadas, que mejoraron la versión final de este artículo.



- Chi, X., D.C. Müller-Navarra, S. Hylander, U. Sommer, J. Javidpour. 2022. Transgenerational effects and temperature variation alter life history traits of the moon jellyfish. *Frontiers in Marine Science*. 9: 913654. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.913654>
- Graham, W.M., D.L. Martin, D.L. Felder, V.L. Asper, H.M. Perry. 2003. Ecological and economic implications of a tropical jellyfish invader in the Gulf of Mexico. *Biological Invasions*. 5(1-2): 53-69. <https://doi.org/10.1023/A:1024046707234>
- Liu, W., W. Lo, J.E. Purcell. 2008. Sensitivity of polyps of *Aurelia* sp. (Cnidaria, Scyphozoa) to environmental conditions. *Hydrobiologia*. 616: 279-289. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9597-4>
- Loveridge, A.J., L.E. Holman, K.A. Pitt. 2024. Transgenerational effects and temperature variation alter life-history traits of the moon jellyfish. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 104(e26): 1-10. <https://doi.org/10.1017/S0025315424000468>
- López-Martínez, J., M.A. Porchas-Cornejo, C.A. Nevárez-López, A. Muhlia-Almazán, K.V. Urías-Padilla. 2023. Multiple reproduction forms in the polyps of the cannonball jellyfish *Stomolophus* sp. 2: Probable life-cycle reversal. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*. 339(3): 239-252. <https://doi.org/10.1002/jez.2673>
- Pauly, D., W. Graham, S. Libralato, L. Morissette, M.L.D. Palomares. 2008. Jellyfish in ecosystems, online databases, and ecosystem models. *Hydrobiologia*. 616: 67-85. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9583-x>
- Pitt, K.A., D.T. Welsh, R.H. Condon, C.H. Lucas, B. Stewart-Koster. 2018. Climate change and jellyfish: Insights from physiological and ecological studies. *Biological Reviews*. 93(1): 74-96. <https://doi.org/10.1111/brv.12352>
- Treible, L.M., R.H. Condon. 2019. Effects of temperature and prey concentration on asexual reproduction and strobilation in *Aurelia aurita*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 518: 151204. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151204>
- Wang, N., Y. Lin, Y. Zang, C. Li. 2023. Environmental regulation of strobilation and asexual reproduction in *Aurelia coerulea*. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 10: 1071518. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1071518>
- Wang, Y.J. 2014. The future of marine invertebrates in face of global climate change. *Journal of Marine Science: Research & Development*. 5(2): e105. <https://doi.org/10.4172/1410-5217.1000e105>
- Zang, Y., Y. Lin, Y. Du, C. Li. 2022. Relationship between asexual reproduction of *Aurelia coerulea* polyps and jellyfish blooms under the influence of temperature dynamics in winter and spring. *Frontiers in Marine Science*. 9: 882387. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.882387>

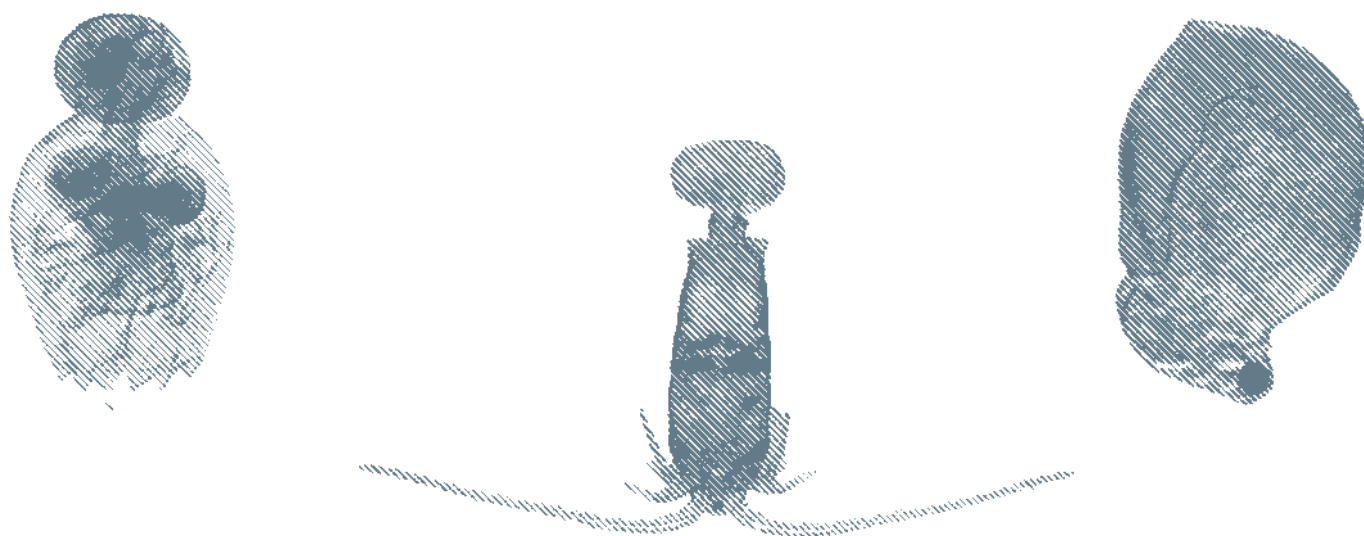




# CRÓNICA DE UNA EXTINCIÓN A LA VISTA.

UNA OPORTUNIDAD PARA HABLAR DE  
LAGOS Y ZOOPLANCTON EN EL ESCENARIO  
ACTUAL

OMAR A. BARRERA MORENO<sup>1,2</sup>



<sup>1</sup>Colección de Vertebrados, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Limnología Tropical, Laboratorio de Biología Evolutiva del Plancton, FES Iztacala, UNAM.



## RESUMEN

Los lagos localizados en la Cuenca Oriental, en el centro del México, son un laboratorio natural que alberga una alta biodiversidad, especialmente de zooplancton, la cual se encuentra amenazada en todos sus niveles por el impacto de las actividades humanas en los cuerpos de agua, como lo demuestra la introducción de especies exóticas, la contaminación y acumulación de desechos, el calentamiento global y la sobreexplotación de recursos. A través de la entrevista a una especialista en Biogeografía de la Conservación y la crónica de un recorrido por estos cuerpos de agua, el presente ensayo trata de visualizar a los lagos mencionados como un modelo de estudio que permita explicar procesos y analizar patrones que ocurren a escalas mayores, considerando lo que se ha denominado la “sexta extinción masiva” y su impacto sobre la biodiversidad y la humanidad en el futuro.

## ABSTRACT

The lakes located in the Oriental Basin, central Mexico, are a natural laboratory that harbors high biodiversity, especially zooplankton, which is threatened at all levels by the impact of human activities on these bodies of water, as evidenced by the introduction of exotic species, pollution and waste accumulation, global warming, and the overexploitation of resources. Through an interview with a specialist in Conservation Biogeography and a chronicle of a journey into these environments, this essay attempts to envision these lakes as a study model that allows us to explain processes and analyze patterns that occur on larger scales. The afore mentioned are relevant regarding the commonly named “sixth mass extinction” and its impact on biodiversity and humankind in the future.



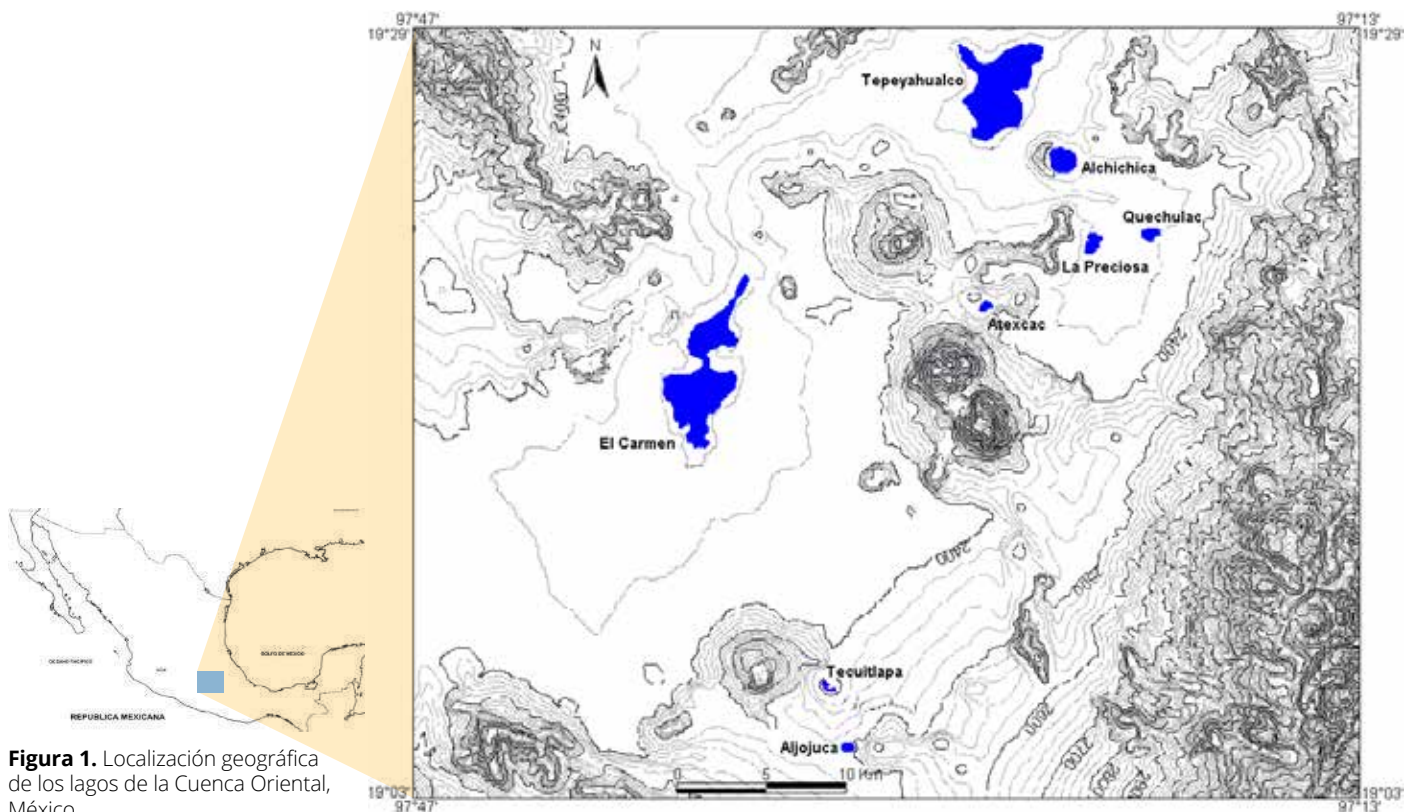
**Palabras clave:** lagos cráter, limnología, microinvertebrados, Cuenca Oriental

**Keywords:** crater lakes, limnology, microinvertebrates, Oriental Basin

**E**s día de trabajo en el campo, salimos de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Iztacala de la UNAM a las siete de la mañana y después de cinco horas en carretera y una escala para comer tacos en San Martín Texmelucan, llegamos a una pequeña playa en el lago Atexcac, localizado en la Cuenca Oriental, la cual comprende parte de Puebla, Tlaxcala y Veracruz (Figura 1). El recorrido hasta aquí incluye una caminata por la ladera de este volcán muerto, subiendo y bajando casi tres kilómetros con quince kilos de equipo a la espalda, aunque yo siento que pesa más pues me tocó cargar la mochila con la lancha inflable. La vista desde la orilla y el color turquesa del agua valen la pena el esfuerzo, pero pensar en el camino de regreso no es algo que todos disfruten, sobre todo con esas nubes negras encima, "este lago tiene un microclima propio" decimos siempre. Atexcac y otros cinco lagos localizados en la cuenca (*i.e.*, Alchichica, Tecuitlapa, Aljojuca, La Preciosa y Quechulac) se conocen como axalapascos, que significa en náhuatl "ollas de barro rellenas de agua", su origen es producto de explosiones ocurridas hace al menos 33 mil años, cuando el líquido del subsuelo y el magma del interior de la Tierra se encontraron violentamente y formaron un cráter que se llenó posteriormente de agua. Imaginar la escena del nacimiento de estos lagos, ahora tan tranquilos y relativamente solitarios, es simplemente espectacular.

Sin embargo, al ver más allá de la belleza escénica, se puede distinguir los principales problemas que

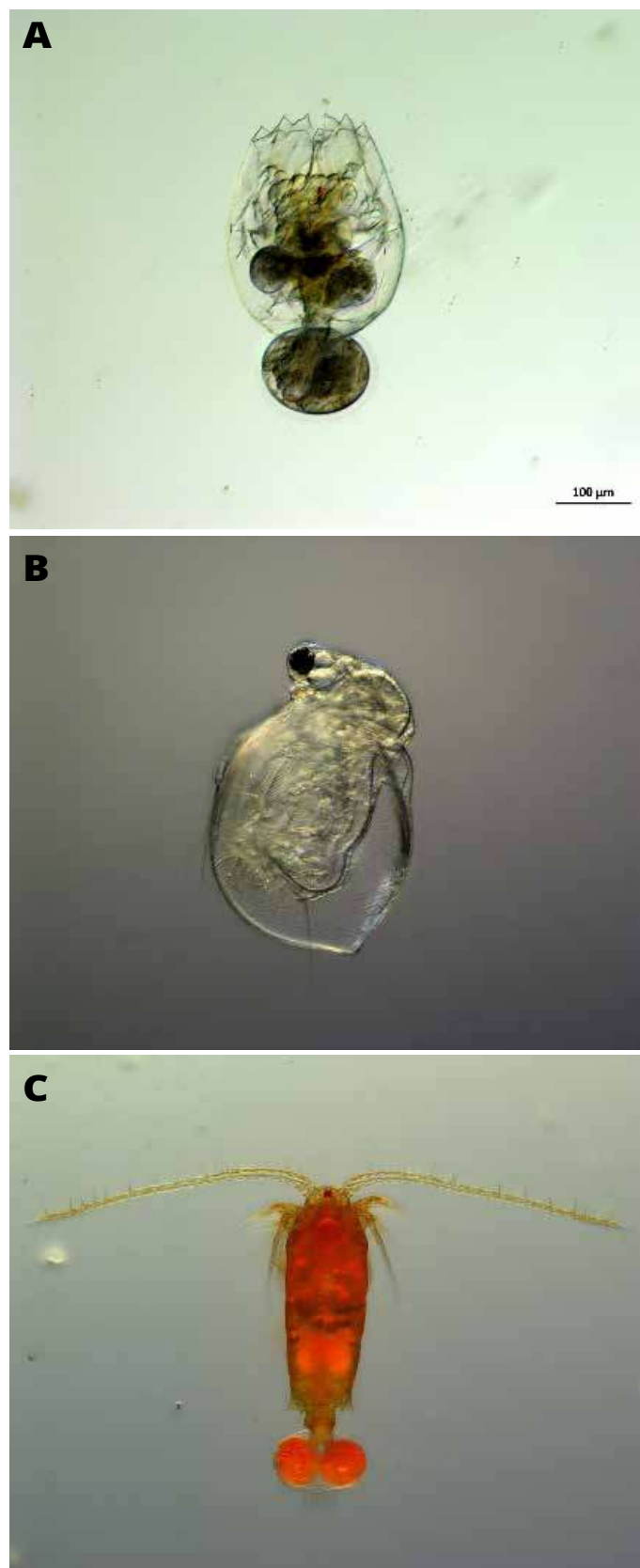
sufren estos cuerpos de agua, los cuales están ligados a la actividad humana: sobreexplotación del recurso, desertificación, contaminación, modificación del hábitat, eutrofización, introducción de especies exóticas y la inevitable reducción de la diversidad biológica. Cada lago es independiente, esto es, no están conectados por ríos o corrientes subterráneas y muestran condiciones bióticas y abióticas particulares (Arredondo, 1995), así como distintas presiones antrópicas bajo las cuales viven diferentes especies de peces, anfibios y pequeños invertebrados que son parte del zooplancton, como copépodos, cladóceros y rotíferos (Figura 2), entre otros grupos taxonómicos interesantes (Thorp y Rogers, 2015). De hecho, además del trabajo limnológico, el zooplancton es la razón de nuestra presencia aquí, pues tratamos de saber qué organismos hay en cada sitio y, sobre todo, cómo fue posible que colonizaran estos ambientes: ¿migraron desde otros lugares, se instalaron y adaptaron exitosamente, pero continúan siendo parte de una misma especie distribuida en diferentes lagos? o ¿se originaron aquí a partir de un linaje ancestral que se diversificó dando lugar a nuevas especies? Estas preguntas han generado diversas investigaciones en el laboratorio, llevándonos a considerar el área como un escenario natural ideal para probar hipótesis sobre procesos de diversificación biológica. Pero hoy, caminando de regreso a la camioneta, creo que también es posible relacionar la repercusión de las actividades humanas sobre los lagos y la biodiversidad a diferentes escalas, en un momento en el que el término extinción es cada vez más mencionado.



**Figura 1.** Localización geográfica de los lagos de la Cuenca Oriental, México.

De los aproximadamente 11 millones de especies de arqueas, bacterias, protistas, plantas, hongos y animales que se calcula habitan el planeta, se han descrito cerca de 1.5 millones (Mora *et al.*, 2011). Considerando las altas tasas de extinción que se presentan en la actualidad (Ceballos y Ehrlich, 2023), muchas se perderán en el anonimato antes de que podamos encontrarlas, describirlas, nombrarlas, clasificarlas y hallar su lugar en un árbol de la vida cada día más mutilado como resultado de lo que ya ha sido considerado el sexto evento de extinción masiva en la historia del planeta. Perder algo que todavía no conoces debe considerarse algo bastante triste. Sobre todo, porque gran parte de estas especies desconocidas sucumbirán ante acciones que son nuestra responsabilidad como seres humanos, además ¿cómo tomar medidas si no sabemos qué es lo que hay que conservar? Suena ideal, pero es imposible preservar cada rincón y especie del mundo. En entrevista, la Dra. Tania Escalante, Jefa del Laboratorio de Biogeografía de la Conservación en la Facultad de Ciencias de la UNAM, nos dice algunos criterios para tomar decisiones de conservación “las especies tienen una distribución diferencial sobre la superficie terrestre, eso las relaciona con la vulnerabilidad que pueden tener hacia los cambios ambientales, en particular los antropogénicos. Hay especies más vulnerables hacia procesos de extinción y, por tanto, las estrategias de conservación deberían priorizar a especies que son raras: tienen áreas de distribución pequeñas, el número de individuos es reducido, o son muy particulares de ciertos hábitats. Otras especies, las endémicas, se encuentran en un solo lugar del planeta, por lo que una vez que se pierde su área de distribución original, se pierde la especie completamente” En esta situación de rareza y endemismo se encuentran muchas especies de zooplancton, como es el caso del rotífero *Brachionus* sp. y los copépodos *Leptodiptomus garciai* y *Cletocamptus gomezi*, que solamente se encuentran en algunos o un solo lago de Cuenca Oriental.

Contrario a la evidencia de que existen especies raras, es común pensar que muchas especies son tan abundantes que nunca desaparecerán. El caso más extremo de este razonamiento es el de la paloma viajera (*Ectopistes migratorius*), la cual se distribuía en el norte de México y parte este y central de Estados Unidos de América. Esta especie fue considerada el ave más abundante del mundo hasta inicios del s. XIX, con parvadas de al menos mil millones de individuos ennegreciendo los cielos a su vuelo. Debido a su cantidad, a su carne comestible y al bajo precio de ésta, fueron cazadas hasta su extinción en 1900. La anécdota de un tren descarrilado lleno con 200 mil palomas deja en claro lo absurdo que puede llegar a ser el final de una especie debido al ser humano y su falta de visión a largo plazo (Arita, 2011). La última paloma viajera, Martha,



**Figura 2.** Algunos integrantes del zooplancton de los lagos de la Cuenca Oriental: A) el rotífero *Brachionus* sp., B) el cladóceros *Ceriodaphnia lacustris* y C) el copépodo *Leptodiptomus* grupo *sicilis* (fotografías: Cristian Alberto Espinosa Rodríguez).

murió en 1914 en un zoológico, pero de manera práctica su linaje había desaparecido mucho antes. Otro caso es el de muchas especies de murciélagos, podríamos pensar que una cueva llena de individuos indicaría que la especie se encuentra en buen estado, pero estos organismos necesitan poblaciones grandes para existir, pues no es lo mismo calentar una cueva con 50 o con 50 mil individuos. O como los rinocerontes blancos del norte (*Ceratotherium simum cottoni*), de poco sirve contar con individuos si no tienen pareja para procrear. A pesar de que sobrevivan en zoológicos, la reintroducción de especies es difícil, como lo comenta la Dra. Escalante “las especies tienen una relación muy estrecha con el ambiente en el que evolucionaron. Aunque las intentemos reproducir *ex situ*, en los zoológicos, las condiciones de los lugares nativos son difíciles de recuperar. También, las poblaciones reintroducidas a veces no tienen éxito porque, igualmente, el ambiente ya cambió. Las acciones que permitan mantener a las poblaciones y sus ambientes *in situ* serán las mejores”. Por lo que vemos, parte del problema actual es implementar acciones que permitan mantener los ambientes de manera adecuada, en los lagos donde ahora estamos esto parece complicado.

Cada vez que visito Atexcac (Figura 3) pienso en cómo ha cambiado desde la primera vez que vine, hace 15 años. Dependiendo de la época del año, el agua tiene cambios de color debido a crecimientos de bacterias y algas. Pero ¿estos cambios pueden estar relacionados con la gran extinción de especies que tanta alarma ha causado en los medios de comunicación y en libros que en ocasiones quitan el sueño, como el escrito por la periodista Elizabeth Kolbert (2015), quien menciona diferentes ejemplos de especies y procesos involucrados en este evento? Es importante recordar que todos los organismos, desde una bacteria de media micra de largo hasta la ballena azul de 25 m, estamos conectados de una u otra manera en el árbol de la vida, donde cada rama cuenta una historia evolutiva exitosa hasta nuestros días y, por consecuencia, es igual de valiosa. A veces es difícil explicar que el humano, con su intelecto y civilización tiene el mismo éxito evolutivo que una babosa de mar, pero así es. Además, cada especie interactúa con otras y con las condiciones ambientales a su alrededor. Por ejemplo, la agricultura intensa con fertilizantes, los residuos de la industria y el desagüe de aguas negras en mares, ríos y lagos dan como resultado el incremento en los nutrientes y el crecimiento de microorganismos nocivos (como algunas cianobacterias), los cuales pueden generar toxinas que afectan la supervivencia y con ello las redes tróficas donde se involucran productores primarios, invertebrados del zooplancton, peces y aves, llegando a causar además problemas de salud en la población humana al consumir agua contaminada. Son cosas

que no pensamos cuando utilizamos fertilizantes para el aumento en la producción agrícola, aplaudimos la construcción de fábricas que “traerán” progreso con sus productos y empleos, o jalamos la cadena del inodoro.

En otros lagos de la cuenca, como la Preciosa (Figura 4), Quechulac y Alchichica, o en lugares como los canales Xochimilco, la introducción de peces exóticos para el consumo humano ha generado la pelea por los recursos con los peces endémicos, los cuales son mucho más pequeños y han sido desplazados, afectando toda la red trófica natural. Un ejemplo de lo grave que puede llegar a ser esta situación se ha estudiado en el lago Victoria en África, donde en un tiempo corto, de unos pocos miles de años, una especie ancestral dio origen a 500 especies distintas de peces cíclidos, cada una con características físicas y ecológicas distintas. A mediados del s. XX se introdujo de manera deliberada la perca del Nilo (*Lates niloticus*), un pez de casi dos metros de largo que ha desplazado y llevado en conjunto con la contaminación del lago, el aumento en nutrientes y disminución del oxígeno- a la extinción a cerca de 200 de las especies nativas y mermado en gran medida las poblaciones de las restantes ¿el humano ha tenido la culpa de ese proceso de extinción? A simple vista parece ser que sí.

Para las especies invasoras que ya se encuentran en los lagos mexicanos, como es el caso de algas, plantas, parásitos, invertebrados del zooplancton y peces (Mendoza y Koleff, 2014), el papel del ser humano en la expansión de su distribución ha sido realmente catastrófico. De manera natural, luego de generaciones de acumular cambios genéticos, conductuales o ecológicos, los mecanismos evolutivos dan lugar a una especie a partir de otra en un sitio particular del globo. Desde su lugar de origen, ésta nueva especie coloniza nuevas áreas dispersándose por su propio pie, aletas o alas, con ayuda del agua (aprovechando las corrientes marinas, ríos o la lluvia para llegar a lugares lejanos), del viento (el polen, las esporas y huevos de resistencia pueden volar cientos de kilómetros) o utilizando a otros organismos (como lo hacen las semillas con los murciélagos o los moluscos pegados a las patas de los patos como lo comprobó Darwin, usando extremidades de estas aves para comprobar su capacidad para transportar por grandes distancias a organismos adheridos a ellas). Así, cada especie ocupa un lugar en el mundo, teniendo que algunas se encuentran solo en un área tan pequeña como una hectárea entre la selva chiapaneca (*Lacandonia schismatica*) o el litoral de un lago (*Cletocamptus gomezi*), o tan extendidas como las orcas (*Orcinus orca*) y nosotros (*Homo sapiens*), que habitamos gran parte del mundo marino y terrestre, respectivamente. En cualquier caso, para llegar a tener las distribuciones que vemos actualmente, las especies



**Figura 3.** Lago Atexcac, Cuenca Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

**Figura 4.** Lago La Preciosa, Cuenca Oriental (fotografía: Arturo Alcántara Rodríguez).

han necesitado miles de años en los que sus linajes han cruzado barreras y competido por el territorio y los recursos con sus semejantes.

Sin embargo, en un tiempo relativamente corto, la acción humana ha cambiado de manera drástica estos procesos. Al salir del centro de África y colonizar nuevos territorios, el ser humano tuvo contacto con especies de plantas y animales que domesticó y aprendió a aprovechar, llevándolas consigo (de manera consciente o no) en su peregrinaje, modificando las distribuciones originales, interviniendo también en el camino de selección natural. A su paso y con la explotación de los recursos a su alcance, el humano también modificó el entorno con la construcción de pueblos y ciudades que requieren espacio, madera, metales, agua y alimento para existir. Podemos pensar que las hormigas también afectan su entorno al crear colonias y túneles, o los castores al construir presas y cambiar el curso de un río, pero la escala de impacto global del humano no tiene comparación con otra especie.

Con la invención de los medios de transporte como el barco, el automóvil y el avión, se han acelerado procesos que, de existir, deberían tardar milenios. Imaginemos a Cristóbal Colón hace más de 500 años ante Isabel la Católica después de volver de “Las Indias”, mostrándole a la reina la planta del tabaco hasta ese momento desconocida en el Viejo Mundo y que actualmente se cultiva en varias partes del planeta. O un crucero que va de Londres a Nueva York, trayendo además de turistas felices, miles de organismos zooplanctónicos en el agua de lastre, los cuáles pueden competir y eliminar a las especies nativas, como ocurre con *Cercopagis pengoi*, un cladóceros invasor que llegó desde el Mar Negro a los Grandes Lagos en Norteamérica, causando estragos en las redes tróficas de los sitios donde se ha establecido, las cuales incluyen a otras especies de cladóceros rotíferos y copépodos de las que se alimenta. El caso de Australia es especial, fue poblada desde hace unos 40 mil años por aborígenes y luego repoblada con presos desterrados de Inglaterra durante parte del s. XIX. En este segundo evento, los barcos llevaron, entre otras especies exóticas, a los gatos

domésticos, peces carpa, conejos y hasta camellos, que en muy poco tiempo contribuyeron a la extinción de varias especies endémicas a la isla. De hecho, actualmente los gatos son considerados una plaga y hay programas para exterminarlos.

Otro ejemplo es el dodo (*Raphus cucullatus*) de la Isla Mauricio, exterminado en menos de 80 años por la intensa cacería por parte de los colonos europeos y la introducción de especies como perros y cerdos, que destruyeron sus nidos y huevos. Los aviones por su parte, han contribuido a la rápida propagación de algunos patógenos como el VIH (transportando individuos portadores del virus) o el hongo quitridial *Bathachochytrium dendrobatidis*, que ha causado la extinción de varias especies de ranas en América y con millones de víctimas mortales de estos anfibios en Australia y Europa. Si bien este hongo saprobio puede desplazarse por sus propios medios mediante esporas, es posible que haya sido transportado por el ser humano vía mercancías y organismos infectados, adaptándose a nuevos ambientes donde cambió su estrategia de descomposición por el parasitismo. Es claro que la acción humana ha propiciado su expansión desde África o Norteamérica (no se tiene claro su origen) a otras partes del globo. "Las especies introducidas pueden producir enfermedades que extinguen a una población. Además, cada caso es diferente, ese es el problema de la invasión, no sabemos cómo va a reaccionar un grupo de organismos, por lo que es difícil encontrar patrones" menciona la Dra. Escalante. ¿Podemos calcular el daño de las especies invasoras sobre la fauna y flora endémica? A pesar de su dificultad, parece que se pueden generar respuestas, como ella menciona "el estudio de las especies invasoras y su efecto es muy reciente. Estamos en una crisis porque tenemos muy pocos datos de campo para saber exactamente cómo una invasión está cambiando un ecosistema. Debido a esto, se están haciendo modelos a través de algoritmos que nos permiten saber cuáles son los sitios que pudieran ser invadidos con más probabilidad por una especie u otra, y predecir, con cierta confiabilidad el comportamiento geográfico de la invasión. Además, no sabemos bien si están totalmente desplazando a las otras especies (nativas), o que, a pesar de tener todas las capacidades de invadir, podrían no estar haciéndolo porque hay un depredador u otro competidor que está ocupando ese nicho ecológico". Sin embargo, si no hay un sitio para invadir, en algunos casos tal vez no sea necesario preocuparse por esta interacción.

En otros lagos que estudiamos, como La Preciosa y Tecuitlapa, ambos de agua dulce, el nivel del líquido ha bajado considerablemente debido a su uso para el riego de los cultivos de maíz y algunas hortalizas de los pueblos vecinos. En el perímetro que recorre La Preciosa, un lago de 36 m de profundidad, se puede ver la mancha de sales marcando hasta dónde llegaba antes el agua.

De Tecuitlapa (Figura 5) queda solo una pequeña poza remanente del lago original, aferrada a no secarse por completo pero que ya no permite que entremos con la lancha inflable como lo hacíamos hace unos años, por lo que ahora solo tomamos muestras desde la orilla. Ejemplos de extracción intensiva de agua y desaparición de grandes lagos -con su biodiversidad incluida- son amargamente comunes, no solo en México. El peor caso es el Mar Aral, situado en Asia Central y considerado uno de los cuatro lagos más grandes del mundo. Las fotografías aéreas que comparan su tamaño en las últimas décadas son escalofrantes, mostrando un decremento de la profundidad media original de 25 m hasta perder cerca del 90% volumen, con grandes extensiones totalmente secas. Barcos anclados en la arena y entre capas de sal acumulada por la evaporación son postales actuales del lugar. El aumento en la población aledaña en los últimos 50 años, el desvío del agua proveniente de los ríos que lo abastecían y el mal manejo de los recursos por parte de la agricultura de arroz y algodón -que requieren mucho líquido- han provocado un daño irreparable a este sistema, con efectos a la salud (por las tormentas de sal y arena mezclada con pesticidas) y al ambiente (al modificarse las temperaturas por la falta de agua). La crisis del agua es algo real y como en otras situaciones, la falta de empatía empeora cada vez más la situación. Hace un par de años, visité a mis tíos en Los Ángeles y a mi madre en Ensenada. Mientras mi mamá cuidaba cada gota que le llegaba por pipas, reutilizando el agua de la lavadora y el fregadero para regar su jardín, mi tío decía (mientras yo miraba cómo lavaba los trastes bajo el chorro intenso, dejando la llave abierta): "no te preocupes, aquí el agua sobra, no como en México". Olvidamos que el agua es la misma, durante su ciclo no le importan las barreras políticas que cruza como líquido, vapor o hielo. El agua es un bien común a todos los seres vivos ¿cuántas especies se han extinto o están en peligro debido a la pérdida de cuerpos de agua por sobreexplotación o contaminación?

A diferencia de los lagos cráter, en la zona se encuentra otro par de lagos con un origen distinto. Hace miles de años, existía un gran lago de varios kilómetros de largo, actualmente fragmentado en Tepeyahualco y El Carmen (Figura 6). Ambos son someros -no alcanzan el metro de profundidad- y efímeros, pues solamente se llenan de líquido en algunas zonas durante la temporada de lluvias, por lo que el resto del año actúan como grandes pastizales que aprovecha el ganado y donde en el sedimento se acumulan las estructuras de resistencia del zooplancton, que esperarán pacientemente durante meses o años hasta que las condiciones ambientales sean las ideales para "despertar" y continuar su ciclo de vida. En estos lagos habitan dos linajes de copépodos que, según los resultados de mi tesis de doctorado, pertenecen especies no descritas del género *Mastigodiaptomus*. Al analizar la situación actual



**Figura 5.** Lago Tecuitlapa, Cuenca Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

del lugar, en la que cada vez la época sin agua es más extensa, pienso que cuando publique la descripción de estas nuevas especies ocurrirá lo que pasó con otra del mismo género en un lago cráter de la isla San Cristóbal, en las Galápagos: los investigadores la describieron recientemente estudiando muestras colectadas hace años, pero en la actualidad parece estar extinta a causa de diversas perturbaciones en el lugar derivada de la actividad humana (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2023). En el caso de estos lagos, los habitantes históricamente han extraído agua y tequesquite, una sal utilizada todavía en la cocina, modificando también el ambiente mencionado. A veces, desde afuera, yendo una vez al mes, uno podría pensar que esas personas deberían dejar de consumir esa poca agua para proteger a las especies que sorprendentemente todavía viven ahí. Pero proponer acciones de conservación sin tomar en cuenta a las comunidades es un error, lo ideal es tomar decisiones en conjunto que ayuden a manejar de manera adecuada los recursos. Entonces ¿qué necesita la sociedad para participar en conservación a pequeña o gran escala? La Dra. Escalante nos contesta “Es indispensable un cambio en el pensamiento, concientización. Y eso únicamente podrá venir en las nuevas generaciones integrando en los planes de estudio esta forma de pensamiento a través de la sustentabilidad, el respeto, la apropiación de los recursos naturales dentro de nuestra cultura.

Posteriormente, comenzar a aprender en la escuela y en el seno familiar estrategias, quizás a escala pequeña pero que permitan aportar algo en el mantenimiento de la biodiversidad. Pueden ser desde pequeñas acciones como el reciclaje, reusar, reducir (las tres R), hasta acciones que tienen que ver con el uso de energías renovables y energías verdes”.

Tomando en cuenta las actividades humanas tanto en ambientes terrestres como acuáticos, ¿qué tipo de medidas podemos tomar? La Dra. Escalante nos comenta “Entre mayor número de áreas protegidas se decreten por parte de los gobiernos, así como mayor comunicación entre los sectores del gobierno, de la industria, de la población civil y los científicos, las acciones de conservación podrían ser más adecuadas. Podríamos proponer estrategias que nos permitan hacer uso de los recursos, pero de una manera sustentable. Hacer mancuerna entre el desarrollo económico con el mantenimiento de los recursos naturales no es una tarea fácil: Como científicos solamente usamos los aspectos biológicos para priorizar un área de conservación y nos estamos olvidando de la parte social. Esa no es una posición realista, necesitamos hacer un análisis multicriterio que nos permita incorporar los aspectos sociales y económicos en las estrategias de conservación, y así tomar las mejores decisiones. Si quisiéramos proponer un área de conservación en un sitio con altas presiones de deforestación, por donde



eventualmente va a pasar un camino o que tiene altas probabilidades de ser urbanizado, tampoco estaríamos haciendo bien nuestro trabajo. Necesitamos evaluar todos los factores para poder proponer sitios donde garanticemos el mantenimiento de la biodiversidad a largo plazo. Por otra parte, se necesitan más recursos económicos para poder enfrentar estos problemas ambientales, así como más financiamiento para producir estrategias de conservación. Siempre se necesita dinero”.

Antes de llegar al pueblo de Perote para pasar la noche, pasamos a Alchichica (Figura 7), uno de los cuerpos de agua más estudiados del país (Alcocer, 2019). Es un lago salino de unos 60 m de profundidad. Es un lugar de fácil acceso para turistas y los lugareños han aprovechado esto para colocar palapas y pequeños negocios en la orilla. Este lago cráter está lleno de leyendas que involucran ovnis y una conexión subterránea con el mar, pero para nosotros, parte de su importancia radica en la gran cantidad de especies endémicas que habitan aquí: un charal, microalgas, insectos, dos especies de copépodos –una de las cuales tuve la fortuna de describir como nueva - y los famosos microbialitos (estructuras formadas durante milenios por la interacción de minerales con microorganismos, como cianobacterias), que constituyen algo que podríamos definir como “arrecifes bacterianos”, los cuales años atrás se encontraban sumergidos, no como ahora, bañados por el sol y asomados a manera de paredes blancas cada vez más afuera del agua y en contacto con la actividad humana, como también sucede

en Cuatro Ciénegas Coahuila y Bacalar Quintana Roo. El linaje del que son parte los organismos formadores de microbialitos es considerado uno de los primeros que surgieron en nuestro planeta, sobreviviendo hasta ahora a cada una de las grandes extinciones ¿persistirá a este periodo en el que conviven con una especie que está acabando con su hábitat? Otro tipo de arrecife, mucho más famoso por sus colores y estructuras hermosas, es el formado por pequeños animales llamados pólipos, que viven en colonias y secretan -durante generaciones- estructuras de carbonato de calcio que conocemos como corales. Estos pólipos interactúan de manera estrecha con algunos microorganismos llamados zooxantelas, los cuáles reciben refugio del pólipo, alimentándolo en pago, además de ser responsables del color del coral. Para funcionar de manera adecuada y ser parte importante del hábitat de una gran variedad de especies marinas, esta relación necesita de aguas transparentes, así como condiciones químicas y de temperatura muy particulares, las cuáles han cambiado en los últimos años. Bajo esta presión ambiental, causada en parte por el aumento rápido en las temperaturas globales gracias a la actividad humana, se encuentran los corales que forman -a lo largo de 2,500 km- el Arrecife de la Gran Barrera en Australia y los que encontramos en las aguas del Caribe. Para ambos casos, se calcula que, de continuar estas condiciones, la tasa de extinción se incrementará al punto de que en algunas décadas solo podremos ver sus cadáveres en el mar, con un efecto bastante negativo sobre miles de especies que dependen de estos pequeños seres.



**Figura 6.** Lago El Carmen, Cuenca Oriental, durante la temporada de secas (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).



**Figura 7.** Microbialitos en el lago Alchichica, Cuenca Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

Con el ejemplo anterior queda claro que lo único seguro al nacer es que un día vamos a encontrarnos con la muerte. Esta sentencia irrevocable incluye a cada ser sobre la Tierra y al planeta mismo, dentro de unos miles de millones de años. Pero no se preocupen, para ese momento seguramente los humanos ya seremos cosa del pasado. Se calcula que la vida surgió hace unos 3,500 millones de años, desde entonces, a partir de un ancestro común a todos los organismos actuales, se han originado y perdido millones de especies de distintas formas, tamaños y características. A veces la Tierra está rebotante de vida, pero en algunas ocasiones, al menos en cinco según los registros, diferentes acontecimientos la han dejado con bajas realmente considerables. Pero la vida encuentra de nuevo su camino, los sobrevivientes generan nuevas formas y linajes que se adaptan ante las circunstancias y sobreviven exitosamente, al menos hasta la siguiente gran prueba. De esta manera, si las condiciones en el planeta son relativamente estables en periodos de tiempo largos, una especie -después de originarse- tiene un periodo de vida de cientos de miles de años o más, tras los cuales se extingue o evoluciona dando lugar a otras variedades. En la historia de las grandes extinciones, las condiciones ambientales de la Tierra han cambiado de manera rápida y drástica, tanto que no permitieron que gran parte de los organismos pudieran adaptarse, dejando paso a otros linajes que bajo las condiciones anteriores no necesariamente eran los más favorecidos por la selección natural.

Participando como un importante agente que modifica el escenario a su alrededor, como los lagos que visitamos hoy, parece ser que, a lo largo de 200,000 años y en especial en los últimos 200, el humano ha acelerado el cambio en las condiciones ambientales, así como en las distribuciones, en la competencia y en la tasa de extinción de muchas especies que de manera natural tendrían que seguir entre nosotros, al menos un rato más ¿Hemos causado estragos irreparables en la naturaleza? Hasta cierto punto no podemos negarlo, pero a su favor, la vida seguirá en el planeta después de nosotros, de nuestro egoísmo y malas decisiones. Sin embargo, creo que todavía podemos tomar medidas que permitan que el efecto de nuestra presencia aquí tenga un impacto menor sobre los procesos naturales y sobre los millones de especies con los que compartimos tiempo y espacio, y que como dije anteriormente, son tan valiosas como nosotros. Por otro lado ¿tiene caso seguir invirtiendo dinero para salvar a la vaquita marina, al lobo mexicano, a los carismáticos ajolotes de Xochimilco, o a los no tan famosos ajolotes de especie que vive Atexcac y Alchichica, a pesar de que sus poblaciones naturales son tan bajas? La Dra. Escalante responde: "todas las especies son importantes para ser conservadas, en los casos mencionados y otros más, hay que evaluar la historia natural de la especie, no para saber si vale la pena conservarla o no, más bien para entender cómo operan los procesos evolutivos, así como los factores antropogénicos. En un momento dado, hay

que dejar que la naturaleza siga su curso, con esto no quiero decir que no hay que conservar. Sin embargo, se ha demostrado que las acciones encaminadas para conservar una sola especie dejan desprotegidas a otras. Las tendencias actuales en la Biogeografía de la conservación intentan proteger los patrones y procesos de distribución que presentan muchas especies, y la biodiversidad total en su conjunto”.

¿Importa más una especie que otra? o ¿por qué nos gustan más unas en particular? En los lagos que he mencionado, estudio unos pequeños organismos zooplanctónicos llamados copépodos (Figura 8), nada agraciados ni con cara linda, vaya, apenas tienen un ojo -que ni es un ojo verdadero-, pero cuentan con más de 10 mil especies viviendo en ríos, lagos y mares, como parásitos o en vida libre (Reid y Williamson, 2010). Son muy importantes en las redes tróficas ya que conectan a los productores primarios con los consumidores secundarios, además, es bastante interesante tratar de explicar su historia evolutiva, así como las adaptaciones que han desarrollado desde su origen en el mar y su posterior colonización en ambientes de aguas continentales. A pesar de lo anterior, no abundamos los copepodólogos en el mundo. Cuando inicia un semestre y le pregunto a mis alumnos a qué tipo de organismos quieren dedicar sus investigaciones, no ha habido uno solo que los mencione. No son animales que uno se preocuparía por conservar o usarlos como bandera para que salvemos los cuerpos de agua donde se encuentran. Sin embargo, a todos nos encantan los pandas, los osos polares y no hay quien no se preocupe por las últimas diez vaquitas marinas que existen. Todos nos emocionamos con documentales de tiburones, gorilas, mariposas monarca y ballenas. En general, conocemos la importancia de las abejas, colibríes y murciélagos polinizadores. Nos da ternura la cara feliz de los ajolotes, la risa de los delfines o un koala mamá cuidando a su cría. Los ejemplos anteriores son especies “carismáticas” y en algunos casos funcionan como especies sombrilla, un término bastante útil para las políticas de conservación y sensibilización de la sociedad pues, se piensa que, al conservarlas, indirectamente cuidaríamos de otras especies del mismo hábitat que no son tan lindas, como mis copépodos, que claramente también podrían estar en peligro de extinción. Sin embargo, la Dra. Escalante considera que este tipo de estrategias no son suficientes “fueron muy exitosas en los años 1980’s, pero ya están en desuso. Se pensaba que tener a una especie emblemática podría permitir conservar toda la biodiversidad de un sitio, sin embargo, estas estrategias no permiten conservarla en sus diferentes niveles (taxonómico, genético de ecosistemas) ni todos los procesos. Aunque sí son útiles para obtener financiamiento”.



**Figura 8.** *Cletocamptus gomezi*, un copépodo harpacticóide endémico del lago Alchichica (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

Entonces ¿la siguiente gran extinción es totalmente nuestra culpa? Como ya lo he mencionado, las extinciones a escalas planetarias son procesos naturales, azarosos y relativamente rápidos. No podemos negar que las modificaciones a nuestro entorno, el consumo desmedido de recursos, el aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, la tala de bosques, los incendios forestales, el cambio de uso de suelo para agricultura o ganadería, la contaminación de cuerpos de agua y políticas ambientales que no ven más allá de sexenios, son causantes de muchas extinciones nada naturales. Ahora, si bien somos culpables del aumento rápido de las temperaturas en los últimos años, también es cierto que estamos en una época en la que las temperaturas son relativamente altas de manera natural, así como hace 18 mil años las condiciones eran particularmente frías, y antes calientes de nuevo, en un ciclo en el que la vida se adapta o se extingue. ¿Qué tanto somos responsables del cambio climático global? “la Tierra siempre ha estado sujeta a estos ciclos de enfriamiento-calentamiento. El problema es que este aumento de temperatura en un corto tiempo es debido a la acción del hombre. Suponemos que esto se debe a que las emisiones de dióxido de carbono están generando el efecto invernadero que impide que la radiación solar salga de la Tierra, manteniendo el calor en la superficie terrestre. Una parte del calentamiento es un fenómeno natural, pero hay otra de la que somos responsables, sobre todo a partir de la revolución industrial” comenta la Dra. Escalante.

La Tierra y la vida dentro de ella evolucionan juntas, y lo seguirán haciendo con o sin nosotros interviniendo. Ahora nos preocupamos por las abejas y qué pasará con todas las plantas que polinizan -muchas de gran importancia para nosotros- si estos insectos llegaran a extinguirse por algo que nosotros provocamos, como la pérdida de hábitats, el uso de fertilizantes y plaguicidas, el aumento en las temperaturas, y las ya mencionadas especies invasoras.



**Figura 9.** Lago la Preciosa, Cuenta Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

Es importante señalar que hay 20 mil especies de abejas en el mundo, no solo la melífera, africana y melipona. Se calcula que el 10% de ellas está en peligro de extinción ¡2,000! Si este porcentaje se perdiera en el corto plazo, ¿qué pasará? Las relaciones de planta-polinizador son tan estrechas que esperar a que lleguen otros polinizadores o hacerlo nosotros de manera manual parece imposible. Además de la pérdida de biodiversidad, debemos pensar en los costos económicos de perder cultivos o el aumento en precios de cosas tan comunes como una cerveza o una camisa de algodón. La vida sigue su camino, sin embargo, lo más sensato es pensar en medidas que permitan preservar a este linaje completo el mayor tiempo posible, por lo que nos conviene de muchas maneras conservar los ambientes y los recursos que pueden proveernos.

A veces, estando en medio del lago, manejando la lancha y colectando organismos que después voy a ver en el microscopio, creo que es muy fácil ser feliz, a mi alrededor hay personas que quiero y me quieren, tengo salud, hago lo que me gusta. Pero al volver a la ciudad y sentir la contaminación en el aire, el ruido, la basura y las noticias de guerras, devaluaciones e incendios forestales, la utopía en mi mente se desvanece un poco ¿todavía tenemos oportunidad como humanidad? ¿estamos a tiempo de hacer algo por remediar la situación ambiental que hemos provocado? Parece que La Dra. Escalante es más optimista que yo “Todavía no es tan tarde. Pero la

conservación es una ciencia de crisis. Si no hubiera una crisis ambiental, del agua y de extinción de especies, no habría una ciencia de la conservación. Debemos que actuar ya, con la información que tenemos. No podemos esperar más. No nos queda mucho tiempo si quisiéramos que nuestros hijos y nietos pudieran todavía conocer una selva, un lago o un desierto en su estado natural, o conocer a las especies donde viven”. Se ha pronosticado que esta crisis terminará por afectar de manera irreversible a la biodiversidad en el año 2050 ¿Cómo se puede proponer una fecha en particular? La especialista lo explica “Esto se hace basado en dos cosas: las observaciones presentes y del pasado. La extinción es un proceso natural. El problema es que cuando comparamos el número de especies que se extinguen por unidad de tiempo en el presente, respecto al pasado, tenemos que la tasa de extinción (la velocidad a la que ocurre) es mucho más alta ahora. Nosotros hacemos curvas de estimaciones de cuántas especies se van extinguiendo y así podemos extrapolar hacia el futuro. Ahí es donde las predicciones son muy alarmantes, si seguimos la misma tendencia se estima que el 2050 será el punto de quiebre. Ahora, no es que ese año ya no vaya a haber especies, pero creo que los patrones van a estar tan modificados que algunos grupos sí se van a perderse completamente. Otros no, quizá los insectos, que han constituido durante millones de años un gran porcentaje de la biodiversidad, probablemente van

a seguir existiendo. Pero gran parte de otros grupos taxonómicos como los mamíferos, probablemente se extinguirán”.

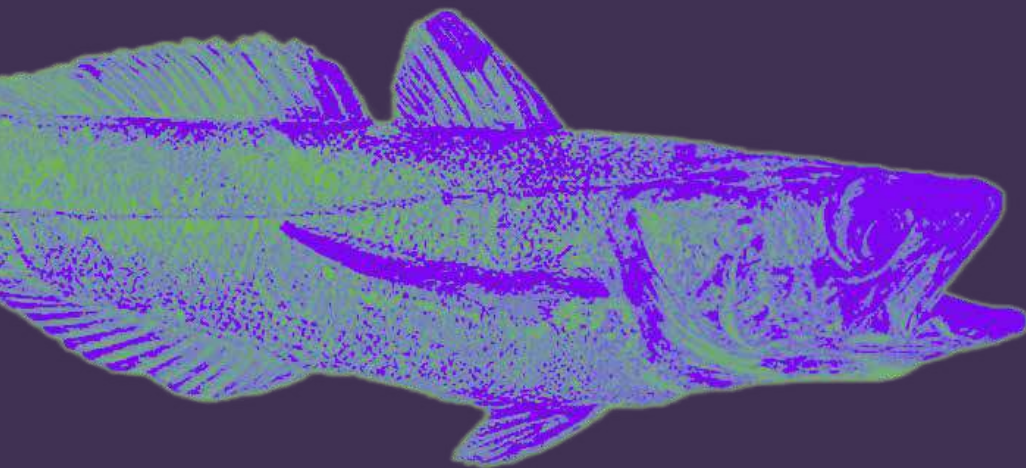
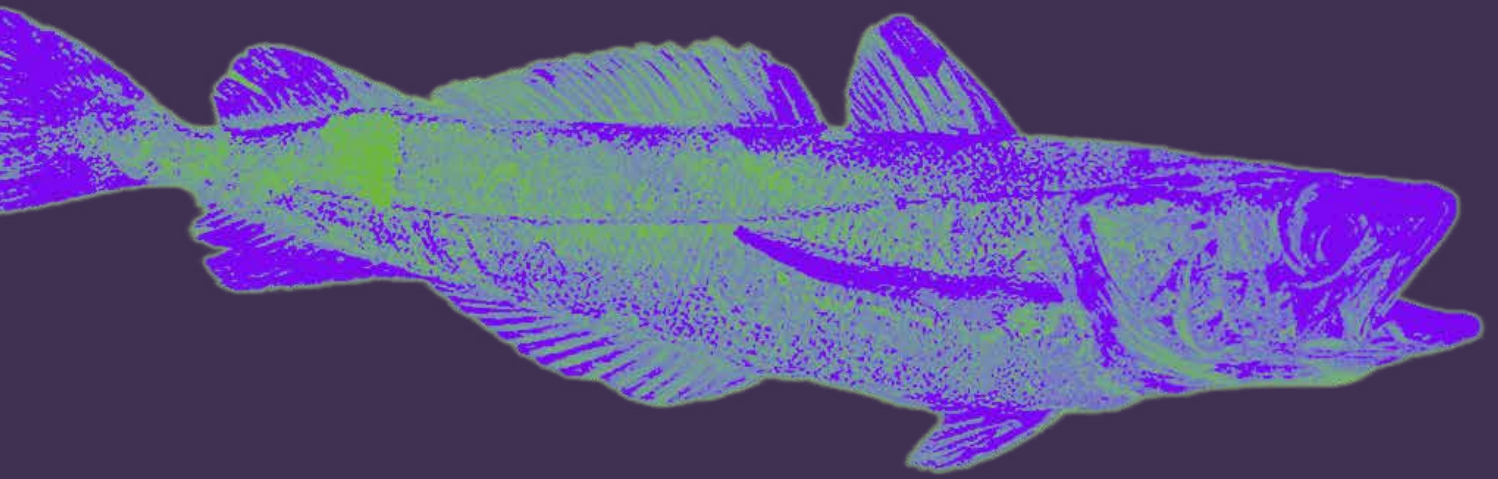
Pienso en el año 2082. Un día muy caluroso de julio, el desayuno de mi cumpleaños 100 consiste en una masa grumosa sin sabor, pero con los nutrientes necesarios ¿en ese momento extrañaré el sabor del jitomate que odio ahora y que seguramente en esa fecha no existirá debido a que la especie de abeja que lo polinizaba se extinguió hace mucho? Pensar a largo plazo es algo que a los humanos no se nos da de la mejor manera. ¿Cuáles serán las consecuencias de esta sexta extinción? ¿cómo modificará la vida humana? La Dra. Escalante confirma mi sospecha “creo que lo primero que vamos a resentir va a ser la pérdida de diversidad ambiental y de especies, así como de la variabilidad genética, en un proceso que podemos denominar “homogeneización biótica” en el que quizá todos los alimentos y animales van a ser de un mismo tipo, sin variedades, y los ambientes también serán muy similares” finaliza.

Antes de partir de regreso a la ciudad, mientras esperaba sentado a la orilla de La Preciosa, viendo el Pico de Orizaba al fondo (Figura 9) y a la lancha acercándose lentamente con los alumnos y los frascos llenos del arrastre de zooplancton, rasqué con curiosidad un trozo de pared a un metro de altura sobre el nivel del agua. Ahí, quitando con cuidado la arena, encontré conchas secas de caracoles acuáticos, de unos pocos milímetros

de ancho, las observé detenidamente, puse un par sobre mi mano y el viento leve se las llevo sin problema ¿Hace cuánto tiempo vivieron estos organismos bajo el agua antes de secarse y perderse entre kilos de sedimento acumulados durante años? ¿Qué otras especies había en ese momento en el lugar y cómo interactuaban? Comparado con la historia de la Tierra y todo lo que ha ocurrido desde su formación, el paso de nuestra especie es casi insignificante pero no por ello pasará desapercibido. En un par de millones de años, nuestra huella podrá ser identificada en unos milímetros de sedimentos que contengan los restos de todos nuestros libros, edificios, tecnología y basura. Llegará el momento de extinguirnos como especie, pero que eso suceda en tres o trescientas generaciones y que en el proceso arrastremos a otras especies depende en gran medida de cambios en los hábitos de consumo y en un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, en especial del agua, como la que llena todavía cada lago de la Cuenca Oriental, y donde se encuentra una composición de zooplancton única que vale la pena conservar por su papel ecológico en estos cuerpos de agua y por su valor como una rama más del árbol de la vida. Tal vez cuando los arqueólogos del futuro tengan curiosidad por estudiar los restos de nuestra civilización, tratarán de reconstruir el pasado y se preguntarán sobre nuestro papel en este momento de la historia, como nosotros hacemos ahora con los caracoles secos de La Preciosa o los amonites que existieron hace millones de años, creo que hay que dejarles una fina capa de tierra que valga la pena analizar.



- Alcocer, J. (ed.). 2019. *Lago Alchichica: Una joya de biodiversidad*. UNAM, FES Iztacala: Conabio. México. 244 p.
- Arita, H. 2011. *Del bestiario*. Antologías de la revista ciencias Vol. 1. Siglo XXI: UNAM, Facultad de Ciencias. México. 216 p.
- Arredondo, J.L. 1995. *Los axalapascos de la Cuenca Oriental, Puebla*. En: De la Lanza-Espino, G. y García-Calderón, J. L. (Eds.). *Lagos y Presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo. México, D. F. pp. 65-87.
- Ceballos, G., P.R. Ehrlich. 2023. Mutilation of the tree of life via mass extinction of animal genera. *PNAS* 120(39): e2306987120.
- Elías Gutiérrez, M., M. Steinitz Kannan, E. Suárez Morales, C. López. 2023. *Mastigodiptomus galapagoensis* n. sp. (Crustacea: Copepoda: Diaptomidae), a possibly extinct copepod from a cráter lake of the Galápagos archipelago. *PeerJ*. 11:1-18. E15807.
- Kolbert, E. 2015. *La sexta extinción, una historia nada natural*. Editorial Crítica, España. 344 p.
- Mendoza, R., P. Koleff (coords.). 2014. *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 555 p.
- Mora, C., D.P. Titterson, S. Adl, A.G.B. Simpson, B. Worm. 2011. How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol.* 9(8): e1001127.
- Reid, J.W., C.E. Williamson. 2010. Copepoda. En J. H. Thorp y A.P. Covich (Eds.), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. 3ª ed. Academic Press, Inc., San Diego. p. 829-899.
- Thorp, J.H., D.C. Rogers (eds.). 2015. *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Volume 1: Ecology and General Biology*. Freshwater Invertebrates. 4ª ed. Elsevier, 1148 p.



# LA MERLUZA DEL PACÍFICO: CIENCIA Y SABORES EN LAS COSTAS MEXICANAS

■ MARÍA ISABEL SOTELO-GONZALEZ<sup>1</sup>, DANA ISELA ARIZMENDI-RODRÍGUEZ<sup>2</sup>, REBECA SÁNCHEZ-CÁRDENAS<sup>3</sup>, PERLA ROSA FITCH-VARGAS<sup>3</sup>, LUIS ANTONIO SALCIDO-GUEVARA<sup>3</sup>, MANUEL GARCÍA-ULLOA<sup>4</sup>, CARLOS HUMBERTO SEPÚLVEDA<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Estancias Posdoctorales por México, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen S/N, Colonia Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, C.P. 82000, México.

<sup>2</sup>Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera Guaymas. Col. Centro, Guaymas, Sonora, C.P. 85400, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen S/N, Colonia Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa C.P. 82000, México.

<sup>4</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Colonia San Joachin, Guasave, Sinaloa, C.P. 81101, México.

<sup>5</sup>Estancias Posdoctorales por México, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Colonia San Joachin, Guasave, Sinaloa, C.P. 81101, México.

\*Autor de correspondencia: carlos.humberto.s.1994@gmail.com



**Palabras clave:** Peces de profundidad, merluza del Pacífico, sostenibilidad pesquera, gastronomía marina, aprovechamiento integral, recurso biológico, Golfo de California.

**Key words:** Deep fish, pacific hake, fisheries sustainability, marine gastronomy, comprehensive utilization, biological resources, Gulf of California.

## RESUMEN

La merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) es un recurso pesquero de alto impacto ecológico, económico y alimentario en las costas mexicanas. Este pez habita en zonas demersales entre 50 y 900 metros de profundidad y desempeña un papel clave en las redes tróficas marinas. Después de la pesca y procesamiento, la merluza se encuentra disponible en algunos mercados del centro del país y es exportada a países de América, Europa y Asia. Su carne magra, rica en proteínas de alta calidad, ácidos grasos (p. ej. omega-3) y micronutrientes esenciales, la convierten en una alternativa alimenticia saludable. En México, la modalidad en su consumo se ha extendido desde preparaciones tradicionales hasta la gastronomía contemporánea, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la diversificación culinaria del país. Paralelamente, el creciente interés científico y productivo en esta especie ha impulsado estudios y estrategias de manejo orientadas a su aprovechamiento responsable, de tal forma, que se han recomendado cuotas de captura por temporada de pesca. La integración del conocimiento científico con la participación social y la gastronomía sostenible puede transformar a *M. productus* en un modelo de aprovechamiento integral y responsable que vincule ciencia, economía costera y cultura alimentaria en México.

## ABSTRACT

Pacific hake (*Merluccius productus*) is a fishery resource with high ecological, economic, and nutritional impact on the Mexican coast. This fish inhabits demersal zones between 50 and 900 meters deep and plays a key role in marine food webs. After fishing and processing, hake is available in some markets in central Mexico and is exported to countries of America, Europe and Asia. Its lean meat, rich in high-quality protein, fatty acids (e.g., omega-3), and essential micronutrients, makes it a healthy food alternative. In Mexico, its consumption has expanded from traditional preparations to contemporary cuisine, contributing to food security and the country's culinary diversification. Simultaneously, the growing scientific and productive interest in this species has driven studies and management strategies aimed at its responsible use, leading to the recommendation of catch quotas for each fishing season. The integration of scientific knowledge with social participation and sustainable gastronomy can transform *M. productus* into a model of comprehensive and responsible use that links science, coastal economy and food culture in Mexico.

## INTRODUCCIÓN

La especie *Merluccius productus* (Ayres, 1855), pez conocido comúnmente como merluza del Pacífico (Figura 1), constituye un recurso pesquero de gran importancia ecológica, económica y alimentaria en la región noreste de México. El 60% de la merluza del Pacífico mexicano se exporta a países como Ucrania, Georgia, Estados Unidos y Gran Bretaña, y el 40% restante se comercializa en el interior de la república mexicana (Zamora-García y Stavrinaky-Suarez, 2018). La merluza del Pacífico es una conquistadora de los paladares más exigentes debido a su carne blanca, de textura firme y sabor delicado, por lo cual se ha integrado tanto a la cocina tradicional de las comunidades costeras como a la gastronomía contemporánea, donde se valora por su versatilidad y cualidades nutricionales. Adicionalmente, existe gran potencial para el desarrollo de subproductos a partir de los restos de merluza que quedan después del fileteado (cabeza, vísceras, esqueleto, aletas y piel; Caruso *et al.*, 2020). Sin embargo, detrás de su valor nutrimental, culinario y potencial de tales subproductos subyace una biología compleja y decisiones de manejo pesquero —basadas en información científica— que determinan su aprovechamiento sostenible (Sotelo-Gonzalez *et al.*, 2025).

## IMPORTANCIA ECOLÓGICA

La merluza del Pacífico se distribuye en el océano Pacífico de norte América, es decir, a lo largo de la región marina de tres países, desde las aguas frías de Canadá y Estados Unidos de América hasta las regiones tropicales del Golfo de California (GC), en México (Lloris *et al.*, 2005). En particular, es una especie demersal —es decir, habita en el fondo marino— que puede encontrarse desde la plataforma continental y taludes superiores, hasta la zona mesopelágica o crepuscular, a profundidades que oscilan entre 50 y 900 metros (Lloris *et al.*, 2005). Su presencia en diferentes

profundidades del océano está relacionada con movimientos migratorios que realiza a lo largo de su ciclo de vida. En el GC, los adultos emergen desde las profundidades durante los meses de diciembre a mayo para reproducirse (Denton-Castillo, 2018; Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2026). Conforme crecen, los juveniles se van desplazando hacia las profundidades, como se ha observado también en especies similares (p. ej. *Merluccius capensis*, Wilhelm *et al.*, 2015).

Dentro de los ecosistemas del GC, la merluza del Pacífico desempeña un papel ecológico relevante dentro de la red o “cadena” trófica marina. Por un lado, es presa de diversos depredadores de niveles tróficos superiores, entre ellos mamíferos marinos —como delfines y lobos marinos—, peces grandes como atunes y tiburones, y también individuos de mayor tamaño de su misma especie, que pueden recurrir al canibalismo (Buckley y Livingston, 1997; Morales-Zárate, 2024). Por otro lado, es también un predador y regulador de poblaciones de especies de niveles tróficos inferiores, como crustáceos (p. ej. camarón *Solenocera mutator*) y eufásidos como *Nyctiphanes simplex* (Holmlund y Hammer, 1999; Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2026) (Figura 2). Además, sus migraciones verticales entre las diferentes profundidades convierten a la merluza en un “puente” ecológico mediante el movimiento de biomasa y energía entre ambientes profundos y someros, y contribuye a la integración y estabilización de los procesos del ecosistema (Holmlund y Hammer, 1999). Debido a su papel como predador, presa y conector entre ambientes oceánicos, algunos estudios consideran a la merluza una especie clave en las redes tróficas del ecosistema pelágico del GC (Funes-Rodríguez *et al.*, 2009; Álvarez-Trasviña *et al.*, 2022). Esto significa que cambios en su abundancia o su ausencia podría alterar significativamente la biodiversidad y la estructura de toda la red trófica (Valls *et al.*, 2015). La importancia ecológica de la merluza del Pacífico

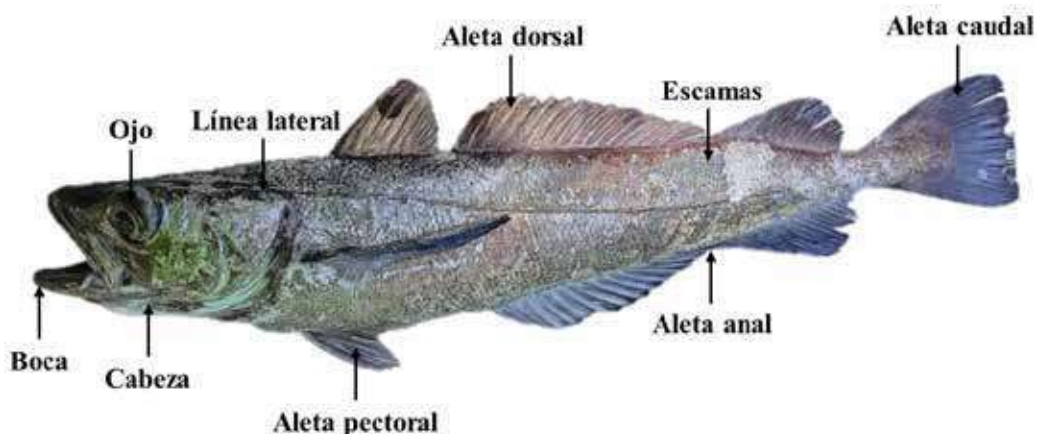


Figura 1. Morfología general de la merluza del Pacífico *Merluccius productus*. Fotografía modificada de Garay-Valdez (2023).

es de tal relevancia que de su existencia depende la estabilidad de los ecosistemas marinos donde habita. Por ello, es indispensable que su aprovechamiento pesquero considere este rol ecológico, con el fin de asegurar la sostenibilidad tanto de la especie como de los ecosistemas y las pesquerías que dependen de ella.

## DEL MAR AL PALADAR

Las merluzas representan un alimento de alto valor nutricional. Su carne contiene una baja concentración de lípidos (menor al 2%) y un alto porcentaje de proteínas de alta calidad (17 y 22 g de proteína por cada 100 g de tejido crudo), lo que las sitúa dentro del grupo de pescados magros de alto valor nutricional y, además, son fuente de ácidos grasos poliinsaturados de la serie omega-3, reconocidos por su contribución a la salud cardiovascular (Özden y Erkan, 2008; FAO, 2022, 2023). Asimismo, constituyen una fuente de micronutrientes esenciales como selenio, fósforo y vitaminas del complejo B, que participan en el metabolismo energético y en la protección celular frente al estrés oxidativo (Tocher, 2015); esto último, ayuda a prevenir el desarrollo de enfermedades (p. ej. cáncer) y el envejecimiento prematuro (Pizzino *et al.*, 2017). Aunque los estudios bioquímicos específicos para la merluza del Pacífico (*M. productus*) en aguas mexicanas aún son limitados, investigaciones paralelas han mostrado que los hidrolizados proteicos obtenidos del músculo de *M. productus* presentan alta solubilidad y propiedades funcionales de interés para la industria alimentaria y nutracéutica (Pacheco-Aguilar *et al.*, 2008).

En las costas mexicanas, la merluza ha ido ganando presencia en la gastronomía regional, hasta convertirse en un producto marino tan apreciado como el lenguado. A nivel internacional, su calidad nutricional es comparable a la de otros pescados de carne blanca ampliamente consumidos, como el bacalao (*Gadus morhua*) o la merluza europea (*Merluccius merluccius*) (Roncarati *et al.*, 2012). En México, la preparación de merluza varía según las tradiciones culinarias locales. En estados como Baja California y Sinaloa suele cocinarse comúnmente frita o empanizada, mientras que en diversas comunidades del GC forma parte de caldos y guisos típicos —como ceviches, albóndigas y deditos—. Por otro lado, en la cocina urbana contemporánea de la Ciudad de México se ha incorporado a elaboraciones más modernas, como tartares (pescado crudo picado finamente), ceviches reinterpretados o preparaciones confitadas (Figura 3). En conjunto, la inclusión de la merluza en la dieta mexicana no solo amplía las opciones gastronómicas disponibles sino que, también, contribuye a la diversificación culinaria basada en el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos locales.

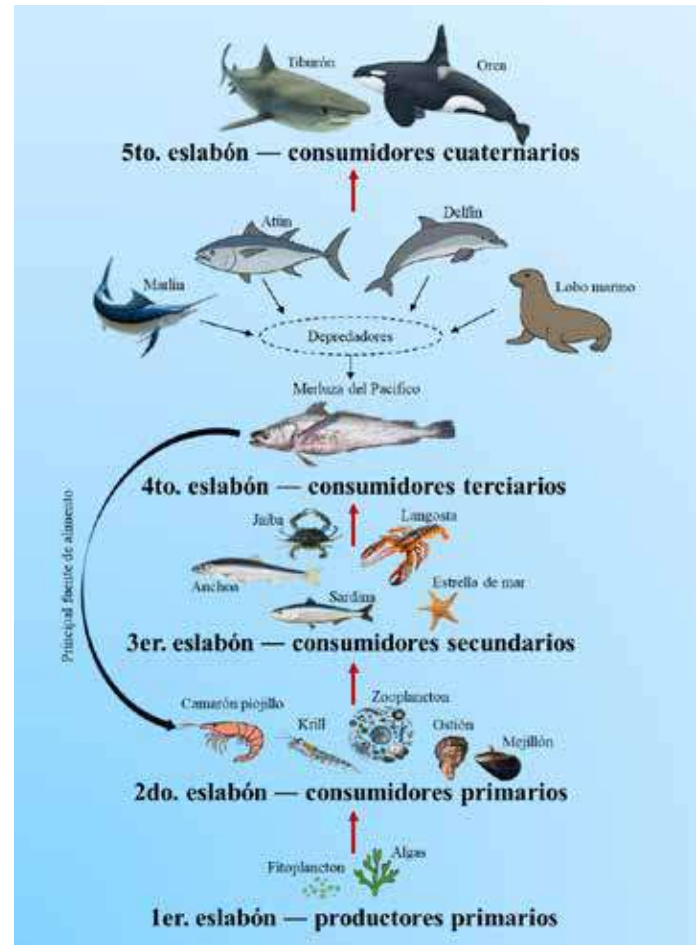


Figura 2. Diagrama básico de la red o “cadena” trófica y papel ecológico de la merluza del Pacífico *Merluccius productus*.



Figura 3. Diversidad gastronómica de preparaciones con merluza del Pacífico en México. a) Filete fresco de merluza envasado al alto vacío (Fuente: Sociedad Acuicola GOLPAC, Puerto Peñasco, Sonora). b) Ajoblanco con merluza confitada, aceite de hierbas y ensalada de kale (Fuente: Secretaría de Pesca y Acuicultura). c) Ceviche de merluza (Fuente: Desafío Culinario del Mes de la Juventud 2025, San Felipe, Baja California). d) Tacos de merluza envuelta en hoja de nori con tortilla de plátano macho (Fuente: Secretaría de Pesca y Acuicultura). e) Merluza en salsa morlón con un toque de nuez moscada (Fuente: Primer Foro de Sustentabilidad Pesquera, Mazatlán, Sinaloa). f) Merluza sellada acompañada de mole verde de quelites y mousseline de coliflor (Fuente: Secretaría de Pesca y Acuicultura).

Desde una perspectiva económica, el precio de la merluza presenta variaciones a lo largo de la cadena productiva de valor. En 2017, el precio promedio de primera venta para merluza descabezada fue de \$12.15 MXN por kilogramo (kg), cifra que representa el valor en muelle (EDF, 2017). En el mercado nacional, el precio al consumidor final se ha reportado en un rango aproximado de \$85.94 a \$120.39 MXN por kg, evidenciando el margen asociado a los procesos de intermediación, distribución y comercialización (Selina Wamucii, 2026). En el sector restaurantero, el precio incorpora un valor agregado derivado de la transformación culinaria, el servicio y el posicionamiento del establecimiento. En ciudades costeras del noroeste del país, un filete frito o empanizado puede ofertarse entre \$160 y \$250 MXN por porción; en marisquerías urbanas, entre \$220 y \$350 MXN; y en restaurantes de cocina contemporánea en la Ciudad de México, preparaciones de mayor complejidad pueden alcanzar precios de \$300 a \$480 MXN por plato.

## CONSUMO SEGURO

En los últimos años, los consumidores han mostrado un creciente interés por asegurarse de que el pescado que comen sea realmente inocuo, es decir, que no represente riesgo para la salud y que provenga de ecosistemas saludables. En ese sentido, la merluza del Pacífico se perfila como un alimento seguro y beneficioso dentro de una dieta equilibrada. Entre los contaminantes que más se vigilan en productos pesqueros destacan los metales pesados —especialmente el mercurio (Hg)— debido a su potencial toxicidad (Isangedighi y Gift, 2019). Estudios recientes en ejemplares de *M. productus* capturados en el norte del GC muestran un panorama tranquilizador: las concentraciones de Hg y selenio (Se) detectadas en el músculo e hígado son moderadas y además, la relación molar Se:Hg es superior a 1, lo que indica un bajo riesgo toxicológico para el consumo humano, de manera que tanto adultos como niños pueden consumir raciones semanales sin ningún riesgo (Acosta-Lizárraga *et al.*, 2020).

## PESCA RESPONSABLE

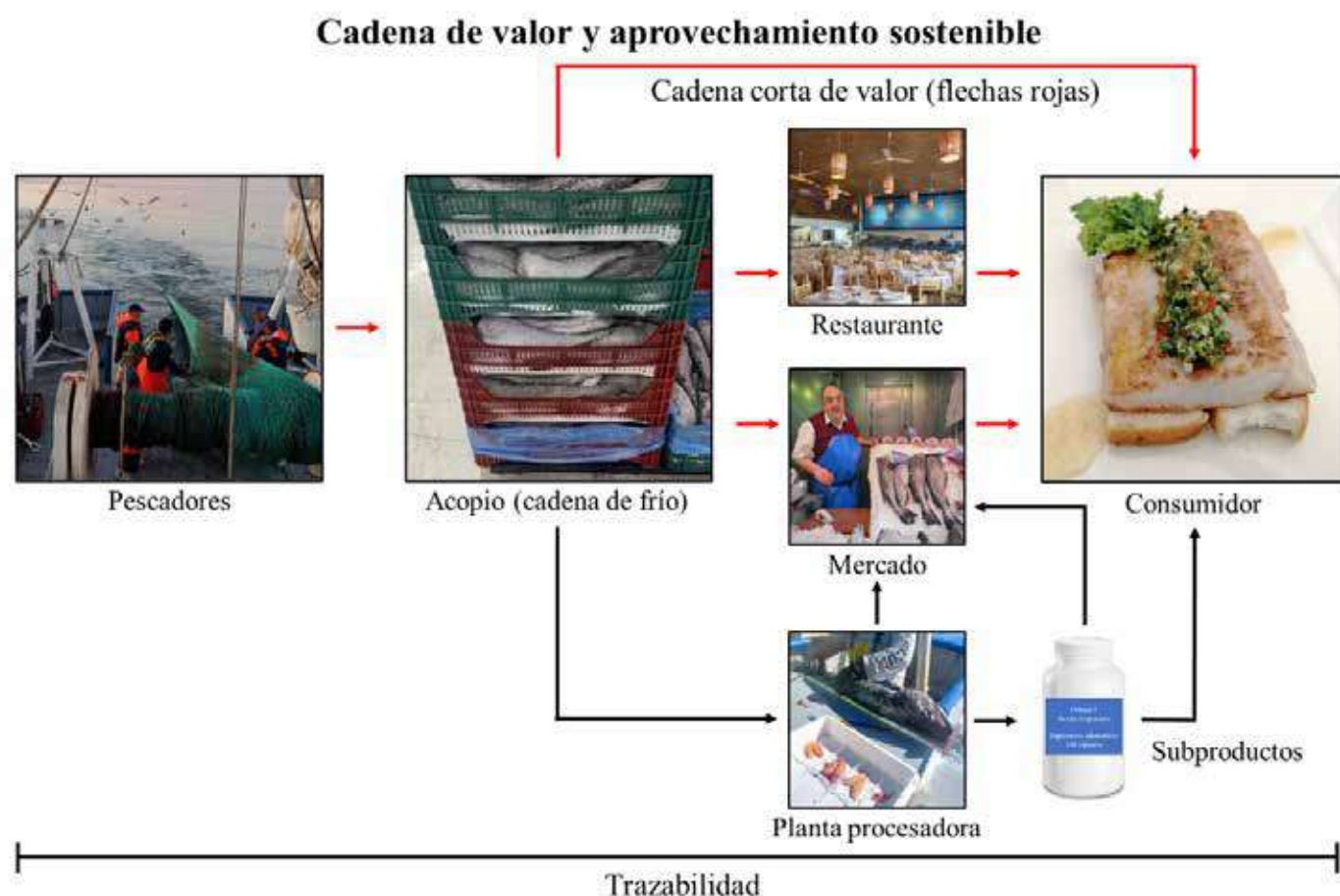
En los últimos años, el interés por aprovechar comercialmente la merluza del Pacífico (*M. productus*) en el GC ha aumentado. Tan solo en 2018, el Gobierno de México otorgó 80 permisos para evaluar si este recurso pudiera convertirse en una nueva pesquería en la región (DOF, 2018) ya que, tradicionalmente, el esfuerzo pesquero de la región está representado principalmente por barcos camaroneros, es decir, embarcaciones de gran tamaño diseñadas para navegación oceánica. Estos barcos han demostrado

ser aproximadamente 1.5 veces más eficientes que las embarcaciones pequeñas —lanchas costeras— al medir la captura por unidad de esfuerzo (CPUE, por sus siglas en inglés), un indicador que refleja la eficiencia pesquera (Parra-Alaníz y Ramírez-Rodríguez, 2019). Sin embargo, convertir un descubrimiento científico —la presencia de un recurso potencialmente explotable— en una pesquería económicamente rentable y ecológicamente responsable implica importantes desafíos de manejo.

La literatura especializada recomienda marcos de gestión basados en la evaluación continua del recurso, el uso de reglas de control adaptativas y la aplicación de modelos de simulación que consideren la incertidumbre ambiental y ecológica (DOF, 2019). En este sentido, la pesquería de merluza en México ya cuenta con un programa de evaluación a cargo del Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS), además de instrumentos legales y normativos en proceso de elaboración, como el Plan de Manejo Pesquero y el proyecto de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SAG/PESC-2019, que establecen las especificaciones técnicas para su aprovechamiento sostenible (DOF, 2019). Entre las medidas definidas destaca la implementación de cuotas de captura, una estrategia ampliamente reconocida a nivel internacional por su eficiencia para evitar la sobreexplotación y mantener poblaciones saludables de merluza (Sotelo-Gonzalez *et al.*, 2025). No obstante, la adopción de cuotas en México requirió de un proceso de diálogo y aceptación por parte del sector pesquero, condición indispensable para asegurar su viabilidad social y operativa de largo plazo. Asimismo, este esquema implica una inversión significativa en financiamiento, personal técnico, monitoreo continuo del recurso y diseño de mecanismos eficaces para el seguimiento y cumplimiento de las cuotas (Álvarez-Trasviña *et al.*, 2020).

## OPORTUNIDADES PARA LA MERLUZA

El futuro y la sostenibilidad de esta pesquería emergente depende de varios factores que van desde la regulación hasta las decisiones que tomamos como consumidores. En primer lugar, es fundamental cumplir con el plan de manejo pesquero y con la normativa vigente. Sin embargo, la sostenibilidad no recae únicamente en quienes pescan. También depende del comportamiento de los consumidores y del compromiso del sector gastronómico, en términos de preferencias y compras responsables. Elegir productos locales y preferir cadenas cortas de valor —es decir, aquellas que conectan directamente a pescadores, mercados y restaurantes— ayuda a reducir la huella ambiental asociada a procesos como la refrigeración y al transporte, al mismo tiempo que fortalecen las economías costeras (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema de las cadenas de valor de la merluza del Pacífico en México, destacando oportunidades de sostenibilidad en cada etapa del proceso productivo.

El consumidor también puede impulsar la sostenibilidad del recurso al buscar productos certificados y con trazabilidad documentada. Una certificación indica que la pesquería implementa prácticas responsables, mientras que la trazabilidad asegura que el producto proviene de un origen legal y verificable. En este sentido, la pesquería de merluza del Pacífico avanza de forma notable: actualmente participa en el Programa *In-Transition to Marine Stewardship Council*, lo que abre la posibilidad de que en un futuro cercano sus productos cuenten con un sello de certificación reconocido internacionalmente.

Otro elemento clave para la sostenibilidad de esta pesquería es adoptar la idea de “crear más valor sin pescar más”. Una forma de lograrlo es aprovechar los desechos generados durante el fileteado —como cabeza, vísceras, esqueleto, aletas y piel— para producir subproductos de mayor valor agregado (Caruso *et al.*, 2020). Esta estrategia permite el uso integral de la merluza, la reducción del desperdicio alimentario y la promoción de un consumo más responsable. Además, puede mejorar los ingresos del sector sin incrementar la presión sobre la población de merluza

ni sobre el ecosistema marino. El aprovechamiento de estos subproductos no solo beneficia a la pesquería, sino también a la salud humana, ya que la idea de los potenciales subproductos se centra en el aprovechamiento de componentes bioactivos, como ácidos grasos esenciales y colágeno (Caruso *et al.*, 2020) que llegarán a la población humana para impactar de forma positiva en la salud.

## EL COMPROMISO DE LA CIENCIA

La convergencia entre ciencia y la participación social abre la puerta a nuevas formas de gobernanza más inclusivas y efectivas. Por un lado, la oceanografía y la biología pesquera aportan información clave — como tallas, edades, abundancia y distribución de las especies— que ayuda a comprender el estado real de los ecosistemas marinos. Por otro lado, las comunidades costeras aportan un conocimiento empírico sobre los mejores periodos de captura, las migraciones y las técnicas tradicionales. Cuando ambos tipos de conocimiento se integran, se pueden desarrollar estrategias más justas y eficaces para todos.

La sostenibilidad deja de ser un concepto técnico para convertirse en algo comprensible, aplicable y cercano a la vida cotidiana. En este proceso, los chefs, cocineros y la cocina casera desempeñan un papel fundamental. A través de sus recetas y su creatividad, reinterpretan los ingredientes locales, añaden valor cultural y ayudan a que los consumidores aprecien mejor los productos del mar. De esta forma, la cocina se consolida como aliada del consumo responsable, al promover un público mejor informado y, por tanto, más consciente y exigente. Al mismo tiempo, la investigación desarrollada en universidades y centros de investigación especializados mantiene su compromiso de continuar generando nuevas alternativas para aprovechar de manera integral los recursos marinos, incluyendo la valorización de subproductos y desechos que antes se desaprovechaban.

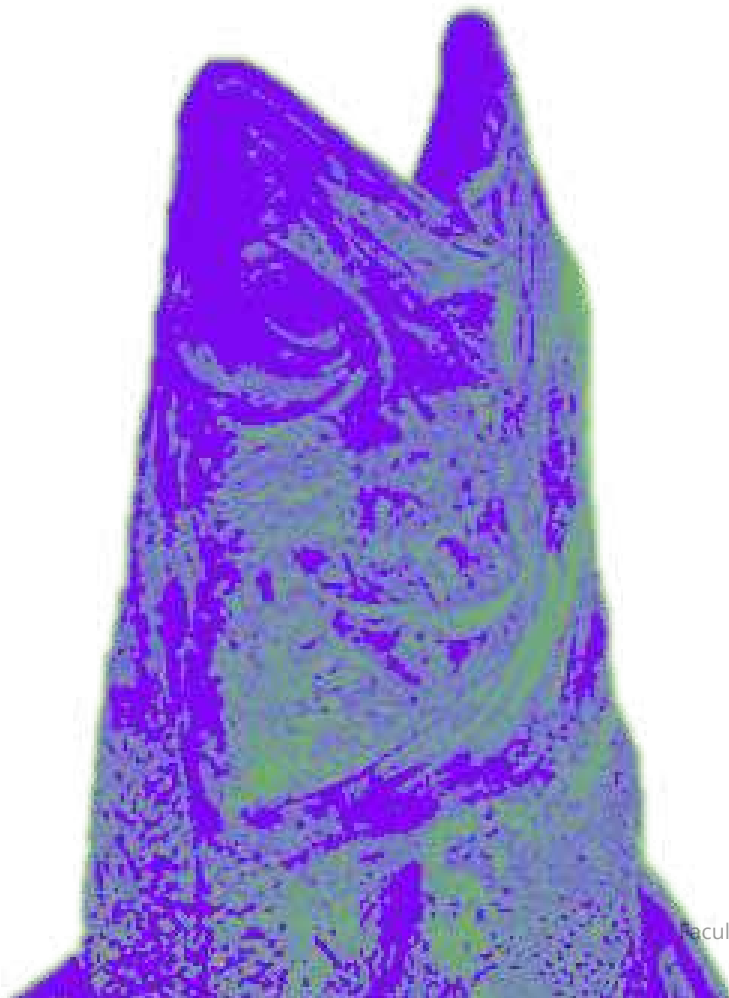
## CONCLUSIÓN

La merluza del Pacífico, en consecuencia, representa mucho más que un alimento apreciado por su sabor. Es un símbolo de la interdependencia entre la ciencia,

la economía y la cultura culinaria mexicana. Su aprovechamiento responsable requiere articular tres dimensiones: el conocimiento científico que permite comprender su ecología y dinámica poblacional, así como descubrir alternativas de aprovechamiento; las políticas de manejo que regulan su extracción; y la participación social y gastronómica que asegura su valorización sostenible. Si en México se logra integrar esta tríada de elementos, *M. productus* podría consolidarse como un destacado ejemplo de recurso marino que contribuye simultáneamente al bienestar alimentario, al desarrollo costero y a la preservación de la biodiversidad marina.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables y al Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera Guaymas por el financiamiento del proyecto "Merluza" durante el periodo 2014-2025. Todos los autores son miembros del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII).



# Literatura citada



- Acosta-Lizárraga, L.G., M.E. Bergés-Tiznado, C. Bojórquez-Sánchez, C.C. Osuna-Martínez, F. Páez-Osuna. 2020. Bioaccumulation of mercury and selenium in tissues of the mesopelagic fish Pacific hake (*Merluccius productus*) from the northern Gulf of California and the risk assessment on human health. *Chemosphere*. 255: 126941. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126941>
- Álvarez-Trasviña, E., D.I. Arizmendi-Rodríguez, E. Marín-Enríquez, L.A. Salcido-Guevara, R. Sánchez-Cárdenas, G. Rodríguez-Domínguez. 2022. Distribution and abundance of the Pacific hake, "*Merluccius productus*", and relationship with the environment in the Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas*. 48 (1): 39-56. <https://doi.org/10.7773/cm.y2022.3256>
- Arizmendi-Rodríguez, D.I., E. Álvarez-Trasviña, V.H. Cruz-Escalona, C. Enciso-Enciso, R. Rosas-Luis, M.S. Zúñiga-Flores. 2026. *Merluccius productus*: evidence of a specialized predator in the Gulf of California ecosystem. *Marine Ecology*. 0: e70072. <https://doi.org/10.1111/maec.70072>
- Buckley, T.W., P.A. Livingston. 1997. Geographic variation in the diet of pacific hake, with a note on cannibalism. *CalCOFI Reports*. 38: 1997.
- Caruso, G., R. Floris, C. Serangeli, L. Di Paola. 2020. Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: biomolecules sources, extraction methods and valorization. *Marine Drugs*. 18 (12): 622. <https://doi.org/10.3390/md18120622>
- Denton-Castillo, J. 2018. Agregaciones y aspectos reproductivos de la merluza *Merluccius productus* (Ayres, 1855) en el centro y norte del Golfo de California. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México.
- DOF. 2018. Ley general de pesca y acuicultura sustentables. Diario Oficial de la Federación (DOF). En: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/334832/DOF\\_-\\_CNP\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/334832/DOF_-_CNP_2017.pdf) (consultado el 01/11/2025).
- DOF. 2019. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-020-SAG/PESC-2019, especificaciones para regular el aprovechamiento de merluza (*Merluccius productus*) en aguas de jurisdicción federal del litoral del Océano Pacífico y el Golfo de California. En: [https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/8023/sader11\\_C/sader11\\_C.html](https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/8023/sader11_C/sader11_C.html) (consultado el 30/10/2025).
- EDF. 2017. Resultados económicos de la temporada de merluza 2017. Environmental Defense Fund. En: [https://mexico.edf.org/sites/default/files/reporte\\_merluza\\_2017\\_final.pdf](https://mexico.edf.org/sites/default/files/reporte_merluza_2017_final.pdf) (consultado el 25/02/2026).
- FAO. 2022. Fishery and Aquaculture Statistics 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. En: <https://www.fao.org/fishery> (consultado el 25/11/2025).
- FAO. 2023. The State of World Fisheries and Aquaculture 2023: Towards Blue Transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. En: <https://www.fao.org> (consultado el 05/12/2025).
- Funes-Rodríguez, R., J.F. Elorduy-Garay, A. Hinojosa-Medina, A. Zárate-Villafranco. 2009. Interannual distribution of Pacific hake *Merluccius productus* larvae in the southern part of the California Current. *Journal of Fish Biology*. 75 (3): 630-646. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02327.x>
- Garay-Valdez, L. M. 2023. Desarrollo gonadal de *Merluccius productus* (Gadiformes, Merlucciidae) del centro y alto Golfo de California. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México.
- Holmlund, C.M., M. Hammer. 1999. Ecosystem services generated by fish populations. *Ecological Economics*. 29 (2): 253-268. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00015-4)
- Isangedighi, A.I., S.D. Gift. 2019. Heavy metals contamination in fish: effects on human health. *Journal of Aquatic Science and Marine Biology*. 2 (4): 7-12.
- Lloris, D., J. Matallanas, P. Oliver. 2005. Hakes of the world (family Merlucciidae): an annotated and illustrated catalogue of hake species known to date. No. 2. FAO. Roma, Italia, 170 pp.
- Morales-Zárate, M. V. 2024. Modelación del rol ecológico de la merluza (*Merluccius productus*) en el sistema demersal del golfo de California, México. Environmental Defense Fund, 38 pp.
- Özden, Ö., N. Erkan. 2008. Comparison of biochemical composition of three aqua cultured fishes (*Dicentrarchus labrax*, *Sparus aurata*, *Dentex dentex*). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 59 (7-8): 545-57. <https://doi.org/10.1080/09637480701400729>
- Pacheco-Aguilar, R., M.A. Mazorra-Manzano, J.C. Ramírez-Suárez. 2008. Functional properties of fish protein hydrolysates from Pacific whiting (*Merluccius productus*) muscle produced by a commercial protease. *Food Chemistry*. 109(4): 782-789. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.047>
- Parra-Alaníz, M.A., M. Ramírez-Rodríguez. 2019. Fleet efficiency in the Pacific hake (*Merluccius productus*) fishery in the Gulf of California, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 50(1): 90-109. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue1-full-text-2729>
- Pizzino, G., N. Irrera, M. Cucinotta, G. Pallio, F. Mannino, V. Arcoraci, F. Squadrito, D. Altavilla, A. Bitto. 2017. Oxidative stress: harms and benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2017: 8416763. <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>
- Roncarati, A., G. Brambilla, A. Meluzzi, A.L. Iamiceli, R. Fanelli, I. Moret, A. Ubaldi, R. Miniero, F. Sirri, P. Melotti, A. di Domenico. 2012. Fatty acid profile and proximate composition of fillets from *Engraulis encrasicolus*, *Mullus barbatus*, *Merluccius merluccius* and *Sarda sarda* caught in Tyrrhenian, Adriatic and Ionian seas. *Journal of Applied Ichthyology*. 28 (2012): 545-552. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.01948.x>
- Selina Wamucii. 2026. Mexico hake prices. En: [https://www.selinawamucii.com/insights/prices/mexico/hake/?utm\\_source=chatgpt.com#retail-prices](https://www.selinawamucii.com/insights/prices/mexico/hake/?utm_source=chatgpt.com#retail-prices) (consultado el 28/02/2026).
- Sotelo-González, M.I., D.I. Arizmendi-Rodríguez, R. Sánchez-Cárdenas, L.A. Salcido-Guevara, C.H. Sepulveda, E. Álvarez-Trasviña, A. Valdez-Pelayo. 2025. Importancia de la pesquería de la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) en México. *Ciencia y Mar*. 29 (87): 79-87. <https://doi.org/10.59673/cym.v29i87.72>
- Tocher, D.R. 2015. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*. 449: 94-107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>
- Valls, A., M. Coll, V. Christensen. 2015. Keystone species: toward an operational concept for marine biodiversity conservation. *Ecological Monographs*. 85 (1): 29-47. <https://doi.org/10.1890/14-0306.1>
- Wilhelm, M.R., A. Jarre, C.L. Moloney. 2015. Spawning and nursery areas, longitudinal and cross-shelf migrations of the *Merluccius capensis* stock in the northern Benguela. *Fisheries Oceanography*. 24 (S1): 31-45.
- Zamora-García, Ó.G., A. Stavrinaky-Suárez. 2018. Environmental Defense Fund de México A.C.



# DEL SUBPRODUCTO AL CARAMELO: EL POTENCIAL DEL SUERO LÁCTEO EN PRODUCTOS DE CONFITERÍA

/// LAURA GARCÍA-CURIEL<sup>1,2</sup>, JESÚS GUADALUPE PÉREZ-FLORES<sup>1,3\*</sup>, ALMA  
ELIZABETH CRUZ-GUERRERO<sup>2</sup>, EMMANUEL PÉREZ-ESCALANTE<sup>3</sup>,  
ELIZABETH CONTRERAS-LÓPEZ<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Área Académica de Enfermería, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Circuito Ex Hacienda La Concepción S/N, Carretera Pachuca-Actopan, 42060 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Departamento de Biotecnología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Iztapalapa, Ciudad de México, 09340, México.

<sup>3</sup>Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

\*Corresponding author email: [jesus\\_perez@uaeh.edu.mx](mailto:jesus_perez@uaeh.edu.mx)

## RESUMEN

El suero lácteo es un subproducto que se genera en grandes volúmenes durante la elaboración de quesos y otros productos lácteos. A pesar de su alto valor nutricional, con frecuencia es desechado, lo que representa un problema ambiental y económico, especialmente para pequeñas y medianas industrias. Este artículo examina su aprovechamiento en productos de confitería como caramelos, gomitas y malvaviscos, a partir de una revisión documental enfocada en sus propiedades tecnológicas, sensoriales y nutricionales. Diversos estudios han reportado que el suero, transformado en hidrolizados proteicos, galacto-oligosacáridos o concentrados proteicos, puede mejorar la textura de los productos, actuar como emulsionante y aportar péptidos bioactivos con funciones antioxidantes, inmunomoduladoras o prebióticas. Sin embargo, también se identificaron desafíos, como la presencia de un sabor residual, cambios en el color o dificultades en la manipulación durante el proceso de formulación. Estos aspectos se han abordado mediante estrategias como la selección del tipo de suero, el grado de hidrólisis y la incorporación de edulcorantes y colorantes naturales. El creciente interés del consumidor por alimentos con beneficios para la salud, sin sacrificar el sabor ni la apariencia, ha favorecido el desarrollo de confitería funcional basada en ingredientes alternativos. La literatura revisada muestra que la valorización del suero lácteo representa una oportunidad real para transformar un residuo agroindustrial en un ingrediente funcional con aplicaciones innovadoras, sostenibles y comercialmente viables.

## ABSTRACT

Whey is a by-product generated in large volumes during the production of cheese and other dairy products. Despite its high nutritional value, it is often discarded, posing environmental and economic challenges, particularly for small and medium-sized enterprises. This article explores its potential use in confectionery products such as candies, gummies, and marshmallows, based on a literature review focused on its technological, sensory, and nutritional properties. Scientific studies report that whey, when processed into protein hydrolysates, galacto-oligosaccharides, or protein concentrates, can improve product texture, act as an emulsifier, and provide bioactive peptides with antioxidant, immunomodulatory, or prebiotic functions. However, some challenges have also been identified, such as residual flavors, color instability, and difficulties in handling during formulation. These issues have been addressed through strategies such as selecting the type of whey, adjusting the degree of hydrolysis, and incorporating natural sweeteners or colorants. The growing consumer interest in health-promoting sweets, without compromising flavor or appearance, has driven the development of functional confectionery based on alternative ingredients. The reviewed literature shows that whey valorization offers a viable path to transform an agro-industrial by-product into a functional ingredient with innovative, sustainable, and commercially promising applications.



**Palabras clave:** Confitería funcional, innovación alimentaria sostenible, péptidos bioactivos, prebióticos, subproductos lácteos, valorización del suero lácteo.

**Keywords:** Bioactive peptides, dairy by-products, functional confectionery, prebiotics, sustainable food innovation, whey valorization.

## 1. INTRODUCCIÓN: ¿POR QUÉ HABLAR DE ESTO HOY?

Cada año, la industria láctea produce más de 200 millones de toneladas de suero, un líquido que se genera principalmente durante la elaboración de queso y yogur (Chen *et al.*, 2023). Aunque a simple vista parezca un residuo sin valor, su eliminación inadecuada puede causar problemas ambientales. El suero presenta una alta carga orgánica, debida sobre todo a su elevado contenido de lactosa y a la presencia de proteínas solubles, lo que lo convierte en una fuente potencial de contaminación si se vierte sin tratamiento en ríos o cuerpos de agua. Esta composición incrementa la demanda química de oxígeno (DQO) del medio receptor, lo que reduce la disponibilidad de oxígeno y favorece alteraciones del equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Soumati *et al.*, 2023). Para procesarlo de forma segura, se requiere infraestructura costosa, lo que resulta difícil de asumir para muchas pequeñas y medianas empresas (Amaral y Silva, 2021).

Ante esta problemática, ha crecido el interés por aprovechar el suero en lugar de desecharlo. Este enfoque, conocido como valorización de residuos agroindustriales, busca reducir el impacto ambiental y, al mismo tiempo, generar productos con valor añadido (Ribeiro Fortes *et al.*, 2024). Así, el suero ha sido incorporado en bebidas fermentadas, como bebidas probióticas o formulaciones frutales fermentadas; en suplementos, por ejemplo, bebidas deportivas o proteicas; y en alimentos funcionales, como cremas untables o bebidas enriquecidas con compuestos bioactivos (AbdulAlim *et al.*, 2018; Salgado *et al.*, 2023; Skryplonek *et al.*, 2019; Trindade *et al.*, 2019). Además, mediante procesos enzimáticos, la lactosa puede transformarse en galacto-oligosacáridos (GOS) e incluso en azúcares más simples, como glucosa y galactosa, compuestos de interés tecnológico y nutricional (Geiger *et al.*, 2016; Limnaios *et al.*, 2023).

Entre las aplicaciones más recientes destaca su uso en confitería: desde caramelos y gomitas hasta productos tradicionales revalorizados, como el *kishk*, una mezcla fermentada de leche y trigo, tradicional de Medio Oriente, que suele elaborarse con yogur y trigo precocido partido (*bulgur*), y en cuya reformulación se ha evaluado el uso de suero ácido concentrado como sustituto de la leche fermentada (Dimassi, 2024). El suero también puede utilizarse como base para procesos de fermentación o de producción biológica, por ejemplo, para la obtención de biomasa microbiana, compuestos bioactivos o ingredientes funcionales con potencial de beneficio para la salud (Delgado-Macuil *et al.*, 2025; Ribeiro Fortes *et al.*, 2024).

En particular, la incorporación de concentrado de proteína de suero en dulces funcionales ha mostrado beneficios como un mejor perfil nutricional y una reducción del aporte calórico cuando se combina con edulcorantes

alternativos, como el isomalt, un poliol de bajo contenido calórico y escaso efecto sobre la glucosa en sangre, o el jarabe de alcachofa de Jerusalén, utilizado como sustituto parcial del azúcar y valorado por su contenido de fructanos tipo inulina, asociados con efecto prebiótico (Lazarev y Ershova, 2023; Mudannayake *et al.*, 2022; Qin *et al.*, 2023).

Por su capacidad para unir ciencia, salud y placer sensorial, entendido como la experiencia agradable que provoca el sabor, la textura y el aroma de un alimento, el uso del suero en confitería funcional representa una alternativa prometedora. Convertir un subproducto en un dulce nutritivo permite repensar el valor de lo que antes se consideraba desperdicio. Por ello, el objetivo de esta revisión fue explorar el uso del suero lácteo como ingrediente funcional en productos de confitería, y analizar sus ventajas tecnológicas, sensoriales y nutricionales en el desarrollo de dulces más sostenibles.

En este sentido, las proteínas del suero aportan valor nutricional y, al mismo tiempo, presentan propiedades tecnológicas de interés en sistemas de confitería, entre ellas la emulsificación, la formación de espuma y geles, así como la estabilización de matrices complejas, lo que favorece el ajuste de la textura, la estructura y la aceptabilidad del producto final (Andoyo *et al.*, 2023; Ghanimah, 2018; Kalinovskaya y Bogodist, 2021; Lazarev y Ershova, 2023).

Para facilitar la comprensión de los términos técnicos que aparecen a lo largo del texto, en la Figura 1 se incluye un glosario visual que explica de manera sencilla qué son y para qué sirven ingredientes como el concentrado y el aislado de proteína de suero (WPC y WPI), los GOS y los péptidos bioactivos, todos ellos utilizados en la elaboración de dulces como gomitas, caramelos o malvaviscos.

## 2. ¿QUÉ ES EL SUERO LÁCTEO Y POR QUÉ SUELE DESECHARSE?

Cada año, la industria láctea genera más de 200 millones de toneladas de suero, lo que ilustra la magnitud del reto asociado a su aprovechamiento y disposición (Chen *et al.*, 2023). El suero lácteo es el líquido resultante de la coagulación de la leche durante la elaboración de quesos o productos fermentados como el yogur. Existen dos tipos principales: el suero dulce, generado en la producción de quesos duros mediante cuajo, y el suero ácido, derivado de la elaboración de quesos blandos o yogur mediante acidificación (Goyal *et al.*, 2023; Yadav *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista de su composición, el suero contiene alrededor del 75% de la lactosa presente en la leche, entre un 12% y 14% de proteínas solubles, así como minerales, vitaminas y ácidos orgánicos (Alkan *et al.*, 2019). Las proteínas predominantes,  $\beta$ -lactoglobulina y



**Figura 1.** Glosario visual de términos e ingredientes derivados del suero lácteo utilizados en productos de confitería. Se ilustran y definen conceptos clave como WPC, WPI, GOS y péptidos bioactivos, con el fin de facilitar su comprensión y contextualización en la formulación de caramelos, gomitas y malvaviscos.

$\alpha$ -lactoalbúmina, poseen alto valor nutricional y funcional, lo que ha motivado su estudio como ingredientes en productos alimenticios enriquecidos (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2020). Por ejemplo, se han incorporado en galletas suplementadas con concentrado de proteína de suero, en bebidas formuladas a base de suero y en cremas unttables enriquecidas con  $\beta$ -glucanos, lo que evidencia su versatilidad en el diseño de alimentos con valor añadido (Ahmed *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2015; Zanon *et al.*, 2020). Por su riqueza en compuestos útiles, el suero se considera un recurso con potencial para aplicaciones alimentarias y biotecnológicas. Entre estas últimas se ha explorado su uso en procesos de fermentación para obtener bioetanol, biomasa microbiana, ácidos orgánicos y otros ingredientes funcionales de interés industrial (Goyal *et al.*, 2023; Zotta *et al.*, 2020).

Sin embargo, en la práctica, su aprovechamiento sigue siendo limitado. Su alto contenido de materia orgánica, medido mediante parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la DQO, dificulta su eliminación sin causar daños ambientales. Además, se ha estimado que una fracción importante del suero producido a nivel mundial aún no se valoriza adecuadamente, lo que incrementa las pérdidas de nutrientes y la presión ambiental asociada a su disposición (Soumati *et al.*, 2023). Si se vierte sin tratamiento, puede contaminar ríos o lagos, provocando eutrofización (una acumulación excesiva de nutrientes que altera el equilibrio del ecosistema) y otros efectos negativos sobre los microorganismos acuáticos (Zandona *et al.*, 2021). Además, su tratamiento requiere tecnologías costosas, lo que representa un obstáculo para muchas pequeñas y medianas empresas (Almeida *et al.*, 2023).

El suero ácido es aún más problemático debido a su bajo pH y menor estabilidad microbiológica, lo que

dificulta su reutilización directa (Sudibyo *et al.*, 2021). Aunque se han propuesto alternativas como el uso de biodigestores para convertirlo en energía (biogás) mediante digestión anaerobia, su aplicación a gran escala aún es limitada (Almeida *et al.*, 2023). También se están desarrollando modelos de biorrefinería, donde el suero se transforma en productos como etanol, ácidos orgánicos o ingredientes funcionales, aunque su viabilidad técnica y económica sigue en evaluación (Goyal *et al.*, 2023; Rosseto *et al.*, 2023).

Aprovechar el suero lácteo implica encontrar formas de integrarlo en productos atractivos, estables y funcionales, además de resolver un problema ambiental. El reto está en hacerlo compatible con las demandas del mercado, sin perder de vista su potencial nutricional y tecnológico.

### 3. DE DESECHO A RECURSO: POTENCIAL Y APLICACIONES DEL SUERO LÁCTEO

La forma en que se percibe el suero lácteo en los ámbitos científico y alimentario ha cambiado de manera importante. Lo que durante mucho tiempo se trató como un residuo difícil de manejar ahora se reconoce como una materia prima con múltiples posibilidades de aprovechamiento en sistemas alimentarios y biotecnológicos (Panghal *et al.*, 2018; Soumati *et al.*, 2023; Svntzouri *et al.*, 2025).

Uno de los usos más extendidos ha sido el desarrollo de bebidas a base de suero, incluidas bebidas deportivas, formulaciones fermentadas y productos orientados al bienestar físico, debido a su bajo costo y a su valor

funcional en matrices líquidas (Trindade *et al.*, 2019; Zotta *et al.*, 2020). También se ha incorporado a helados, postres y bebidas, combinados con otros ingredientes de origen vegetal o agroindustrial, lo que amplía su aprovechamiento en esquemas de formulación más sostenibles (Meneses, 2024; Salgado *et al.*, 2023; Trejo-Flores *et al.*, 2023). Además, se ha incorporado a bebidas, postres y otras formulaciones alimentarias con valor añadido, mientras que su aplicación en productos de confitería funcional se aborda con mayor detalle en una sección posterior de este manuscrito. En este panorama, el suero se perfila como un recurso aprovechable para el desarrollo de nuevos productos, por sus atributos tecnológicos y funcionales, así como por su potencial de integración en esquemas de formulación más sostenibles (Meneses, 2024; Trejo-Flores *et al.*, 2023; Zotta *et al.*, 2020).

Otra ruta de aprovechamiento se basa en la fermentación, en la que los microorganismos transforman los componentes del suero en productos de mayor valor añadido. Entre ellos se encuentran biomasa microbiana, bioetanol, ácidos orgánicos, bebidas fermentadas e ingredientes funcionales, lo que amplía su interés más allá del uso directo en alimentos convencionales (Goyal *et al.*, 2023; Kaya *et al.*, 2024; Zotta *et al.*, 2020). Esto ha reforzado su papel en estrategias de valorización orientadas a reducir desperdicios y a diversificar la oferta de productos.

El aprovechamiento del suero también se ha extendido a materiales con aplicaciones no alimentarias. Se han desarrollado bioplásticos, películas y empaques biodegradables a partir de compuestos derivados del suero, lo que contribuye a cerrar ciclos de uso en la cadena láctea y a disminuir la presión ambiental asociada a su disposición (Rosseto *et al.*, 2023; Tamošaitis *et al.*, 2022).

Estas aplicaciones muestran que valorar el suero lácteo implica mucho más que reincorporar un subproducto al sistema productivo. Supone integrarlo en esquemas de aprovechamiento en los que sus fracciones pueden destinarse a alimentos, ingredientes funcionales, bioprocesos y biomateriales, en sintonía con modelos de producción más sostenibles (Soumati *et al.*, 2023; Zandona *et al.*, 2021).

#### 4. EL AUQUE DE LOS ALIMENTOS FUNCIONALES

En los últimos años, los alimentos funcionales han pasado de ser una categoría emergente a ocupar un lugar destacado en la oferta alimentaria a nivel mundial. Aunque no existe una única definición aceptada, este término se usa para describir alimentos que, además de nutrir, apoyan la salud al prevenir enfermedades o al mejorar funciones del cuerpo, como la digestión, la

inmunidad o el metabolismo (Baker *et al.*, 2022; Rezai *et al.*, 2017). La idea surgió a finales del siglo XX y ha evolucionado con los avances científicos en nutrición, integrando compuestos como péptidos, polifenoles, prebióticos y probióticos, cuyos efectos positivos se han demostrado mediante biomarcadores, es decir, indicadores medibles en el cuerpo (Baker *et al.*, 2022).

En este contexto, el suero lácteo ha ganado protagonismo. Estudios recientes muestran que su consumo, especialmente el de sus fracciones proteicas, reduce los niveles de marcadores de inflamación, como la proteína C reactiva, la interleucina-6 y el TNF- $\alpha$ . Estos beneficios se han observado sobre todo en personas con sobrepeso, obesidad o enfermedades metabólicas (Stožinić *et al.*, 2024). Además, su incorporación en alimentos funcionales ya se ha explorado en matrices concretas, como bebidas fermentadas con cultivos probióticos y productos horneados enriquecidos con concentrado de proteína de suero, donde se han descrito mejoras en la viabilidad microbiana, el aporte proteico y la aceptabilidad del producto (Ahmed *et al.*, 2019; Skryplonek *et al.*, 2019). Estas aplicaciones muestran que el suero puede integrarse en formulaciones orientadas a la salud más allá de los lácteos tradicionales.

El interés por este tipo de alimentos se relaciona con una mayor conciencia sobre la conexión entre la dieta y la salud, en un mundo afectado por enfermedades crónicas y estilos de vida poco saludables (Gordana *et al.*, 2024; Verneau *et al.*, 2019). Factores como el envejecimiento de la población, el aumento del sobrepeso y la experiencia de la pandemia de COVID-19 han impulsado la búsqueda de alimentos que fortalezcan el sistema inmune, favorezcan la microbiota intestinal y apoyen la salud metabólica (Horská *et al.*, 2023; Wróbel *et al.*, 2021).

En esta tendencia, el suero lácteo ofrece ventajas tecnológicas y nutricionales que favorecen su uso en productos formulados para públicos con necesidades específicas, ya sea mediante bebidas con probióticos, ingredientes proteicos para suplementación o matrices horneadas enriquecidas (Ahmed *et al.*, 2019; Skryplonek *et al.*, 2019).

Cada vez más, los consumidores buscan alimentos que combinen placer y bienestar. Esto ha llevado a una transformación de categorías que antes se consideraban solo indulgentes, como las de los dulces. La idea de que un caramelo o una golosina pueda ser sabroso y, al mismo tiempo, saludable ha cambiado las expectativas, sobre todo entre mujeres y jóvenes, quienes tienden a preferir opciones con beneficios funcionales (Corso *et al.*, 2018; Domiter *et al.*, 2020; MI *et al.*, 2023).

En el mercado, los alimentos funcionales han pasado de

estar centrados en productos fortificados (como leches con vitaminas o yogures con probióticos) a desarrollar nuevas matrices, es decir, presentaciones como *snacks*, bebidas o confitería, que integran ingredientes naturales con propiedades bioactivas (Palmieri *et al.*, 2022). Además, las regulaciones en varios países exigen que las declaraciones de salud estén respaldadas por evidencia científica, lo que ha elevado el nivel de exigencia en la formulación de estos productos (Vecchio *et al.*, 2016).

En este escenario, el suero de leche se perfila como un ingrediente con potencial para el desarrollo de productos de confitería funcional. Por ejemplo, ya se ha evaluado su uso en malvaviscos o pastillas de bajo aporte calórico enriquecidos con concentrado de proteína de suero y edulcorantes alternativos, con incrementos en el contenido proteico y formulaciones de menor densidad energética (Lazarev y Ershova, 2023). Todo este contexto abre oportunidades para ingredientes no convencionales, como el suero lácteo, que, por su riqueza nutricional y versatilidad tecnológica, se perfila como un candidato viable para diseñar dulces funcionales que promuevan la salud sin renunciar al sabor.

## 5. DULCES FUNCIONALES: MÁS ALLÁ DEL GUSTO

Los dulces funcionales son productos de confitería que, además de tener un sabor agradable, contienen ingredientes bioactivos que pueden aportar beneficios para la salud. A diferencia de los dulces tradicionales, estas formulaciones incluyen compuestos como probióticos, péptidos antioxidantes, colágeno, vitaminas o fibras prebióticas, que pueden favorecer la digestión, el sistema inmunológico o el metabolismo (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Esfahani y Goli, 2022). En esta categoría se encuentran, por ejemplo, gomitas con colágeno, caramelos con probióticos, barritas con proteínas de suero o malvaviscos con microorganismos vivos.

Otra línea de investigación ha estudiado el uso de suero lácteo desmineralizado en mantequillas de leguminosas, con aplicaciones en la confitería. Por ejemplo, mezclas con un 10–30% de este tipo de suero y aceite de coco han mostrado mejoras en la textura y la firmeza, lo que facilita su uso en rellenos o coberturas (Stadnyk *et al.*, 2021).

Aunque los productos de confitería suelen estar asociados al placer y la indulgencia, reformulándolos con ingredientes funcionales, como las proteínas del suero, es posible convertirlos en alimentos que también benefician la salud. Algunas de estas proteínas han mostrado efectos positivos en marcadores de inflamación, lo que abre la posibilidad a crear dulces para personas con necesidades específicas, como el control del metabolismo o el envejecimiento saludable (Stožinić *et al.*, 2024).

El suero lácteo ha demostrado ser una fuente versátil de compuestos funcionales para este tipo de productos. Sus concentrados, aislados e hidrolizados proteicos aportan aminoácidos esenciales y contribuyen a la textura, la estabilidad y la mezcla de ingredientes, lo que favorece su incorporación en distintas matrices de confitería (Ahmed *et al.*, 2019; Andoyo *et al.*, 2023). Mediante hidrólisis enzimática, estas proteínas también pueden liberar péptidos bioactivos con actividad antioxidante, antihipertensiva y, en algunos casos, con capacidad inhibitoria de la dipeptidil peptidasa IV (DPP-IV), un mecanismo de interés por su posible relación con el control de la glucosa y la mejora de la resistencia a la insulina (García-Curiel *et al.*, 2025; Limnaios *et al.*, 2023; Téllez-Morales *et al.*, 2021). Entre las aplicaciones más concretas se han descrito gomitas y caramelos formulados con compuestos antioxidantes o con ingredientes prebióticos derivados del suero, como los galactooligosacáridos, incorporados por su efecto sobre la microbiota intestinal (Ibrahim *et al.*, 2020; Limnaios *et al.*, 2023). En este sentido, la Figura 2 se integró como apoyo visual para distinguir de manera más clara los aportes tecnológicos, nutricionales y funcionales atribuidos a los principales componentes del suero lácteo en productos de confitería.

### Aplicaciones en confitería



### Efectos en el producto final



**Figura 2.** Mecanismos de acción funcional y tecnológica de los componentes del suero lácteo en la formulación de confitería. Se esquematizan los efectos de péptidos bioactivos, GOS y proteínas del suero sobre la microbiota, la actividad antioxidante, y las propiedades tecnofuncionales como la emulsificación, gelificación y formación de espuma.

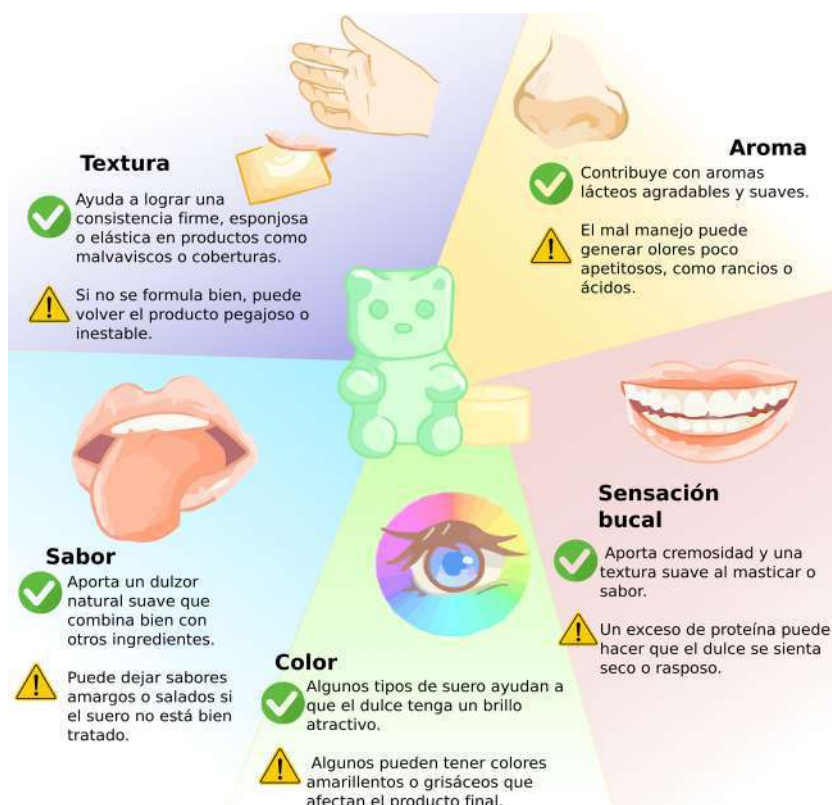
También se han desarrollado malvaviscos funcionales bajos en calorías, elaborados con concentrado de proteína de suero y edulcorantes sin azúcar. En estos productos, una inclusión del 15% permitió mantener atributos sensoriales comparables a los del producto de referencia y, al mismo tiempo, aumentar el contenido proteico y reducir el aporte energético, lo que los hace atractivos para personas con requerimientos nutricionales especiales (Lazarev y Ershova, 2023).

Diversos estudios han documentado ejemplos exitosos de confitería funcional con ingredientes derivados del suero: malvaviscos con probióticos vivos, caramelos con compuestos antioxidantes naturales o gomitas con péptidos bioactivos que mantienen su funcionalidad incluso después del procesamiento térmico (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Ibrahim *et al.*, 2020; Lazarev y Ershova, 2023). A ello se suman formulaciones tipo pastilla o dulce compacto en las que el concentrado de proteína de suero funciona como base estructural, así como desarrollos en malvaviscos y pastillas enriquecidas que combinan proteína, reducción calórica y viabilidad tecnológica (Ghanimah, 2018; Lazarev y Ershova, 2023). Por lo tanto, estos antecedentes muestran que la confitería funcional basada en suero ya incluye ejemplos en gomitas, caramelos, rellenos, coberturas y malvaviscos, y que su desarrollo depende tanto de la bioactividad del ingrediente como de su comportamiento durante el procesamiento y el almacenamiento (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Stadnyk *et al.*, 2021; Stožinić *et al.*, 2024).

Todo esto muestra que la industria de la confitería está cambiando: los productos dulces buscan aportar beneficios reales para la salud, además de sus cualidades palatables. En este proceso, la incorporación de ingredientes funcionales abre oportunidades de innovación, aunque persisten desafíos relacionados con la estabilidad de los compuestos bioactivos y la aceptación sensorial del producto, aspectos que siguen siendo determinantes en el diseño de nuevas formulaciones para un mercado en constante evolución (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Máximo-Olguín *et al.*, 2025).

## 6. EL LABORATORIO DEL SABOR: RETOS Y OPORTUNIDADES

La incorporación de suero lácteo en confitería puede contribuir a mejorar el perfil nutricional del producto, por ejemplo, al aumentar su contenido proteico o incorporar compuestos con interés tecnológico y nutricional; sin embargo, ello no implica por sí mismo que el dulce final sea funcional, ya que ese atributo depende de la formulación completa, de la cantidad incorporada, de su estabilidad durante el procesamiento y de la validación de sus efectos en el producto terminado. También plantea desafíos importantes en cuanto al sabor, la textura y el procesamiento. Incorporar sus proteínas y azúcares, como la lactosa, en recetas dulces requiere ajustar las fórmulas tradicionales, ya que pueden afectar el sabor, la sensación al masticar, la apariencia y la vida útil del producto (Figura 3).



**Figura 3.** Atributos sensoriales relevantes en confitería y su modificación por el uso de suero lácteo. Se presentan los principales atributos sensoriales (textura, sabor, color) y se describe cómo los componentes del suero lácteo pueden influir en ellos de forma positiva o negativa.

**Tabla 1. Retos y oportunidades en el uso del suero lácteo en confitería.**

| Retos identificados   | Oportunidad   | Referencia   |
|---|---|--|
| Notas salobres o amargas asociadas al suero                             | Minimización mediante selección del tipo de suero y su grado de hidrólisis                      | (Lazarev & Ershova, 2023; Stožinić <i>et al.</i> , 2024) |
| Interferencia en la cobertura o endurecimiento de recubrimientos grasos | Ajustes en el procesamiento y proporción de sólidos   | (Stadnyk <i>et al.</i> , 2022)                           |
| Adherencia y falta de extensibilidad en masas funcionales               | Uso de DDW y aceite de coco para mejorar manejabilidad  | (Stadnyk <i>et al.</i> , 2021)                           |
| Tonalidades visuales indeseadas (amarillentas o grisáceas)              | Uso de estabilización proteica o colorantes naturales compatibles                               | (Lazarev & Ershova, 2023)                                |
| Compromiso de consistencia por humedad reducida o exceso de WPC         | Ajuste en proporción de WPC y edulcorantes; formulación al 15 % de WPC aceptable sensorialmente | (Lazarev & Ershova, 2023)                                |
| Incremento del contenido proteico sin afectar sabor ni textura          | Formulaciones metodológicamente ajustadas en caramelos y pastillas                              | (Zaytseva <i>et al.</i> , 2022)                          |
| Inestabilidad sensorial o físico-química en rellenos grasos             | Optimización con hidrolizados de suero  | (Stožinić <i>et al.</i> , 2024)                          |

Uno de los retos más comunes es el sabor. Dependiendo del tipo de suero y de cómo fue procesado, puede generar notas ligeramente salobres o amargas, lo cual no siempre es deseable en un caramelo, un malvavisco o un relleno dulce. Para resolver esto, los investigadores han probado diferentes tipos de suero y niveles de hidrólisis para modular el perfil sensorial sin comprometer la aceptabilidad del producto final (Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024). En productos de confitería, incluso ligeras variaciones en el sabor residual o el aroma pueden alterar de manera notable la percepción del consumidor, por lo que este ajuste cobra especial relevancia.

En cuanto a la textura, las proteínas del suero tienen propiedades útiles: pueden ayudar a formar espuma, estabilizar mezclas de ingredientes (función emulsificante) y formar geles. Esto es útil en productos como masas batidas o rellenos, ya que ayuda a retener la humedad y a aportar volumen (Kalinovskaya y Bogodist, 2021). Sin embargo, estas mismas propiedades pueden ser un problema en ciertos recubrimientos en los que retener agua no es deseable. Para solucionarlo, se han ajustado los tiempos de procesamiento y las proporciones de sólidos en las formulaciones (Stadnyk *et al.*, 2022). Por ello, el efecto del suero no es uniforme entre matrices: una misma propiedad tecnológica puede ser ventajosa en malvaviscos o rellenos blandos, pero menos conveniente en coberturas o sistemas donde se busca menor humedad y mayor firmeza superficial.

También se ha evaluado el uso de ingredientes de suero con reducción de minerales en combinación con ingredientes vegetales. Por ejemplo, al incorporarlos a mantequillas de frijol se obtuvo una textura menos pegajosa y más manejable, con características similares a las del mazapán. La adición de aceite de coco mejoró la estructura y favoreció el equilibrio del sabor, lo que facilita su uso como base para dulces rellenos o figuras decorativas (Stadnyk *et al.*, 2021). En este caso, el interés se centró tanto en el aporte nutricional como en la capacidad de modular propiedades como la extensibilidad, la moldeabilidad y la estabilidad de la matriz, aspectos determinantes en aplicaciones de confitería.

Otro reto es la apariencia. Algunas fracciones del suero pueden presentar tonalidades amarillas o grisáceas tras su procesamiento térmico, lo que no siempre se ajusta

bien a la estética esperada en un dulce. Este efecto puede corregirse mediante colorantes naturales compatibles y estrategias de estabilización de proteínas (Lazarev y Ershova, 2023). En productos como comprimidos, se ha evaluado el impacto de distintas concentraciones de concentrado proteico de suero sobre la textura, el sabor y la estructura. Cuando la humedad es muy baja, el producto se vuelve quebradizo. Y si hay demasiada proteína, puede presentar sabores residuales no deseados. Sin embargo, con un 15% de este ingrediente y ajustes en los edulcorantes, se logró una fórmula que mantiene el sabor y la textura similares a las convencionales (Lazarev y Ershova, 2023). Esto muestra que la incorporación de derivados del suero exige equilibrar variables sensoriales y fisicoquímicas de manera simultánea, más que añadir el ingrediente de forma aislada.

A nivel nutricional, incorporar proteínas de suero permite elevar el contenido proteico del producto, lo cual responde al interés creciente por alimentos con una composición más favorable. En caramelos y comprimidos, se ha demostrado que esto es posible sin comprometer el sabor, siempre que se realicen ajustes adecuados (Zaytseva *et al.*, 2022). También se han mejorado los rellenos grasos mediante hidrolizados de suero, lo que ha mejorado la textura y la estabilidad (Stožinić *et al.*, 2024). No obstante, en el contexto de la confitería, estos avances deben entenderse como mejoras potenciales del perfil nutricional y tecnológico, más que como evidencia suficiente de funcionalidad por sí sola. La posible contribución del suero dependerá de la dosis incorporada, de la matriz alimentaria y de la conservación de sus propiedades durante el procesamiento y el almacenamiento.

Por lo tanto, la incorporación de suero lácteo en la confitería implica ajustar el sabor, la textura, la apariencia, la humedad y la estabilidad según el tipo de dulce que se desea formular. Más que una simple sustitución de ingredientes, este proceso requiere rediseñar la formulación para compatibilizar el comportamiento tecnológico del suero con las expectativas sensoriales del consumidor y con el objetivo nutricional del producto. La Tabla 1 resume los principales desafíos y soluciones reportados en investigaciones recientes, pero estos deben interpretarse como orientaciones generales cuya aplicación depende de cada matriz de confitería y de las condiciones específicas de formulación.

La Figura 4 representa una visión general del proceso de desarrollo de un dulce con ingredientes derivados del suero, mientras que los ejemplos discutidos en esta sección se centran de manera más específica en los ajustes requeridos para resolver problemas sensoriales, tecnológicos y de estabilidad durante la formulación.



**Figura 4.** Principales etapas en el diseño y desarrollo de productos de confitería funcional con suero lácteo. Se describen los pasos clave en la incorporación de ingredientes funcionales derivados del suero en confitería, desde la selección del ingrediente hasta la evaluación sensorial del producto final.

## 7. ¿Y QUÉ PIENSA EL CONSUMIDOR?

Hoy en día, las decisiones de compra en el mundo de los dulces reflejan un cambio importante: muchas personas buscan productos que ofrezcan placer al comer, pero también beneficios para la salud. Aunque los dulces siguen siendo sinónimos de gusto y antojo, la preocupación por enfermedades como la obesidad o la diabetes ha hecho que los consumidores se interesen cada vez más por

opciones con menos azúcar o con ingredientes funcionales (Granato *et al.*, 2020; Pronina *et al.*, 2024).

Esto se traduce en una demanda concreta de dulces bajos en azúcar, enriquecidos con vitaminas, minerales o compuestos saludables, o que contengan fibras con efecto prebiótico, las cuales favorecen la microbiota intestinal (Saritaş *et al.*, 2024; Vojvodić Cebin *et al.*, 2024). Para lograrlo, se han usado ingredientes como isomalt o inulina, que permiten mantener la textura y el dulzor, pero con un menor impacto en los niveles de glucosa en sangre (Esfahani y Goli, 2022; Ünal y Arslan, 2022). En el caso de los productos con suero lácteo, la percepción del consumidor depende de que el ingrediente aporte una ventaja reconocible, como un mayor contenido proteico o una menor densidad energética, sin alterar negativamente los atributos sensoriales esperados en un dulce. Por ejemplo, en malvaviscos tipo pastilla formulados con concentrado de proteína de suero y sustitución de azúcar por isomalt y jarabe de alcachofa de Jerusalén, la aceptación sensorial no fue uniforme entre formulaciones: la adición de 15% de concentrado proteico permitió mantener olor, sabor y características externas cercanas al control, mientras que niveles de 5% y 30% mostraron menores calificaciones organolépticas, ya fuera por textura demasiado seca y densa o por olor y sabor proteicos más notorios (Lazarev y Ershova, 2023).

Sin embargo, la aceptabilidad sensorial sigue siendo fundamental. Las personas pueden estar dispuestas a consumir dulces funcionales, pero solo si estos mantienen una apariencia atractiva, un sabor agradable y una textura adecuada. Estudios sensoriales muestran que si el producto presenta regusto metálico (como ocurre con ciertos edulcorantes) o una textura inusual, la intención de recompra disminuye considerablemente (Banaş *et al.*, 2018; Bartkiene *et al.*, 2021). En productos de confitería enriquecidos con hidrolizados de suero, también se ha observado que la respuesta del consumidor o del panel sensorial depende del tipo de ingrediente incorporado. En rellenos grasos para confitería, la incorporación de 5% de hidrolizados enzimáticos de suero mejoró atributos como la textura, la masticabilidad, el sabor y la apariencia frente al control, mientras que los hidrolizados obtenidos por fermentación conservaron una aceptabilidad cercana a la del producto base, aunque con menor ventaja sensorial (Stožinić *et al.*, 2024).

Estos resultados indican que la respuesta del consumidor integra tanto el valor percibido en salud como la experiencia sensorial global del producto, especialmente en categorías indulgentes como la confitería. En términos más amplios, cuando la formulación alcanza un equilibrio adecuado entre valor nutricional y calidad sensorial, la aceptación se mantiene en niveles elevados, como se ha observado en distintos desarrollos de confitería funcional. En el caso de productos con derivados del suero, esta respuesta

favorable se relaciona con la conservación de atributos familiares de sabor, textura y apariencia (Hovhannisyan *et al.*, 2024; Jendyose, 2024; Lazarev y Ershova, 2023).

La integración de atributos nutricionales y sensoriales está redefiniendo el desarrollo de dulces funcionales. El valor nutricional, por sí solo, resulta insuficiente si el producto no genera una experiencia sensorial atractiva. En otras palabras, el consumidor puede mostrar interés inicial por un dulce con proteína de suero o con menor contenido de azúcar, pero su aceptación sostenida depende de que el producto conserve características familiares de sabor, textura, apariencia y masticabilidad. Para ser aceptados, estos alimentos deben satisfacer simultáneamente las expectativas de bienestar y de disfrute asociadas al consumo de confitería.

## 8. CIENCIA, INNOVACIÓN Y FUTURO: ¿A DÓNDE VAMOS?

En los últimos años, el uso del suero lácteo como ingrediente funcional ha pasado de ser una posibilidad emergente a consolidarse como una estrategia viable para promover sistemas alimentarios más saludables y sostenibles. Su interés se debe tanto a su contenido proteico como a su versatilidad en formulaciones que aprovechan subproductos y diversifican la oferta alimentaria. Mediante procesos como la fermentación o la nanofibrilación, se han mejorado su estabilidad y funcionalidad, y se han reportado propiedades antimicrobianas que abren posibilidades para nuevas aplicaciones en matrices alimentarias más complejas (Hasan *et al.*, 2023; Skryplonek *et al.*, 2019).

Además, investigaciones recientes han demostrado que el consumo regular de suero de leche puede contribuir a reducir la inflamación en el organismo, lo que refuerza su valor como ingrediente tecnológico con un potencial beneficio adicional para la salud (Stožinić *et al.*, 2024). Sin embargo, trasladar este potencial a productos específicos seguirá requiriendo evidencia más sólida sobre las dosis efectivas, la estabilidad de los compuestos activos y su comportamiento en cada matriz alimentaria (García-Curiel *et al.*, 2025; Stožinić *et al.*, 2024).

Gracias a estos avances, ya se han desarrollado productos como bebidas, cremas y snacks funcionales que combinan suero con ingredientes estratégicos como  $\beta$ -glucanos o harinas vegetales. Estas formulaciones mejoran el perfil nutricional y responden a una demanda creciente de alimentos saludables y sostenibles (Salgado *et al.*, 2023; Zanon *et al.*, 2020). A partir de estos antecedentes, las tendencias actuales se orientan hacia el diseño de productos más especializados, en los que el suero participa tanto como

ingrediente de enriquecimiento como componente de sistemas alimentarios dirigidos a funciones específicas, entre ellas la modulación de la textura, la estabilidad, la digestibilidad y la liberación de compuestos bioactivos (Andoyo *et al.*, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

Un ejemplo interesante es el del chocolate blanco sin azúcar. Reemplazar la sacarosa ha llevado a explorar combinaciones, como el aislado de proteína de suero (WPI) con eritritol, un edulcorante sin calorías. Esta mezcla ayudó a crear un chocolate con mejor textura y firmeza, menor humedad y sin necesidad del proceso tradicional de templado, todo ello sin sacrificar el sabor ni el aspecto (Nastaj *et al.*, 2024). En esta línea, el futuro de la innovación no dependerá únicamente de sustituir ingredientes, sino de comprender con mayor precisión cómo interactúan las proteínas del suero con edulcorantes, grasas, hidrocoloides y otros componentes para construir matrices más estables y sensorialmente aceptables (Kalinovskaya y Bogodist, 2021; Nastaj *et al.*, 2024).

Otra innovación radica en el uso de tecnologías como la ultrafiltración, que permite obtener concentrados proteicos a partir del suero. Estos concentrados ya se han incorporado en malvaviscos funcionales con menos calorías y más proteínas, manteniendo una buena estabilidad y aceptabilidad sensorial (Lazarev y Ershova, 2023). Hacia adelante, este tipo de tecnologías podría complementarse con estrategias de hidrólisis controlada, fermentación dirigida y fraccionamiento selectivo para obtener ingredientes más uniformes, con mejor desempeño tecnológico y perfiles sensoriales más favorables (García-Curiel *et al.*, 2025; Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

Eso sí, el éxito de estos productos depende de que también sean agradables al comer. Si el sabor o la textura no convence, el consumidor lo rechaza. Por eso, muchas investigaciones se centran en mejorar el sabor del suero mediante fermentaciones dirigidas o ajustes en el procesamiento culinario (AbdulAlim *et al.*, 2018; Vieira *et al.*, 2020). De hecho, uno de los principales retos futuros consistirá en compatibilizar el valor nutricional y funcional del suero con expectativas sensoriales cada vez más altas, especialmente en categorías indulgentes como la confitería, donde pequeños cambios en el aroma, la masticabilidad o la apariencia pueden afectar la aceptación del producto (Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

En este panorama, el consumidor influye activamente en la orientación de la innovación alimentaria mediante sus demandas en materia de salud, sostenibilidad y experiencia sensorial. El suero lácteo, tradicionalmente subutilizado, puede integrarse como ingrediente funcional en nuevos desarrollos, favoreciendo el

aprovechamiento de subproductos industriales y la creación de alimentos con mayor valor añadido, alineados con los retos actuales del sector. A futuro, su aprovechamiento dependerá de la capacidad de la investigación para articular el escalamiento industrial, la evidencia funcional, la aceptación del consumidor y la viabilidad regulatoria dentro de una misma estrategia de desarrollo (García-Curiel *et al.*, 2025; Soumati *et al.*, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

Bajo este enfoque, los dulces funcionales formulados con suero lácteo representan una aplicación concreta del conocimiento científico orientado al aprovechamiento de subproductos agroindustriales. Su desarrollo responde a la necesidad de soluciones alimentarias más sostenibles y técnicamente viables. Más que una línea ya resuelta, este campo se perfila como un espacio de innovación en construcción, donde el futuro inmediato estará marcado por formulaciones más precisas, procesos más limpios y productos capaces de combinar valor nutricional, estabilidad tecnológica y aceptación sensorial (Hasan *et al.*, 2023; Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024). Por lo tanto, la confitería con suero lácteo puede entenderse como una plataforma prometedora para explorar cómo la ciencia de alimentos transforma un subproducto en desarrollos con proyección tecnológica y comercial.

## 9. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La literatura revisada muestra que el suero lácteo puede aprovecharse en productos de confitería como vía de valorización de un subproducto agroindustrial de interés tecnológico, nutricional y, en ciertos casos, funcional. Su incorporación en dulces permite mejorar atributos como el contenido proteico, la textura, la estabilidad y la diversificación de las formulaciones, siempre que su uso se ajuste a las características de cada matriz y a los objetivos específicos del producto.

Sin embargo, su aplicación en confitería se relaciona tanto con su composición y sus propiedades potenciales como con la capacidad de integrarlo sin afectar el sabor, la apariencia, la textura ni la aceptabilidad sensorial. En este sentido, la evidencia revisada indica que el aprovechamiento del suero se aborda como una

estrategia de formulación que exige ajustes tecnológicos precisos, orientados a compatibilizar la innovación, la viabilidad del proceso y la respuesta del consumidor.

La revisión sugiere que el principal valor del suero lácteo en confitería radica en su capacidad para transformar un residuo con carga ambiental en un ingrediente con posibilidades reales de uso en desarrollos alimentarios de mayor valor añadido. Desde esta perspectiva, su contribución abarca tanto el enriquecimiento de productos dulces como su incorporación a esquemas de producción más sostenibles y orientados al aprovechamiento integral de las materias primas.

Hacia adelante, el campo requiere fortalecer la evidencia sobre la estabilidad en distintas matrices, la aceptabilidad sensorial a largo plazo y la validación de los efectos fisiológicos cuando se planteen formulaciones con aspiración funcional. Más que ampliar el número de aplicaciones, el siguiente paso consiste en consolidar criterios de formulación y evaluación que permitan distinguir con mayor claridad entre el enriquecimiento nutricional, el desempeño tecnológico y la funcionalidad demostrada en productos de confitería basados en suero lácteo.

La literatura revisada muestra que el suero lácteo puede aprovecharse en productos de confitería como vía de valorización de un subproducto agroindustrial de interés tecnológico, nutricional y, en ciertos casos, funcional. Su incorporación en dulces permite mejorar atributos como el contenido proteico, la textura, la estabilidad y la diversificación de las formulaciones, siempre que su uso se ajuste a las características de cada matriz y a los objetivos específicos del producto.

Sin embargo, su aplicación en confitería se determina por su composición y sus propiedades potenciales, así como por su capacidad de integrarse sin afectar el sabor, la apariencia, la textura ni la aceptabilidad sensorial. En este sentido, la evidencia revisada indica que el aprovechamiento del suero se plantea como una estrategia de formulación que requiere ajustes tecnológicos precisos, orientados a compatibilizar la innovación, la viabilidad del proceso y la respuesta del consumidor.



- AbdulAlim, T.S., A.F. Zayan, P.H. Campelo, A.M. Bakry. 2018. Development of new functional fermented product: mulberry-whey beverage. *Journal of Nutrition, Food Research and Technology*. 1(3): 64-69. <https://doi.org/10.30881/jnfrt.00013>.
- Ahmed, H.A.M., S.A. Ashraf, A.M. Awadelkareem, J. Alam, A.I. Mustafa. 2019. Physico-Chemical, Textural and Sensory Characteristics of Wheat Flour Biscuits Supplemented with Different Levels of Whey Protein Concentrate. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. 7(3): 761-771. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.3.15>.
- Alkan, Z., Z. Ergi-Nkaya, G. Konuray, E. Ünal Turhan. 2019. Production of biosurfactant by lactic acid bacteria using whey as growth medium. *TURKISH JOURNAL OF VETERINARY AND ANIMAL SCIENCES*. 43(5): 676-683. <https://doi.org/10.3906/vet-1903-48>.
- Almeida, M.P.G.D., G. Mockaitis, D.G. Weissbrodt. 2023. Got Whey? Sustainability Endpoints for the Dairy Industry through Resource Biorecovery. *Fermentation*. 9(10): 897. <https://doi.org/10.3390/fermentation9100897>.
- Amaral, D.D.A., J.A.F.D. Silva. 2021. Whey in the industry: environmental and valorization impacts. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. : 41-57. <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/environmental-engineering-en/whey>.
- Andoyo, R., A.Z. Diani, F. Fetriyuna. 2023. Effect of heating temperature on physical, functional, and digestibility properties of Whey Protein Concentrate (WPC). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1230(1): 012155. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012155>.
- Baker, M.T., P. Lu, J.A. Parrella, H.R. Leggette. 2022. Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(3): 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031217>.
- Banaš, A., A. Korus, J. Korus. 2018. Texture, Color, and Sensory Features of Low-Sugar Gooseberry Jams Enriched with Plant Ingredients with Prohealth Properties. *Journal of Food Quality*. 2018: 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/1646894>.
- Bartkiene, E., E. Mockus, E. Mozurienne, J. Klementaviciute, E. Monstaviciute, V. Starkute, P. Zavistanaviciute, E. Zokaityte, D. Cernauskas, D. Klupsaite. 2021. The Evaluation of Dark Chocolate-Elicited Emotions and Their Relation with Physico-Chemical Attributes of Chocolate. *Foods*. 10(3): 642. <https://doi.org/10.3390/foods10030642>.
- Chen, G.Q., Y. Qu, S.L. Gras, S.E. Kentish. 2023. Separation Technologies for Whey Protein Fractionation. *Food Engineering Reviews*. 15(3): 438-465. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09330-2>.
- Colmenares-Cuevas, S.I., A. Contreras-Oliva, J. Salinas-Ruiz, J.V. Hidalgo-Contreras, E. Flores-Andrade, E.J. García-Ramírez. 2024. Development and study of the functional properties of marshmallow enriched with bee (*Apis mellifera*) honey and encapsulated probiotics (*Lactobacillus rhamnosus*). *Frontiers in Nutrition*. 11: 1353530. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1353530>.
- Corso, M., D. Kalschne, M. Benassi. 2018. Consumer's Attitude Regarding Soluble Coffee Enriched with Antioxidants. *Beverages*. 4(4): 72. <https://doi.org/10.3390/beverages4040072>.
- Delgado-Macuil, R.J., B. Perez-Armendariz, G.A. Cardoso-Ugarte, S.E.M. Tolibia, A.C. Benítez-Rojas. 2025. Recent Biotechnological Applications of Whey: Review and Perspectives. *Fermentation*. 11(4): 217. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040217>.
- Dimassi, O. 2024. Exploring the Potential of Kishk-like Novel Product in Solving the Acidic Whey Conundrum in the Dairy Industry. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. (Of). <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-377>.
- Domiter, M., T. Ostrognjaj, I. Petrović Vidić, I. Banjari. 2020. Consumers' attitudes towards functional dairy market in Croatia - a cross-sectional study. *Mljekarstvo*. 70(4): 242-252. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2020.0402>.
- Esfahani, D.A., M. Goli. 2022. The effect of Stevioside-Isomalt, whey protein concentrate, and *Bacillus coagulans* on the physicochemical and sensory properties of Iranian probiotic Masghati sweet. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16028>.
- García-Curiel, L., O.L. Berenice, C.A. Elizabeth, P. Emmanuel, J.G. Pérez-Flores, G.L. Guillermo. 2025. DPP - IV Inhibitory Peptides From Whey Proteins: Production, Functional Mechanisms, Bibliometric Insights, and Future Directions for Type 2 Diabetes Therapy. *Peptide Science*. 117(2): e70000. <https://doi.org/10.1002/pep2.70000>.
- Geiger, B., H.-M. Nguyen, S. Wenig, H.A. Nguyen, C. Lorenz, R. Kittl, G. Mathiesen, V.G.H. Eijnsink, D. Haltrich, T.H. Nguyen. 2016. From by-product to valuable components: Efficient enzymatic conversion of lactose in whey using  $\beta$ -galactosidase from *Streptococcus thermophilus*. *Biochemical Engineering Journal*. 116: 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.04.003>.
- Ghanimah, M.A. 2018. Functional and technological aspects of whey powder and whey protein products. *International Journal of Dairy Technology*. 71(2): 454-459. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12436>.
- Gordana, T., M. Trina, G. Diana. 2024. Perception of Functional Food Among Croatian Consumers. *WSB Journal of Business and Finance*. 58(1): 1-8. <https://doi.org/10.2478/wsb-jbf-2024-0001>.
- Goyal, C., P. Dhyani, D.C. Rai, S. Tyagi, S.B. Dhull, P.K. Sath, J.S. Duhan, B.S. Saharan. 2023. Emerging Trends and Advancements in the Processing of Dairy Whey for Sustainable Biorefining. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023: 1-24. <https://doi.org/10.1155/2023/6626513>.
- Granato, D., F.J. Barba, D. Bursać Kovačević, J.M. Lorenzo, A.G. Cruz, P. Putnik. 2020. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*. 11(1): 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>.
- Hasan, Z., B. Zeshan, A. Hassan, N.H.A. Daud, A. Sadaf, N. Ahmed. 2023. Preparation and characterization of edible whey protein nanofibrils and efficacy studies on the quality and shelf-life of chilled food products. *Journal of Food Safety*. 43(3): e13034. <https://doi.org/10.1111/jfs.13034>.
- Horská, E., K. Predanócyová, P. Šedík, K.G. Grunert, D. Hupková. 2023. Consumer perception of functional foods and determinants of functional foods consumption in the Slovak Republic. *British Food Journal*. 125(7): 2478-2492. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2022-0656>.

- Hovhannisyán, N., S. Abrahamyan, L. Grigoryan, S. Yeribekyan, H. Balasanyan, V. Grigoryan, L. Arstamyán, Arman Badalyan, Asya Badalyan. 2024. The use of secondary raw materials in confectionary production. *Functional Food Science - Online ISSN: 2767-3146*. 4(10): 390-400. <https://doi.org/10.31989/ffs.v4i10.1455>.
- Ibrahim, R.M., F.F. Abdel-Salam, E. Farahat. 2020. Utilization of Carob (&i&t;Ceratonia siliqua&i&t; L.) Extract as Functional Ingredient in Some Confectionery Products. *Food and Nutrition Sciences*. 11(08): 757-772. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.118054>.
- Jendyose, M. 2024. Development of Functional Foods with Enhanced Health Benefits. *Journal of Food Sciences*. 5(2): 29-42. <https://doi.org/10.47941/jfs.1846>.
- Kalinovskaya, T.V., E.Y. Bogodist. 2021. Research of functional and technological properties of whey protein concentrate in technologies of whipped candy masses. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 83(2): 169-174. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-169-174>.
- Kaya, B., E.R.K.B. Wijayarathna, Y.K. Yüceer, S. Agnihotri, M.J. Taherzadeh, T. Sar. 2024. The use of cheese whey powder in the cultivation of protein-rich filamentous fungal biomass for sustainable food production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 8: 1386519. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1386519>.
- Lazarev, V., A. Ershova. 2023. Functional confectionery product using whey protein concentrate development. *E3S Web of Conferences*. 451: 04008. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202345104008>.
- Limnaios, A., M. Tsevdou, E. Tsika, N. Korialou, A. Zerva, E. Topakas, P. Taoukis. 2023. Production of Prebiotic Galacto-Oligosaccharides from Acid Whey Catalyzed by a Novel  $\beta$ -Galactosidase from *Thermothielavioides terrestris* and Commercial Lactases: A Comparative Study. *Catalysts*. 13(10): 1360. <https://doi.org/10.3390/catal13101360>.
- Máximo-Olguín, A., E. Contreras-López, J.G. Pérez-Flores, L. García-Curiel, K. Soto-Vega, E. Pérez-Escalante. 2025. Extractos naturales y compuestos bioactivos en confitería: Análisis bibliométrico. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*. 13(26): 25-40. <https://doi.org/10.29057/icbi.v13i26.14038>.
- Meneses, A.D.S.D. 2024. Use of Cheese Whey by Fermentation Processes. *International Journal of Health Science*. 4(77): 2-19. <https://doi.org/10.22533/at.ed.1594772417084>.
- MI, B., L. Marchetti, A.S. Cecilia, G. Lorenzo. 2023. Native and freeze-dried bacterial nanocellulose as techno-functional ingredients of low-fat meat emulsions. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3373670/v1>.
- Mudannayake, D.C., D.D. Jayasena, K.M.S. Wimalasiri, C.S. Ranadheera, S. Ajlouni. 2022. Inulin fructans – food applications and alternative plant sources: a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 57(9): 5764-5780. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15947>.
- Nastaj, M., B.G. Sołowiej, K. Terpiłowski, W. Kucia, I.B. Tomasevic, J. Podkościelna. 2024. Effects of whey proteins and erythritol combination on the physical and quality characteristics of untempered, high-protein white chocolates without the saccharose addition. *International Dairy Journal*. 157: 106007. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106007>.
- Palmieri, N., W. Stefanoni, F. Latterini, L. Pari. 2022. Factors Influencing Italian Consumers' Willingness to Pay for Eggs Enriched with Omega-3-Fatty Acids. *Foods*. 11(4): 545. <https://doi.org/10.3390/foods11040545>.
- Panghal, A., R. Patidar, S. Jaglan, N. Chhikara, S.K. Khatkar, Y. Gat, N. Sindhu. 2018. Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. *Nutrition & Food Science*. 48(3): 520-535. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2018-0017>.
- Pereira, C.D., M. Henriques, D. Gomes, R. Gouveia, A. Gomez-Zavaglia, G. De Antoni. 2015. Fermented dairy products based on ovine cheese whey. *Journal of Food Science and Technology*. 52(11): 7401-7408. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1857-5>.
- Pronina, Y., O. Belozertseva, Z. Nabiyeva, A. Pirozzi, S. Carpentieri, G. Ferrari, E. Bazykhanova, A. Burluyayeva. 2024. Enhancing nutritional value and health benefits of gluten-free confectionery products: innovative pastilles and marshmallows. *Frontiers in Nutrition*. 10: 1321004. <https://doi.org/10.3389/frut.2023.1321004>.
- Qin, Y.-Q., L.-Y. Wang, X.-Y. Yang, Y.-J. Xu, G. Fan, Y.-G. Fan, J.-N. Ren, Q. An, X. Li. 2023. Inulin: properties and health benefits. *Food & Function*. 14(7): 2948-2968. <https://doi.org/10.1039/D2FO01096H>.
- Ramírez-Rodríguez, L.C., L.E. Díaz Barrera, M.X. Quintanilla-Carvajal, D.I. Mendoza-Castillo, A. Bonilla-Petriciolet, C. Jiménez-Junca. 2020. Preparation of a Hybrid Membrane from Whey Protein Fibrils and Activated Carbon to Remove Mercury and Chromium from Water. *Membranes*. 10(12): 386. <https://doi.org/10.3390/membranes10120386>.
- Rezai, G., P.K. Teng, M.N. Shamsudin, Z. Mohamed, J.L. Stanton. 2017. Effect of perceptual differences on consumer purchase intention of natural functional food. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*. 7(2): 153-173. <https://doi.org/10.1108/JADEE-02-2015-0014>.
- Ribeiro Fortes, A.P., J. De Nadae, J.A. García Sánchez. 2024. A proposal to implement circular economy practices in the milk production chain in the municipality of Wenceslau Braz. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*. 18. <https://doi.org/10.18011/bioeng.2024.v18.1239>.
- Rosseto, M., C.V.T. Rigueto, I. Alessandretti, R. De Oliveira, D.A. Raber Wohlmuth, R.A. Loss, A. Dettmer, N.S.P.D.S. Richards. 2023. Whey-based polymeric films for food packaging applications: a review of recent trends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 103(7): 3217-3229. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12310>.
- Salgado, M.J.G., I.L.D.S. Rosario, A.C. De Oliveira Almeida, B.S.D.S. Rekowski, U.M. Paim, D.M. Otero, M.E. De Oliveira Mamede, M.P. Da Costa. 2023. Buffalo Whey-Based Cocoa Beverages with Unconventional Plant-Based Flours: The Effect of Information and Taste on Consumer Perception. *Beverages*. 9(4): 90. <https://doi.org/10.3390/beverages9040090>.
- Sarıtaş, S., H. Duman, B. Pekdemir, J.M. Rocha, F. Oz, S. Karav. 2024. Functional chocolate: exploring advances in production and health benefits. *International Journal of Food Science and Technology*. 59(8): 5303-5325. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17312>.
- Skryplonek, K., I. Dmytrów, A. Mituniewicz-Matek. 2019. Probiotic fermented beverages based on acid whey. *Journal of Dairy Science*. 102(9): 7773-7780. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16385>.
- Soumati, B., M. Atmani, A. Benabderrahmane, M. Benjelloun. 2023. Whey Valorization – Innovative Strategies for Sustainable Development and Value-Added Product Creation. *Journal of Ecological Engineering*. 24(10): 86-104. <https://doi.org/10.12911/22998993/169505>.
- Stadnyk, I., V. Piddubnyi, H. Karpyk, L. Beiko, K. Kravcheniuk. 2022. Effect of concentration of coconut oil with demineralised whey powder on the properties of bean pastes. *Animal Science and Food Technology*. 13(3). [https://doi.org/10.31548/animal.13\(3\).2022.43-52](https://doi.org/10.31548/animal.13(3).2022.43-52).
- Stadnyk, I., V. Piddubnyi, M. Kravchenko, L. Rybchuk, S. Balaban, T. Veselovska. 2021. The effect of dry demineralized whey (DDW) and coconut oil on the rheological characteristics of the legume butter. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 15: 318-329. <https://doi.org/10.5219/1578>.
- Stožinić, M., D. Zarić, M. Rakin, I. Lončarević, B. Pajin, M. Bulatović. 2024. Impact of whey bioactive hydrolysates on the quality of fat fillings for confectionery products. *Food and Feed Research*. 51(2): 189-198. <https://doi.org/10.5937/ffr0-53501>.
- Sudibyho, H., K. Wang, J.W. Tester. 2021. Hydrothermal Liquefaction of Acid Whey: Effect of Feedstock Properties and Process Conditions on Energy and Nutrient Recovery. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 9(34): 11403-11415. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c03358>.

- Sventzouri, E., K. Pispas, G.G. Kournoutou, M. Geroulia, E. Giakoumatou, S.S. Ali, M. Kornaros. 2025. Evaluation of Growth Performance, Biochemical Composition, and Polyhydroxyalkanoates Production of Four Cyanobacterial Species Grown in Cheese Whey. *Microorganisms*. 13(5): 1157. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13051157>.
- Tamošaitis, A., A. Jaruševičienė, M. Strykaitė, J. Damašius. 2022. Analysis of antimicrobial whey protein-based biocomposites with lactic acid, tea tree (*Melaleuca alternifolia*) and garlic (*Allium sativum*) essential oils for Edam cheese coating. *International Journal of Dairy Technology*. 75(3): 611-618. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12858>.
- Téllez-Morales, J.A., C.A. Gómez-Aldapa, E. Herman-Lara, R. Carmona-García, J. Rodríguez-Miranda. 2021. Effect of the concentrations of corn starch and whey protein isolate on the processing parameters and the physicochemical characteristics of the extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15395>.
- Trejo-Flores, P.G., L.A. Santiago-Rodríguez, M.E. Domínguez-Espinosa, A. Cruz-Salomón, P.E. Velázquez-Jiménez, J.M.E. Hernández-Méndez, M.A. Morales-Ovando, K.D.C. Cruz-Salomón, M.D.C. Hernández-Cruz, P.T. Vázquez-Villegas, R.I. Cruz-Rodríguez, R.D.P. Serrano-Ramírez, Y. Sánchez-Roque, H. Vilchis-Bravo. 2023. Sustainable Ice Cream Base: Harnessing Mango Seed Kernel (Mangifera indica L. var. Tommy Atkins) Waste and Cheese Whey. *Sustainability*. 15(19): 14583. <https://doi.org/10.3390/su151914583>.
- Trindade, M.B., B.C.V. Soares, H. Scudino, J.T. Guimarães, E.A. Esmerino, M.Q. Freitas, T.C. Pimentel, M.C. Silva, S.L.Q. Souza, R.B. Almada, A.G. Cruz. 2019. Cheese whey exploitation in Brazil: a questionnaire survey. *Food Science and Technology*. 39(3): 788-791. <https://doi.org/10.1590/fst.07419>.
- Ünal, M.H., D. Arslan. 2022. Single and combined use of isomalt, polydextrose, and inulin as sugar substitutes in production of pectin jelly. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46(12): e17174. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17174>.
- Vecchio, R., E.J. Van Loo, A. Annunziata. 2016. Consumers' willingness to pay for conventional, organic and functional yogurt: evidence from experimental auctions. *International Journal of Consumer Studies*. 40(3): 368-378. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12264>.
- Verneau, F., F. La Barbera, M. Furno. 2019. The Role of Health Information in Consumers' Willingness to Pay for Canned Crushed Tomatoes Enriched with Lycopene. *Nutrients*. 11(9): 2173. <https://doi.org/10.3390/nu11092173>.
- Vieira, A.H., C.F. Balthazar, R.S. Rocha, R. Silva, J.T. Guimaraes, M.M. Pagani, T.C. Pimentel, E.A. Esmerino, M.C. Silva, R.V. Tonon, L.M. Cabral, M.Q. Freitas, A.G. Cruz. 2020. The free listing task for describing the sensory profiling of dairy foods: A case study with microfiltered goat whey orange juice beverage. *Journal of Sensory Studies*. 35(5): e12594. <https://doi.org/10.1111/joss.12594>.
- Vojvodić Cebin, A., M. Bunić, A. Mandura Jarić, D. Šeremet, D. Komes. 2024. Physicochemical and Sensory Stability Evaluation of Gummy Candies Fortified with Mountain Germander Extract and Prebiotics. *Polymers*. 16(2): 259. <https://doi.org/10.3390/polym16020259>.
- Wróbel, K., A.J. Milewska, M. Marczak, R. Kozłowski. 2021. The Impact of the COVID-19 Pandemic on the Composition of Dietary Supplements and Functional Foods Notified in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(22): 11751. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211751>.
- Yadav, J.S.S., S. Yan, S. Pilli, L. Kumar, R.D. Tyagi, R.Y. Surampalli. 2015. Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*. 33(6): 756-774. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002>.
- Zandona, E., M. Blažič, A. Režek Jambrak. 2021. Whey Utilisation: Sustainable Uses and Environmental Approach. *Food Technology and Biotechnology*. 59(2): 147-161. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968>.
- Zanon, E.O., T.C. Pimentel, R.J.H.C. Gomez, R. Fagnani. 2020. Development of a whey protein spread enriched with  $\beta$ -glucan: an alternative for whey valorization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(4): 1711-1717. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10186>.
- Zaytseva, L., N. Ruban, T. Tsyganova, E. Mazukabzova. 2022. Fortified Confectionery Creams on Vegetable Oils with a Modified Carbohydrate Profile. *Food Processing: Techniques and Technology*. : 500-510. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2377>.
- Zotta, T., L. Solieri, L. Iacumin, C. Picozzi, M. Gullo. 2020. Valorization of cheese whey using microbial fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 104(7): 2749-2764. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10408-2>.



EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE  
**LOS PSITÁCIDOS**  
DE LA **ALAMEDA**  
DE SALTILLO, COAHUILA,  
MÉXICO

ASSESSMENT OF PSITTACID  
PRESENCE IN THE ALAMEDA  
OF SALTILLO, COAHUILA,  
MEXICO

/// ISABEL RAYMUNDO GONZÁLEZ<sup>1</sup>, GUILLERMO ROMERO FIGUEROA<sup>1</sup>, FERNANDO ISAAC GASTELUM MENDOZA<sup>1</sup>, MARTHA ALEJANDRA ALFARO GERMÁN<sup>1</sup>, FELICIANO JAVIER HEREDIA PINEDA<sup>2</sup>, ELOY ALEJANDRO LOZANO CAVAZOS<sup>3</sup> Y GORGONIO RUIZ-CAMPOS<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana, C.P. 22860. Ensenada, Baja California, México.

<sup>2</sup>Mar y Sierra Salvaje A.C. Fraccionamiento Rienda 273. Hacienda El Cortijo, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25093.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: gruz@uabc.edu.mx



**Palabras clave:** avifauna; aviturismo; conservación; ecoturismo; especie exótica invasora.

**Keywords:** avifauna; avi-tourism; conservation; ecotourism; invasive exotic species.

## RESUMEN

Los psitácidos son aves que se encuentran amenazadas por factores antropogénicos y ambientales. El objetivo de este estudio fue conocer la composición de psitácidos en el parque la Alameda de Zaragoza, en el municipio de Saltillo, Coahuila. Durante los meses de septiembre y octubre de 2016, realizamos observación e identificación de aves a través de transectos lineales de 220 a 250 m de longitud, ubicados de manera aleatoria, en un horario de 08:30 a 12:00 h. Registramos 17 especies de aves, de las cuales siete fueron psitácidos que aportaron el 22 % de la abundancia total del sitio. De estas especies de psitácidos, cuatro son nativas del territorio mexicano: loro frente roja (*Amazona viridigenalis*), loro cabeza amarilla (*A. oratrix*), loro cachete amarillo (*A. autumnalis*) y perico mexicano (*Psittacara holochlorus*). Asimismo, identificamos la presencia de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*), una especie exótica invasora en México, misma que fue la más abundante (10.8 %) entre los psitácidos observados. La Alameda de Zaragoza representa un sitio con potencial para ser incluido en los programas de ecoturismo de observación de aves. Recomendamos la participación de autoridades regionales para la implementación de protocolos de control de la cotorra argentina.

## ABSTRACT

Parrots are birds that are threatened by both anthropogenic and environmental factors. The objective of this study was to determine the composition of parrot species in Alameda de Zaragoza Park, located in the municipality of Saltillo, Coahuila. During the months of September and October 2016, we conducted bird observation and identification using linear transects of 220 250 m in length, performed of random mode, between 08:30 and 12:00 h. We recorded 17 bird species, of which seven were parrots, representing 22 % of the total abundance at the site. Among these, four are native to Mexican territory: Red-crowned Parrot (*Amazona viridigenalis*), Yellow-headed Parrot (*A. oratrix*), Red-lore Parrot (*A. autumnalis*), and Green Parakeet (*Psittacara holochlorus*). Additionally, the presence of the Monk Parakeet (*Myiopsitta monachus*), an invasive exotic species in Mexico, was recorded; it was the most abundant (10.8 %) among the observed parrots. Alameda de Zaragoza represents a site with potential to be included in birdwatching ecotourism programs. The participation of regional authorities is recommended for the implementation of control protocols for the Monk Parakeet.



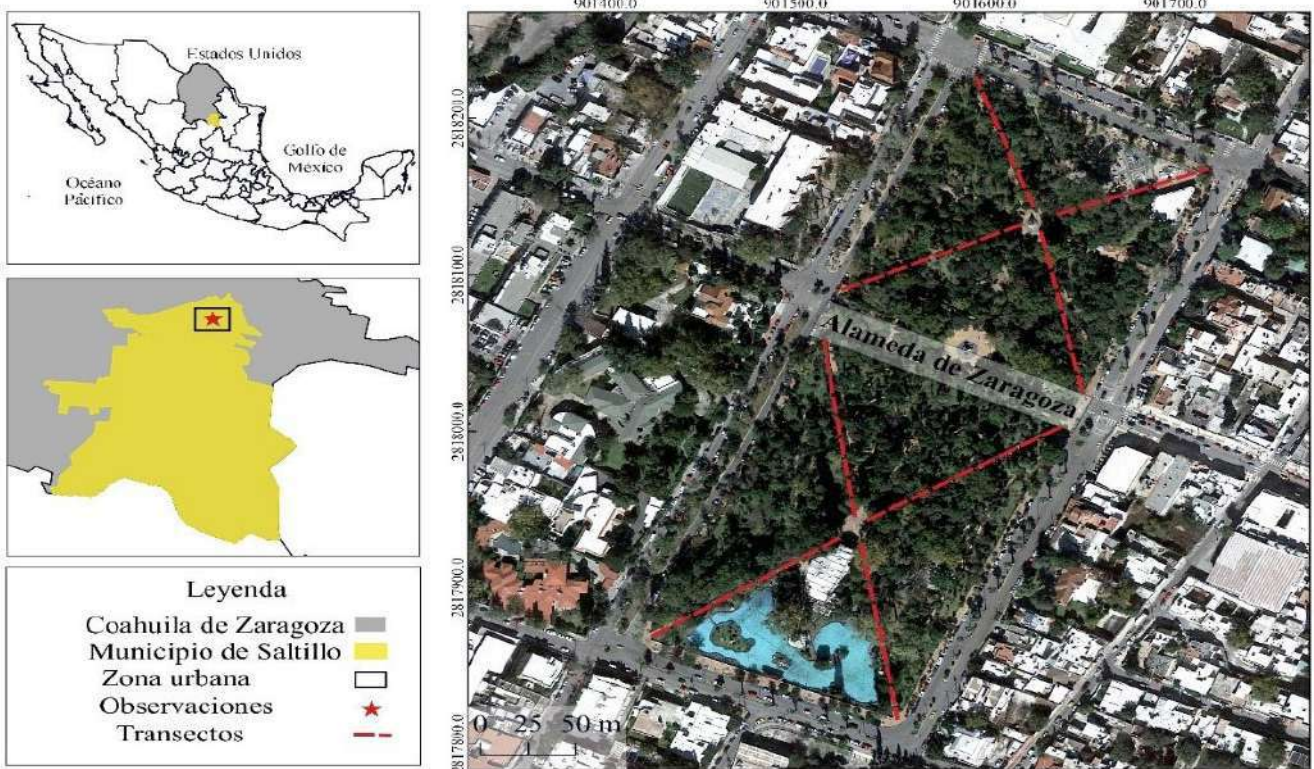
## INTRODUCCIÓN

Las aves de la familia Psittacidae, como los loros y pericos, habitan principalmente en ecosistemas tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Kricher, 2006). En estos ambientes encuentran todo lo que necesitan para sobrevivir: alimento, refugio, lugares seguros para anidar y espacios donde interactúan en grupo (Blanco *et al.*, 2015). Suelen desplazarse en parvadas y reunirse en grandes concentraciones cuando hay disponibilidad de frutos y semillas, lo que les permite alimentarse de manera más segura (González, 2001; Kricher, 2006).

En México, las poblaciones de psitácidos que habitan en la vertiente del Pacífico, el Golfo de México y la península de Yucatán han disminuido notablemente. Este declive se debe, en gran medida, a amenazas de origen antrópico y ambiental que son generadas por la pérdida de hábitat y la captura para el comercio ilegal (Ríos-

Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009; Plasencia-Vázquez y Escalona-Segura, 2012). Además, su llamativo plumaje, comportamiento social y habilidad para imitar sonidos los han convertido en especies muy demandadas en el mercado ilegal de aves ornamentales, tanto dentro como fuera del país (Hernández *et al.*, 2023).

A estas presiones se suma la pérdida y fragmentación de su hábitat, causada por el crecimiento urbano y la expansión de las actividades agropecuarias. Estos cambios reducen la disponibilidad de recursos esenciales y obligan a las aves a desplazarse a nuevas zonas (Wilcove *et al.*, 1998; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009). En años recientes, la presencia de especies exóticas de psitácidos ha planteado retos adicionales, ya que compiten por alimento y espacio con las especies nativas y pueden introducir enfermedades que representan riesgos importantes para la fauna local (Shirley y Kark, 2009).



**Figura 1.** Delimitación y ubicación del parque urbano la Alameda de Zaragoza en el municipio de Saltillo, Coahuila, México.

Por ello, documentar la diversidad de psitácidos en entornos urbanos es clave para entender cómo utilizan estos espacios y qué recursos aprovechan. También permite evaluar el impacto de las especies exóticas que pueden desplazar a las nativas o transmitirles patógenos (MacGregor-Fors *et al.*, 2011). Con este contexto, el objetivo de nuestro estudio fue documentar la coexistencia de especies nativas y exóticas de loros y pericos en un parque urbano de la ciudad de Saltillo, Coahuila, en el noreste de México.

## ÁREA DE ESTUDIO

El parque urbano la Alameda de Zaragoza (25°25'30.88" N, 101°00'30.63" O) se ubica en el municipio de Saltillo, Coahuila de Zaragoza (Figura 1), donde prevalece un clima semiseco templado y el matorral xerófilo como vegetación primaria predominante. Durante el invierno, la temperatura promedio alcanza los 17 °C, con descensos que pueden caer por debajo de los 0 °C, mientras que en verano las temperaturas suelen superar los 38 °C (INEGI, 2010; González-Castillo *et al.*, 2017).

El parque abarca cuatro hectáreas y está conformado principalmente por vegetación arbórea y ornamental. Entre las especies más representativas se encuentran el fresno (*Fraxinus* sp.), el nogal (*Juglans* sp.), el palo blanco (*Celtis laevigata*), el pirul (*Schinus* sp.) y el pino (*Pinus cembroides*). Además, la Alameda colinda con diversas instituciones educativas, entre ellas la Escuela Normal Superior y la Escuela

de Música, lo que la convierte en un punto de gran afluencia y relevancia social dentro de la ciudad.

## MONITOREO DE AVES

El conteo e identificación de aves se realizó los días 20, 23 y 26 de septiembre, así como el 4 y 11 de octubre de 2016, en un horario de 08:30 a 12:00 h. Para ello se recorrieron trayectos lineales de 220 a 250 metros de longitud, con una duración aproximada de 90 minutos, ubicados de modo aleatorio, siguiendo la metodología propuesta por Ralph *et al.* (1996). Se registraron únicamente los individuos observados de frente con el objetivo de no contar más de una vez a un mismo individuo. Para la identificación de las especies, se consideraron los caracteres diagnósticos de la especie, tamaño y color principalmente. La corroboración de la identificación de las especies fue respaldada con las guías de campo de aves de Norteamérica (Sibley, 2014) y de México (Howell y Webb, 1995). Para cada avistamiento, se anotó la especie y el número de individuos, además del comportamiento observado. Se prestó especial atención a los puntos donde se escuchaban vocalizaciones y parloteos en la copa de los árboles, ya que esto facilitó la localización de grupos activos. Para las observaciones se utilizaron binoculares de 6×30 y 10×42, un geoposicionador Garmin® para registrar las coordenadas de cada transecto y una cámara digital Sony DCS-H200 con zoom óptico de 26× para obtener evidencia fotográfica.

## DIVERSIDAD DE PERICOS Y LOROS

En la Alameda de Zaragoza se registraron 396 individuos de aves, pertenecientes a 17 especies. Siendo seis especies el mínimo y 12 el máximo de especies observadas por transecto. Entre ellas destacaron los psitácidos, con 86 individuos de cinco especies, de las cuales tres corresponden a loros y dos a pericos. El total de los individuos observados equivale al 22 % de todas las aves observadas en el parque. Cuatro de estas especies son propiamente nativas

de México: el loro tamaulipeco (*Amazona viridigenalis*, con 19 individuos; 4.8 %; Figura 2), el perico mexicano (*Psittacara holochlorus*; 15 individuos; 3.8 %; Figura 3), el loro cachete amarillo (*A. autumnalis*; seis individuos; 1.5 %; Figura 4) y el loro cabeza amarilla (*A. oratrix*; tres individuos; 0.8 %; Figura 5). Además, todas las especies de psitácidos registradas se encuentran bajo alguna categoría de riesgo, de acuerdo con la legislación y los acuerdos nacionales e internacionales (Cuadro 1), lo que resalta aún más la importancia de este espacio urbano como refugio para la biodiversidad.



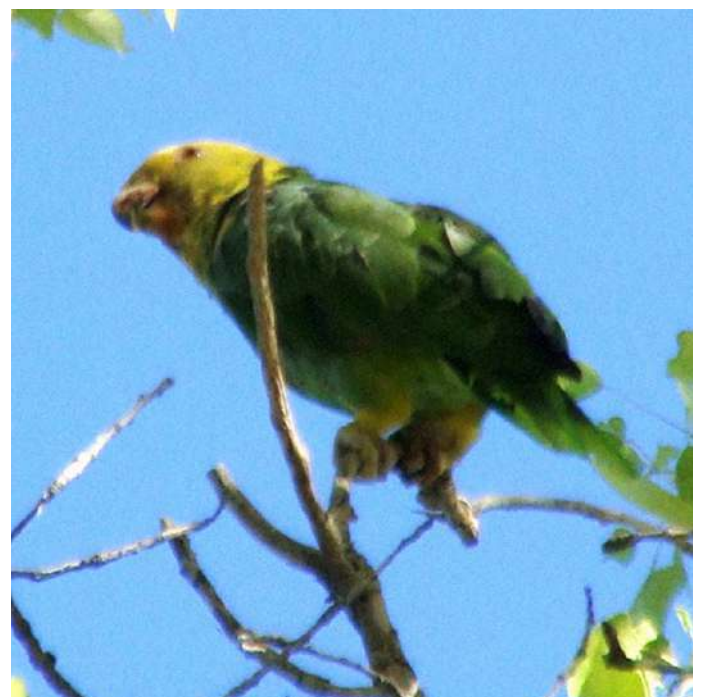
**Figura 2.** Loro tamaulipeco (*Amazona viridigenalis*) en la Alameda de Zaragoza, Saltillo, Coahuila (fotografía de Alejandra Alfaro).



**Figura 3.** Perico mexicano (*Psittacara holochlorus*) en la Alameda de Zaragoza, Saltillo, Coahuila (fotografía de Alejandra Alfaro).



**Figura 4.** Loro cachete amarillo (*Amazona autumnalis*) en la Alameda de Zaragoza, Saltillo, Coahuila (fotografía de Alejandra Alfaro).



**Figura 5.** Loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en la Alameda de Zaragoza, Saltillo, Coahuila (fotografía de Isabel Raymundo).

**Cuadro 1. Categorías de riesgo de las especies de psitácidos de la Alameda de Zaragoza de acuerdo con la reglamentación nacional e internacional. \*Nombre común basado en Berlanga *et al.* (2019).**

| Orden          | Familia     | Especie                       | Nombre común             | CITES Apéndice I        | UICN               | NOM-059-SEMARNAT-2010            |
|----------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Psittaciformes | Psittacidae | <i>Amazona viridigenalis</i>  | Loro Tamaulipeco         | En peligro de extinción | En peligro         | Endémica en peligro de extinción |
|                |             | <i>Rhynchopsitta terrisi</i>  | Cotorra Serrana Oriental |                         |                    |                                  |
|                |             | <i>Amazona oratrix</i>        | Loro Cabeza Amarilla     | En peligro de extinción |                    | En peligro de extinción          |
|                |             | <i>Amazona autumnalis</i>     | Loro Cachetes Amarillos  |                         | Preocupación menor |                                  |
|                |             | <i>Eupsittula canicularis</i> | Perico Frente Naranja    |                         | Vulnerable         | Sujeta a protección especial     |
|                |             | <i>Psittacara holochlorus</i> | Perico Mexicano          |                         | Preocupación menor | Amenazada                        |

Se registró la presencia de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*; Figura 6), una especie exótica invasora en México, que mostró la mayor abundancia relativa entre los psitácidos observados (43 individuos; 10.8 %). Durante las observaciones también se identificaron distintos patrones de alimentación: en la copa de los árboles, el perico mexicano, el loro cachete amarillo y el loro cabeza amarilla consumían los frutos del palo blanco. Mientras que, a nivel del suelo, la cotorra argentina y el perico mexicano se alimentaban de rebrotes de pasto. Asimismo, se detectó un nido activo de cotorra argentina (Figura 7) en una palma de abanico (*Washingtonia robusta*), a unos 11 metros de altura (Figura 8). Este nido se ubicó dentro de las instalaciones de la Escuela de Bachilleres Dr. Mariano Narváez González, perteneciente a la Universidad Autónoma de Coahuila.

## DISCUSIÓN

México es hogar de una extraordinaria riqueza de pericos, loros y guacamayas: 22 especies que vuelan a lo largo y ancho de 28 estados del país (Cantú-Guzmán y Sánchez-Saldaña, 2018). Sorprendentemente, en la Alameda de Zaragoza puede encontrarse casi una tercera parte de toda esa diversidad nacional de psitácidos. El loro tamaulipeco es endémico de las montañas del noreste, mientras que el loro cabeza amarilla recorre bosques húmedos y secos del Golfo y del Pacífico, con registros de introducción en el centro del país. El perico mexicano es típico del este y suroeste de México, y el loro cachete amarillo habita las selvas tropicales del Golfo y el sur (Howell y Webb, 1995).

La presencia de esta diversidad en la Alameda de Zaragoza abre una gran oportunidad para promover su conservación a través del aviturismo, una actividad que invita a observar y disfrutar a las aves en su hábitat natural (Cantú *et al.*, 2021). Tan solo en 2019, más de 1.1 millones de personas participaron en actividades de observación de aves en México, generando una derrama económica de 329 millones de dólares (Cantú



**Figura 6.** Coexistencia de cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*, izquierda) y perico mexicano (*Psittacara holochlorus*; derecha) en la Alameda de Zaragoza, Saltillo, Coahuila (fotografía de Alejandra Alfaro).



**Figura 7.** Nido activo de cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en la Esc. de Bachilleres Dr. Mariano Narváez González, Saltillo, Coahuila (fotografía de Alejandra Alfaro).



**Figura 8.** Palma de abanico (*Washingtonia robusta*) utilizada como sitio de anidación comunal de cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en la Esc. de Bachilleres Dr. Mariano Narváez González, Saltillo, Coahuila (fotografía de Alejandra Alfaro).

*et al.*, 2020). Aunque ese año el aviturismo se concentró en nueve estados del país y en especies emblemáticas como la guacamaya roja (*Ara macao*), guacamaya verde (*A. militaris*) y el perico mexicano, su potencial es enorme. De hecho, en 2020 los ingresos del aviturismo fueron 153 veces mayores que los obtenidos por la captura ilegal de aves, lo que demuestra que observarlas es más redituable que comerciarlas de manera ilícita (Cantú *et al.*, 2021).

Por ello, integrar a la Alameda de Zaragoza en este creciente movimiento nacional de conservación puede impulsar tanto la protección de los psitácidos como el desarrollo económico de Saltillo. Más aún, desde 2008 existe una veda nacional que prohíbe el aprovechamiento extractivo de todas las especies de psitácidos, lo que convierte al aviturismo en la principal vía legal y sustentable para su uso y disfrute (Cantú *et al.*, 2020; 2021). En línea con esta visión, Garza de León *et al.* (2007) propusieron incluir al loro tamaulipeco, el loro cabeza amarilla y *P. holochlorus* dentro de las especies prioritarias para la conservación en Coahuila.

Sin embargo, la tarea no es sencilla. Los esfuerzos de protección enfrentan un desafío creciente: la presencia de aves exóticas invasoras se reconoce como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el mundo (Leung *et al.*, 2002; Barney *et al.*, 2015). Entre ellas, la cotorra argentina destaca como una amenaza seria para la fauna nativa. Originaria de Sudamérica, esta especie ha sido introducida desde la década de 1930 en diversos continentes (Appelt *et al.*, 2016; Postigo *et al.*, 2017) y hoy está ampliamente distribuida en México, con registros en más de 25 estados (Pablo-López, 2009; MacGregor-Fors *et al.*, 2011; Guerrero-Cárdenas, 2012; Soto-Cruz *et al.*, 2014; Romero-Figueroa *et al.*, 2017; Rodríguez-Maturino *et al.*, 2018).

La llegada de la cotorra argentina se explica por la importación de ejemplares para el comercio de mascotas y por escapes o liberaciones accidentales. La presencia de una colonia reproductiva en la Alameda representa un riesgo para las especies nativas, pues estas colonias funcionan como refugios permanentes que pueden desplazar o competir con los loros locales. Por tanto, es fundamental que las autoridades competentes como la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente evalúe la situación y, de ser necesario, aplique los protocolos de control y manejo correspondientes.

En conjunto, la riqueza de psitácidos de la Alameda de Zaragoza, el potencial del aviturismo y los desafíos que plantea la cotorra argentina muestran la importancia de impulsar estrategias de conservación que protejan tanto la biodiversidad local como el bienestar de la región.

La información generada en el presente trabajo contribuye al diseño de estrategias de conservación y a mejorar la conectividad del hábitat dentro de las ciudades, especialmente en áreas donde ya existe una infraestructura vegetal que puede favorecer la presencia y permanencia de estas aves aún en un período corto de tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

A la familia Heredia Rodríguez por su cálida hospitalidad, colaboración y confianza durante el monitoreo de aves. A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el apoyo brindado a través de la beca de movilidad. Dos revisores anónimos hicieron comentarios valiosos que mejoraron el contenido del manuscrito.



- Appelt, C.W., L.C. Ward, C. Bender, J. Fasenella, B.J. Van Vossen, L. Knight. 2016. Examining potential relationships between exotic monk parakeets (*Myiopsitta monachus*) and avian communities in an urban environment. *The Wilson Journal of Ornithology*. 128 (3): 556-566. <https://doi.org/10.1676/1559-4491-128.3.556>
- Barney, J.N., D.R. Tekiela, E.S. Dollete, B.J. Tomasek. 2015. Global Invader Impact Network (GIIN): Toward standardized evaluation of the ecological impacts of invasive plants. *Ecology and Evolution*. 5 (14): 2878-2889. <https://doi.org/10.1002/ece3.1551>
- Blanco, G., F. Hiraldo, J.L. Tella. 2015. Parrots as key multilinkers in ecosystem structure and functioning. *Ecology and Evolution*. 5 (18): 4141-4160. <https://doi.org/10.1002/ece3.1663>
- Berlanga, H., H. Gómez de Silva, V.M. Vargas-Canales, V. Rodríguez-Contreras, L.A. Sánchez-González, R. Ortega-Álvarez, R. Calderón-Parra. 2019. *Ave de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes*. CONABIO, México D.F., 18 pp.
- Cantú-Guzmán, J.C., M.E. Sánchez-Saldaña. 2018. *Guía de identificación de psitácidos para autoridades mexicanas*. Defenders of Wildlife y Teyeliz A.C., México, 31 pp.
- Cantú, J.C., E. García De la Puente, G.M. González, M.E. Sánchez. 2020. *Riqueza alada: el crecimiento del aviturismo en México*. Defenders of Wildlife, UABCS, ENESUM, Teyeliz, A.C., México, 40 pp.
- Cantú, J.C., H. Benítez-Díaz, M.E. Sánchez-Saldaña, R. Gutiérrez. 2021. *El aviturismo con psitácidos en México*. Defenders of Wildlife, México, 34 pp.
- IUCN. 2025. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-2. En: <https://www.iucnredlist.org>
- Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestre (CITES). Apéndice I. En: <https://cites.org/esp/app/appendices.php>
- Garza de León, A., J.I. González-Rojas, R. Ortega-Ruano. 2007. *Coahuila*. Pp. 98-136. En: Ortiz-Pulido, R. Navarro-Sigüenza, A. Gómez de Silva., O. Rojas-Soto, T.A. Peterson (Eds.). *Avifaunas estatales de México*. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México, 242 pp.
- González, A.H. 2001. Conductas de gregarismo y vocalización de la cotorra cubana (*Amazona leucocephala*). *Ornitología Neotropical*. 12 (2): 141-152.
- González-Castillo, M.A., G. Escalona-Segura, H.A. Plasencia-Vázquez. 2017. Beneficio del espacio público en las ciudades. Caso de estudio, Saltillo, Coahuila. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable*. 3 (6): 1-8.
- Guerrero-Cárdenas, I., H.R. Marrón-Dueñas, R. Ortega-Ruano. 2012. Primer registro de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en Baja California Sur, México. *Huitzil*, 13: 156-161.
- Hernández, G.K., P.B. Escalante, R.I. González. 2023. Tráfico ilegal de psitácidos en México. *Ciencia*. 74 (1): 52-61.
- Howell, S.N., S. Webb. 1995. *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press, EUA, 1,008 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Saltillo, Coahuila de Zaragoza, clave geoestadística 05030. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. En: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/05/05030.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/05/05030.pdf)
- Kricher, J. 2006. *Un compañero neotropical: Una introducción a los animales, plantas y ecosistemas del trópico del nuevo mundo*. American Birding Association, México, 437 pp.
- Leung, B., D.M. Lodge, D. Finnoff, J.F. Shogren, M.A. Lewis, G. Lamberti. 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: Bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 269 (1508): 2407-2413. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2179>
- MacGregor-Fors, I., R. Calderón-Parra, A. Meléndez-Herrada, S. López-López, J.E. Schondube. 2011. Pretty, but dangerous! Records of non-native Monk Parakeets (*Myiopsitta monachus*) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82: 1053-1056. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.721>
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental de Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 dic. 2010.
- Pablo-López, R.E. 2009. Primer registro del perico argentino (*Myiopsitta monachus*) en Oaxaca, México. *Huitzil*. 10: 48-51.
- Plasencia-Vázquez, H.A., G. Escalona-Segura. 2012. Nuevo registro del loro frente blanca (*Amazona albifrons*) para la Isla de Cozumel, Quintana Roo, México. *Huitzil*. 13(1): 43-46.
- Postigo, J.L., D. Strubbe, E. Mori, L. Ancillotto, I. Carneiro, P. Latsoudis, J.C. Senar. 2017. Unrelenting spread of the alien monk parakeet (*Myiopsitta monachus*) in Israel: Is it time to sound the alarm? *Pest Management Science*. 73 (2): 349-353. <https://doi.org/10.1002/ps.4349>
- Ralph, C.J., J.R. Saue, S. Droege. 1996. *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres (Gen. Tech. Rep. PSW-GTR159)*. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, EUA, 51 pp.
- Ríos-Muñoz, C.A., A.G. Navarro-Sigüenza. 2009. Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical*. 20 (4): 491-509.
- Rodríguez-Maturino, A., S.M. Rodríguez-Ruano, E. Vázquez-Domínguez. 2018. Distribución de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en la ciudad de Durango, México. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*. 34: 1-5. <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412151>
- Romero-Figueroa, G., J.E. Ramírez-Albores, R. Esquivel. 2017. Primer registro de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en Coahuila, México. *Huitzil*. 18: 81-86.
- Shirley, S.M., S. Kark. 2009. The role of species traits and taxonomic patterns in alien bird impacts. *Global Ecology and Biogeography*. 18 (4): 450-459. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00452.x>
- Sibley, D.A. 2014. *The Sibley guide to birds (2nd ed.)*. Knopf, EUA, 624 pp.
- Soto-Cruz, R.A., A. Rodríguez-Maturino, R. Esquivel. 2014. Primer registro de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en Chihuahua, México. *Huitzil*. 15: 1-5.
- Wilcove, D.S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips, E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience*. 48 (8): 607-615. <https://doi.org/10.2307/1313420>



# MICROENDEMISMO, VULNERABILIDAD Y CONSERVACIÓN: EL CASO DEL COLIBRÍ COQUETA CRESTA CORTA (*LOPHORNIS BRACHYLOPHUS*)

▮ PABLO SIERRA-MORALES<sup>1,2</sup>,  
R. CARLOS ALMAZÁN-NÚÑEZ<sup>2\*</sup>



<sup>1</sup>Doctorado en Recursos Naturales y Ecología, Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero, Acapulco, Guerrero, México.

<sup>2</sup>Laboratorio de Ecología y Biogeografía de la Conservación, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México.

\*Correspondencia: rcarlos.almazan@gmail.com



**Palabras clave:** amenazas antropogénicas, colibrí coqueta de Atoyac, conservación, especies endémicas, biodiversidad

**Keywords:** anthropogenic threats, Atoyac coquette hummingbird, conservation, endemic species, biodiversity

## RESUMEN

Los colibríes son importantes en los ecosistemas por las funciones de polinización que realizan en muchas especies de plantas. Sin embargo, algunas especies de colibríes enfrentan amenazas que podrían llevarlas a la extinción o al desplazamiento de las áreas que habitan, lo que afectaría a especies vegetales y a los servicios ecológicos en los que participan. El colibrí coqueta cresta corta (*Lophornis brachylophus*), es una especie microendémica de la sierra de Atoyac en el estado de Guerrero. Se encuentra en peligro crítico de extinción a nivel global, debido a su reducido tamaño poblacional y restringida área que habita. Esta especie juega un papel crucial en la visita y potencial polinización de al menos 12 especies de plantas en su área de distribución. Los hábitats que utiliza esta especie han disminuido por causa de las actividades antropogénicas como la pérdida de hábitat, los incendios forestales y el cambio climático. Sin embargo, esfuerzos recientes para la conservación de este colibrí y sus hábitats, brindan la posibilidad de que la especie se mantenga a largo plazo en los bosques húmedos de montaña de la sierra de Atoyac.

## ABSTRACT

Hummingbirds are important in ecosystems for the pollination functions they perform for many plant species. However, some hummingbird species face threats that could lead to extinction or displacement from the areas they inhabit, which would affect plant species and the ecological services they provide. The Short-crested Coquette (*Lophornis brachylophus*) is a microendemic species of the sierra de Atoyac in the state of Guerrero. This species is critically endangered due to its small population size and restricted range. This species plays a crucial role in the visitation and potential pollination of at least 12 plant species in their distribution area. Habitats used by this species have declined due to anthropogenic activities such as habitat loss, forest fires, and climate change. However, recent efforts to conserve this hummingbird and its habitats offer the possibility of the species' long-term survival in the humid mountain forests of the sierra de Atoyac.

## INTRODUCCIÓN

La biodiversidad del planeta no se distribuye de manera uniforme. Esto significa que existen áreas que contienen una mayor riqueza biológica que otras. Estas áreas de mayor biodiversidad están concentradas principalmente en las regiones tropicales de la franja ecuatorial (Antonelli et al., 2009; 2018; García-Moreno et al., 2007; Tobar-Suárez et al., 2022). De hecho, el reconocido científico de origen británico, Norman Myers, propuso un total de 25 hotspots a nivel mundial (Myers et al., 2000). Los hotspots son regiones que poseen la mayor riqueza biológica del planeta, elevado nivel de endemismos -especies que se distribuyen exclusivamente en estas áreas- y que, además, enfrentan serias amenazas antropogénicas. Específicamente, en la porción sur de México existen regiones con elevada biodiversidad y alta prioridad para la conservación como la sierra de Atoyac (Almazán-Núñez et al., 2020). Esta región ha sido considerada a nivel global como prioritaria para la conservación por iniciativas como BirdLife International ([www.datazone.birdlife.org](http://www.datazone.birdlife.org)), Key Biodiversity Areas ([www.keybiodiversityareas.org](http://www.keybiodiversityareas.org)) y la Alianza por la Extinción

Cero ([www.zeroextinction.org](http://www.zeroextinction.org)). A nivel nacional, se ha reconocido como una Región Terrestre Prioritaria (Arriaga et al., 2000), así como un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (Arimendi y Márquez, 2000). La presencia de especies restringidas a la sierra de Atoyac y en peligro crítico de extinción, como el colibrí coqueta cresta corta (*Lophornis brachylophus*; IUCN, 2024), ha promovido que esta región serrana tenga elevados niveles de priorización para su conservación. Este colibrí representa uno de los endemismos más enigmáticos y del cual aún existen muchas preguntas por responder acerca de su evolución, historia natural, comportamiento y conservación, por lo que en esta contribución documentamos información sobre su distribución, factores de riesgo que amenazan su supervivencia y las perspectivas de conservación a largo plazo.

## MICROENDEMISMOS

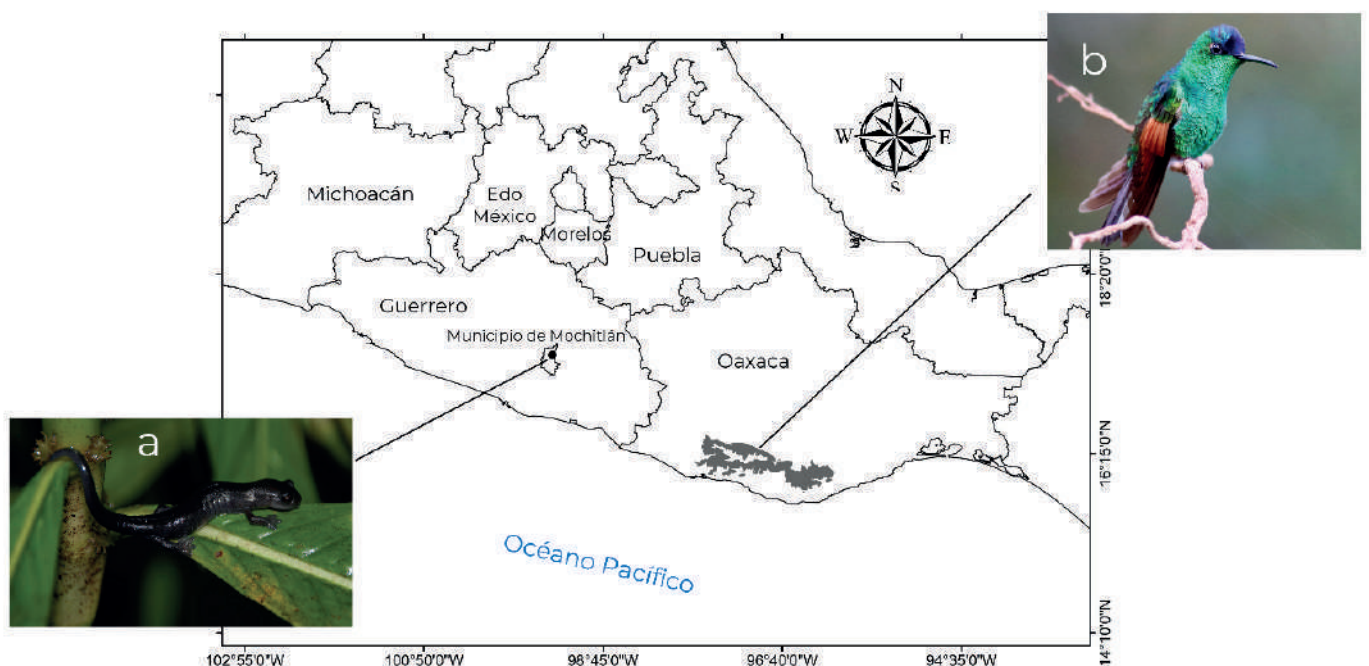
Un endemismo alude a aquellas especies con distribución restringida o exclusiva a un área geográfica particular y, por lo tanto, solo es posible encontrarlas en ese lugar

de manera natural (Noguera-Urbano, 2017). Estos sitios reúnen los requerimientos ambientales favorables, como temperatura, precipitación, humedad, altitud, orografía y vegetación. Ahora bien, el prefijo micro proviene del griego *mikrós* (que significa pequeño), por lo tanto, las especies microendémicas son aquellas que están restringidas a pequeñas áreas de distribución (Araujo et al., 2024). Aunque no existe un consenso claro sobre el tamaño del área que ocupan las especies microendémicas, algunos autores han sugerido que este tipo de especies se distribuyen en áreas con menos de 10,000 km<sup>2</sup> (Silva et al., 2019). Esto equivale a la superficie que abarcan los estados de Morelos y Tlaxcala en conjunto, ambas entidades con la menor extensión territorial del país. Sin embargo, el área que ocupan las especies microendémicas tiende a variar según el grupo biológico y las capacidades de movimiento y/o dispersión que presenten los organismos. Algunas especies como la salamandra de Coaxtlahuacán (*Bolitoglossa coaxtlahuacana*), suelen ocupar áreas diminutas con apenas 1 km<sup>2</sup> (Palacios-Aguilar et al., 2020), mientras que otras como el colibrí miahuatleco (*Eupherusa cyanophrys*), habitan en poco más de 2,000 km<sup>2</sup> (Figura 1). En ambos casos, su distribución no supera el 5% de la superficie del país, un criterio crucial para definir las prioridades de conservación de las especies en las listas rojas oficiales de México (NOM-059-SEMARNAT, 2010) y del mundo (IUCN, 2024).

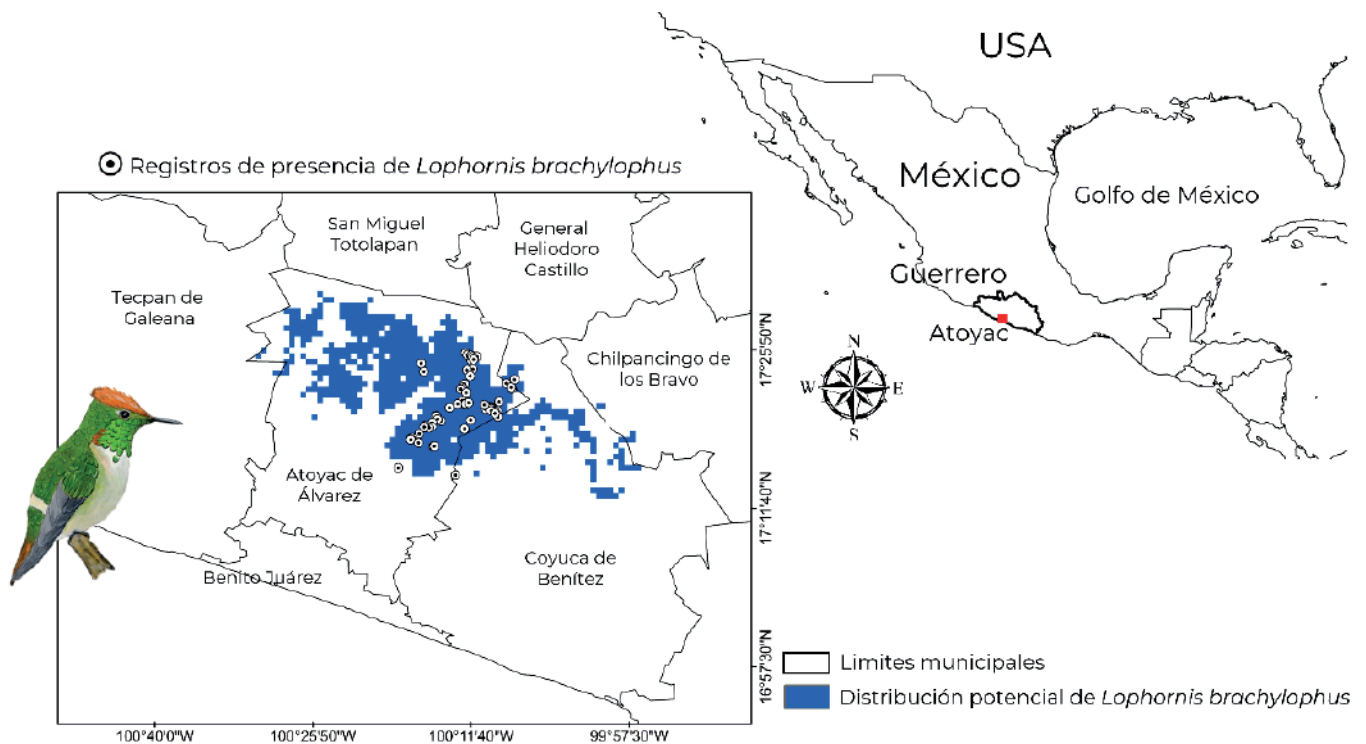
Los microendemismos ocurren en varios grupos de vertebrados terrestres, pero mayormente en especies con capacidades de dispersión y/o movimientos más

limitados como los anfibios (ranas, sapos) y reptiles (culebras, lagartijas). Para las aves, los microendemismos parecen ser menos evidentes debido a su mayor capacidad de dispersión. Sin embargo, muchas especies de aves de zonas montañosas encuentran restricciones físicas y fisiológicas en las áreas que ocupan, lo que moldea sus patrones de distribución. Este aislamiento geográfico provocado por las cimas de las montañas, es conocido como "Islas del Cielo" (McCormack et al., 2009). Las especies adaptadas a las zonas altas no pueden cruzar los valles calientes y bajos para llegar a otra montaña, lo que las confina a áreas pequeñas.

En aves, uno de los microendemismos más extraordinarios y sorprendentes es el del colibrí coqueta cresta corta, una especie cuya distribución conocida abarca aproximadamente 90 km<sup>2</sup> y se encuentra restringida a los bosques montañosos de la sierra de Atoyac del estado de Guerrero (Figura 2). Esta especie fue recolectada por primera vez en 1942 por el ornitólogo Chester Lamb en las montañas medias de la sierra de Atoyac (Moore, 1949; Ornelas, 1987). Inicialmente, la serie de ejemplares con los que se describió a esta especie fueron asignados al colibrí coqueta crestirrufa (*Lophornis delattrei*), cuya distribución se extiende del sur de México hasta Centroamérica (Banks, 1990). Sin embargo, a finales de la década de 1980, con base en diferencias diagnósticas en la cresta, pico y cola de los machos, así como en la garganta de las hembras, el ornitólogo Richard Banks distinguió y reasignó a esta población en la especie *Lophornis [brachylopha] brachylophus* (Banks, 1990).



**Figura 1.** Comparación del área de distribución de dos especies microendémicas: a) *Bolitoglossa coaxtlahuacana* y b) *Eupherusa cyanophrys*. La fotografía y el registro de la salamandra fue tomado de Palacios-Aguilar et al., (2020), mientras que la del colibrí miahuatleco y el polígono de su distribución se obtuvieron de eBird ([www.ebird.org](http://www.ebird.org)) y la IUCN ([www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)), respectivamente.

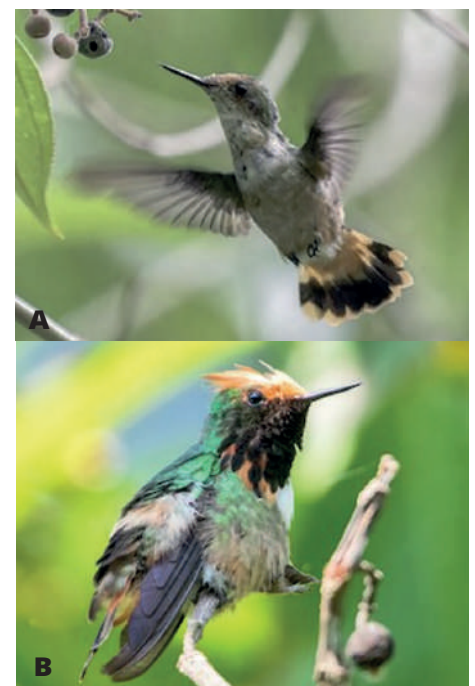


**Figura 2.** Localidades de presencia del colibrí coqueta cresta corta en la sierra de Atoyac, Guerrero. El modelo de distribución potencial se obtuvo de Sierra-Morales et al. (2025) e indica las áreas de mayor idoneidad climática que el colibrí puede utilizar. La imagen del colibrí cresta coqueta fue tomada de Almazán-Núñez et al. (2024).

El colibrí coqueta cresta corta mide aproximadamente 7 cm y pesa 2.8 g. Las dos plumas centrales de la cola son de color verde y el resto muestra tonos acanelados con terminaciones en color negro (Figura 3). Existe dimorfismo sexual, lo que significa que el macho y la hembra son diferentes en su apariencia. Al macho lo caracteriza una pequeña cresta color canela iridiscente. Tiene garganta verde brillante que se torna oscura cuando no está expuesta al sol y posee unas plumas ligeramente alargadas en tonos acanelados a los costados de la garganta, con el vientre manchado en color verde-bronze (Figura 3). Tanto el macho como la hembra presentan un dorso verde-bronze con una línea blanca en la rabadilla. La hembra no presenta cresta y es de color más opaco con la frente ligeramente naranja y las partes inferiores del cuerpo blanquecino cenizo. Ambos sexos presentan picos cortos de color negro (Arizmendi y Berlanga, 2014; Almazán-Núñez et al., 2024).

El colibrí coqueta cresta corta tiene una amplia relevancia en los servicios de polinización. Al menos 12 especies de plantas, entre árboles, arbustos y hierbas, son visitadas para el consumo del néctar por este colibrí. Estas visitas son potencialmente efectivas para la polinización, contribuyendo a la reproducción y dinámica poblacional de la flora leñosa tropical (Arizmendi et al., 2021; López-Flores et al., 2024). Las especies de plantas que consume más frecuentemente son *Clethra fragans*, *Sommeria grandis*, *Clusia salvinii* e *Inga*

*vera*. Todas estas especies de plantas son nativas y suelen utilizarse como árboles de sombra para el cultivo de café, un sistema agroforestal que además de representar ingresos económicos para los productores de la región, es considerado amigable para la conservación de la biodiversidad (González-González y Hernández-Santana, 2016).



**Figura 3.** Individuos del colibrí coqueta cresta corta (*Lophornis brachylophus*): a) hembra, b) macho. Crédito de fotografías: Anthony Lujan.

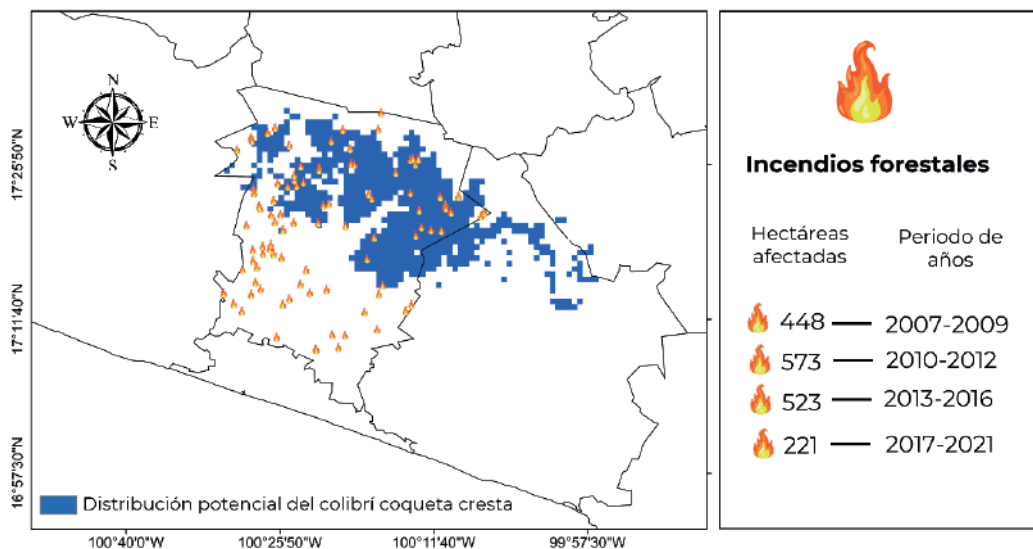
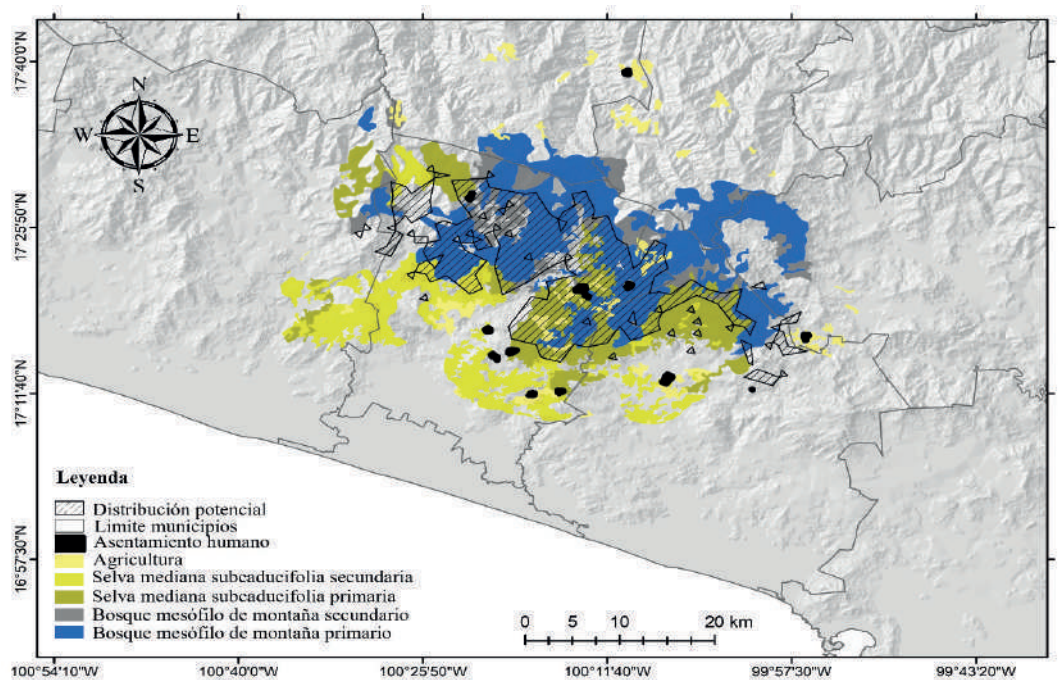
## VULNERABILIDAD

Aunque no existe una estimación precisa sobre el tamaño poblacional del colibrí coqueta cresta corta, se ha sugerido que su población no supera los 1500 individuos (BirdLife International, 2025). Además, se estima que, por década, esta especie tiene una tasa de disminución poblacional del 10-19% (BirdLife International, 2025). En un estudio reciente sobre los efectos potenciales de la pérdida de hábitat de este colibrí, se obtuvo que el 51% de sus hábitats primarios se han transformado en bosques secundarios e incluso en otros usos del suelo como agricultura (Figura 4, Sierra-Morales et al., 2016). Estos cambios son una consecuencia de la ampliación de la frontera agropecuaria en la región, los aprovechamientos forestales desmedidos y los incendios forestales. Recientemente, se documentó que el cambio

climático podría modificar los patrones térmicos y de precipitación en el área que habita este colibrí, lo que podría reducir hasta en un 42% su área de distribución para el año 2050 y un 47% para el 2070 (Sierra-Morales et al., 2021).

Los incendios forestales en Guerrero es otro factor de riesgo que ha incrementado en los últimos años en los hábitats del colibrí coqueta cresta corta (CONAFOR, 2023). Para el municipio de Atoyac, del 2007 al 2021 se registraron aproximadamente 104 incendios forestales, de los cuales, 36 ocurrieron en el área de distribución de este colibrí, afectando poco más de 1,765 hectáreas (Figura 5). Todas estas amenazas antropogénicas, aunado a los factores intrínsecos propios de la especie, como la reducida área de distribución y su pequeño tamaño poblacional, incrementan los niveles de vulnerabilidad y condicionan su supervivencia a futuro.

**Figura 4.** Traslape entre la distribución potencial del colibrí coqueta cresta corta y los tipos de vegetación y usos del suelo predominantes en la región de la sierra de Atoyac. El polígono de distribución del colibrí se obtuvo de Sierra-Morales et al. (2025) y las categorías de vegetación y uso del suelo de INEGI (2021).



**Figura 5.** Incendios forestales ocurridos en los últimos 15 años en el área de distribución potencial del colibrí coqueta cresta corta y zonas adyacentes del municipio de Atoyac de Álvarez, Guerrero. El modelo de distribución potencial se obtuvo de Sierra-Morales et al. (2025). Los datos de incendios forestales se obtuvieron de CONAFOR (2023).

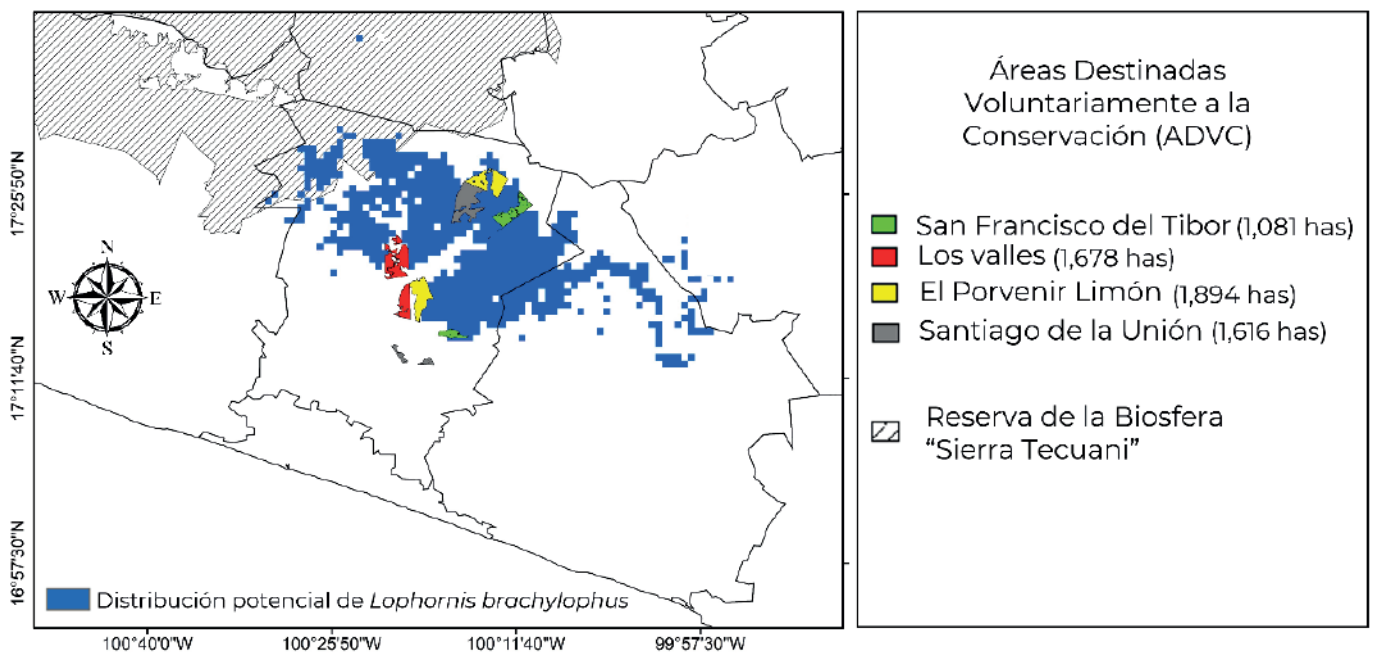


Figura 6. Áreas naturales protegidas (CONANP, 2024) en la distribución del colibrí coqueta cresta corta.

## CONSERVACIÓN

El colibrí coqueta cresta corta es una especie en peligro de extinción por las leyes mexicanas (SEMARNAT, 2010) y a nivel internacional está catalogada en peligro crítico de extinción (IUCN, 2024). Además, está incluida como una especie objetivo por la Alianza por la Extinción Cero (AZE, por sus siglas en inglés), lo que demuestra su alto nivel de prioridad para la conservación a escala global. Hasta el año 2022, en el área que habita la especie y su zona de influencia no existían áreas naturales protegidas orientadas a la conservación y mantenimiento de las poblaciones de esta especie (Almazán-Núñez et al., 2020; Prieto-Torres et al., 2021). No fue sino hasta el año 2023 que se certificaron cuatro Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) ante la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en México (CONANP; Salazar-Miranda et al., 2024). Estas áreas están ubicadas en los hábitats que utiliza este colibrí y abarcan más de 3,900 hectáreas de sus áreas potencialmente idóneas (Figura 6).

En enero del 2024 se decretó la Reserva de la Biosfera Sierra Tecuani en el estado de Guerrero, con aproximadamente 348,140 hectáreas (CONANP, 2024; DOF, 2023). Sin embargo, aunque esta reserva es muy extensa, la distribución potencial de este colibrí, apenas coincide en un 3% (2,400 hectáreas) con el área de dicha reserva (Figura 6).

Es importante resaltar que estas áreas protegidas representan un punto de partida de los esfuerzos que se han emprendido para la conservación del colibrí coqueta cresta corta. Además, la conservación de este colibrí

beneficia a otras especies con las que cohabita en su área de distribución, varias de las cuales son de distribución restringida a las montañas de la Sierra Madre del Sur y con alta prioridad para su protección (Luna-Vega et al., 2016). Estos esfuerzos de conservación fueron implementados por la Universidad Autónoma de Guerrero en alianza con American Bird Conservancy (para mayor información consultar el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=3YgN1-J3t7c>). Actualmente, se siguen implementando diferentes acciones para la conservación de este colibrí. Se realizan talleres relacionados con la protección de los ecosistemas de la región y se capacitan brigadas locales para el monitoreo comunitario permanente sobre esta y otras especies de fauna que habitan la región (Figura 7). La participación comunitaria en el monitoreo de la biodiversidad y particularmente de este colibrí en la región es crucial para la consolidación en las acciones de conservación, así como en la sostenibilidad a largo plazo de otras iniciativas vinculadas al desarrollo económico local sustentable. Adicionalmente, la documentación de información sobre el colibrí coqueta cresta corta puede reorientar los planes y programas de manejo y conservación a largo plazo y de los hábitats que utiliza esta especie en la sierra de Atoyac.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo de la American Bird Conservancy (ABC) mediante los proyectos 1917D, 1953AM, 22039A. También se obtuvo apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), al otorgar una beca al primer autor.



Figura 7. Talleres ambientales para sensibilizar y resaltar la importancia de la conservación del colibrí coqueta cresta corta y de la biodiversidad en ejidos de la sierra de Atoyac.



# Literatura citada



- Almazán-Núñez, R.C., E.A. Alvarez-Alvarez, P. Sierra-Morales, R. Rodríguez-Godínez, D.C. Ruíz-Reyes, M.A. Peñaloza-Montaño, R.I. Salazar-Miranda, M. Morales-Martínez, A.I. López-Flores, J.I. Gómez-Mendoza, D.K. Poblete-López, A. Estrada-Ramírez. 2020. Diversidad alfa y beta de la avifauna en bosques tropicales húmedos y semihúmedos de la Sierra de Atoyac, una región prioritaria para la conservación del sur de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 91 <https://doi.org/10.22201/lb.20078706e.2020.91.3344>
- Almazán-Núñez, R.C., R.I. Miranda-Salazar, A.I. López-Flores, M. Morales-Martínez, P. Sierra-Morales, A. Estrada-Ramírez. 2024. Aves de la Sierra de Atoyac, Guerrero, México. Universidad Autónoma de Guerrero. American Bird Conservancy. Primera edición, Ed. Lama, Ciudad de México, México. 298 pp.
- Antonelli, A., J.A. Nylander, C. Persson, I. Sanmartín. 2009. Tracing the impact of the Andean uplift on Neotropical plant evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106(24): 9749-9754. <https://doi.org/10.1073/pnas.0811421106>
- Antonelli, A., A. Zizka, F.A. Carvalho, R. Scharn, C.D. Bacon, D. Silvestro, F.L. Condamine. 2018. Amazonia is the primary source of Neotropical biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 115(23): 6034-6039. <https://doi.org/10.1073/pnas.1713819115>
- Araujo, H.F.P., C.C.C. Machado, J.M.C. Silva. 2024. The distribution and conservation of areas with microendemic species in a biodiversity hotspot: a multi-taxa approach. *PeerJ*. 12:e16779. <https://doi.org/10.7717/peerj.16779>
- Arizmendi, M.C., L. Márquez, V. (eds). 2000. Áreas de importancia para la conservación de las aves de México. CONABIO, México, D.F. 440 p.
- Arizmendi, M.C., H. Berlanga. 2014. Los colibríes de México y Norteamérica. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Arizmendi, M.C., L.E. Nuñez-Rosas, H. Berlanga, M.A. Quiroga-Rodríguez, J.M. Soberanes-González, C.M. Caballero, G. López-Segoviano. 2021. Endemic and endangered short-crested Coquette (*Lophornis brachylophus*): floral resources and interactions. *Avian Conservation and Ecology*. 16(1):13. <https://doi.org/10.5751/ace-01834160113>
- Arriaga, L., J.M. Espinoza-Rodríguez, C. Aguilar-Zúñiga, E. Martínez-Romero, L. Gómez-Mendoza y E. Loa (coords). 2000. Regiones Terrestres Prioritarias de México. CONABIO, México.
- Banks, R.C. 1990. Taxonomic status of the Coquette hummingbird of Guerrero, Mexico. *The Auk*. 107(1): 33.
- BirdLife International. 2025. *Lophornis brachylophus*. The IUCN red list of threatened species 2018: e.T22687196A130649157. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22687196A130649157> (acceso enero del 2025).
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2023. Sistema Nacional de Información Forestal. <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/> (acceso 20 de mayo 2025)
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2024. Áreas Naturales Protegidas Federales de México. CONABIO. <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/anpenero2024gw> (acceso 10 de febrero del 2025).
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2023. Declaratoria de área natural protegida, con la categoría de reserva de la biosfera, el sitio Sierra Tecuani, ubicado en los municipios de San Miguel Totolapan, Ajuchitlán del Progreso, Tecpan de Galeana, Coyuca de Catalán y Atoyac de Álvarez, estado de Guerrero, y que abarca la superficie de 348,140-97-37.42 hectáreas. 8 de enero del 2023.
- García-Moreno, J., R.P. Clay, C.A. Ríos-Muñoz. 2007. The importance of birds for conservation in the Neotropical region. *Journal of Ornithology*, 148: 321-326. <https://doi.org/10.1007/s10336-007-0194-5>.
- González-González, H.A., J.R. Hernández-Santana. 2016. Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. 90:105-118. <https://doi.org/10.14350/ig.49329>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Conjunto nacional de uso del suelo y vegetación a escala 1:250 000. Serie VII. DGG-INEGI, México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html>
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2024. The IUCN red list of threatened species. Version 2019-1. <https://www.iucnredlist.org> (ultimo acceso el 14/ Jun/2024). <https://www.iucnredlist.org/species/22687196/130649157>.
- Luna-Vega, I., D. Espinosa, R. Contreras-Medina. 2016. Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar. Secretaría de Desarrollo Institucional, UNAM. Ciudad de México. 528 pp. López-Flores, A.I., C.I. Rodríguez-Flores, M.C. Arizmendi, V. Rosas-Guerrero, R.C. Almazán-Núñez. 2024. Shade coffee plantations favor specialization, decrease robustness and increase foraging in hummingbird-plant networks. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 22(1):24-34. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.10.005>.
- McCormack, J. E., H. Huang, L.L. Knowles. 2009. Sky Islands. En: R. G. Gillespie & D. A. Clague (Eds.), *Encyclopedia of Islands* (pp. 841-843). University of California Press.
- Moore, R.T. 1949. A new hummingbird of the genus *Lophornis* from southern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 62: 103-104.
- Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A., Da Fonseca, J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403(6772): 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Noguera-Urbano, E.A. 2017. El endemismo: diferenciación del término, métodos y aplicaciones. *Acta Zoológica Mexicana*. 33(1): 89-107
- Ornelas, J.F. 1987. Rediscovery of the Rufous-crested Coquette (*Lophornis delattrei brachylopha*) in Guerrero, Mexico. *The Wilson Bulletin*. 99(4): 719-721
- Palacios-Aguilar, R., A.Y. Cisneros-Bernal, J.D. Arias-Montiel, G. Parra-Olea. 2020. A new species of *Bolitoglossa* (Amphibia: Plethodontidae) from the central highlands of Guerrero, Mexico. *Canadian Journal of Zoology*. 98(6):359-365. <https://doi.org/10.1139/cjz-2019-0244>
- Prieto-Torres, D.A., L.E. Nuñez-Rosas, D.R. Figueroa, M.C. Arizmendi. 2021. Most Mexican hummingbirds lose under climate and land-use change: Long-term conservation implications. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 19(4): 487-499. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.07.001>
- Salazar-Miranda, R.I., P. Sierra-Morales, E.A. Alvarez-Alvarez, R. Rodríguez-Godínez, V. Reyes-Pino, M. Morales-Martínez, J.A. Almazán-Catalán, R.C. Almazán-Núñez. 2022. Disminución de fauna silvestre y creación de áreas para la conservación: Un ejercicio de participación social en la sierra de Atoyac, Guerrero. *Tlamati Sabiduría*. 14: 42-56
- Sierra-Morales, P., R.C. Almazán-Núñez, E. Beltrán-Sánchez, C.A. Ríos-Muñoz, M.C. Arizmendi. 2016. Distribución geográfica y hábitat de la familia Trochilidae (aves) en el estado de Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical*. 64:379-392. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18003>
- Sierra-Morales, P., O. Rojas-Soto, C.A. Ríos-Muñoz, L.M. Ochoa-Ochoa, P. Flores-Rodríguez, R.C. Almazán-Núñez. 2021. Climate change projections suggest severe decreases in the geographic ranges of bird species restricted to Mexican humid mountain forests. *Global Ecology and Conservation*. 30:e01794. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01794>
- Sierra-Morales, P., O. Rojas-Soto, L.A. Sánchez-González, C. Gutiérrez-Flores, R.C. Almazán-Núñez. 2025. Geographical and seasonal distribution of the Short-crested Coquette hummingbird: a microendemic and endangered species. *PeerJ*. 13:e20312. <https://doi.org/peerj.20312>
- Silva, J.M.C., A. Rapini, L.C.F. Barbosa, R.R. Torres. 2019. Extinction risk of narrowly distributed species of seed plants in Brazil due to habitat loss and climate change. *PeerJ*. 7:e7333. <https://doi.org/10.7717/peerj.7333>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres, Categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010. Ciudad de México, México. [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)
- Tobar-Suárez, C., N. Urbina-Carдона, F. Villalobos, E. Pineda. 2022. Amphibian species richness and endemism in tropical montane cloud forests across the Neotropics. *Biodiversity and Conservation*. 31(1):295-313. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02335-z>

A halftone illustration of Noah's Ark, showing various animals like birds, sheep, and cows, and people on the ship. The image is composed of a grid of small dots in various colors, creating a textured effect.

# SÍNDROME DE NOÉ:

ANALIZANDO LA ACUMULACIÓN DE  
ANIMALES DESDE EL ENFOQUE UNA  
SALUD

ORDAZ-CERVERA G.\* , BOLIO-GONZÁLEZ M.\* , ARJONA-TORRES M.\* ,  
TORRES-CASTRO M.A.\*\* , MARTÍNEZ-ORTIZ D.\*\*\*

\*Departamento de Salud Animal y Medicina Preventiva, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán.

\*\*Laboratorio de Zoonosis y otras Enfermedades Transmitidas por Vector, Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", Biomédicas, Universidad Autónoma de Yucatán.

\*\*\*Servicios de Salud del Gobierno del Estado de Yucatán.



**Palabras clave:** Acumulación animal, Síndrome de Noé, Una salud.

**Key words:** Animal hoarding, Noah's syndrome, One Health.

## RESUMEN

El síndrome de Noé es un trastorno conductual clasificado dentro del espectro de los trastornos obsesivo-compulsivos. Se caracteriza por la acumulación progresiva de animales, acompañada de incapacidad para brindarles atención básica, lo que afecta negativamente tanto a los animales como al acumulador y su entorno. Este fenómeno afecta predominantemente a mujeres adultas mayores de clase media, quienes suelen iniciar la conducta como un intento descontrolado de rescate animal. Con el tiempo, esta acción se convierte en una compulsión patológica con consecuencias sanitarias, sociales y legales graves.

La acumulación suele incluir perros y gatos en condiciones insalubres, con alta carga zoonótica y enfermedades infecciosas como toxoplasmosis. A menudo, los animales sufren desnutrición, agresividad, canibalismo; dificultando su rescate y rehabilitación. El problema tiene implicaciones tanto de salud pública, como animal y ambiental, por tanto, requiere una perspectiva integral para su abordaje y atención como la que ofrece el enfoque Una Salud.

El tratamiento del síndrome es complejo, principalmente debido a la incapacidad de los afectados para reconocer el problema. Las intervenciones deben involucrar servicios de salud mental, protección animal, autoridades sanitarias y apoyo comunitario. Además, es crucial implementar políticas públicas orientadas a la detección temprana, prevención y educación social. La simple remoción de los animales no resuelve el problema y puede conducir a reincidencia. Un manejo efectivo exige protocolos intersectoriales para salvaguardar el bienestar de personas y animales involucrados directa o indirectamente y su relación con el medio ambiente.

## ABSTRACT

Noah's syndrome is a behavioral disorder classified within the obsessive-compulsive disorder spectrum. It is characterized by the progressive hoarding of animals, accompanied by an inability to provide them with basic care, which negatively affects both the animals and the person who hoarded them, as well as their environment. This phenomenon predominantly affects older, middle-class women, who often begin the behavior as an uncontrolled attempt to rescue animals. Over time, this action develops into a pathological compulsion with serious health, social, and legal consequences.

The hoarding often includes dogs and cats kept under unsanitary conditions, with zoonotic disease

implications, such as toxoplasmosis. Animals often suffer from malnutrition, aggression, and cannibalism, making their rescue and rehabilitation difficult. This problem has significant implications for public health, animal welfare and environmental health, therefore, it requires a comprehensive approach and analysis, such as One Health.

Treatment for the disorder is complex, primarily due to the inability of those affected to recognize the problem. Interventions must involve mental health services, animal protection agencies, health authorities, and community support. Furthermore, it is crucial to implement public policies for early detection, prevention, and social education. Simply removing the animals does not solve the problem and may lead to recurrence. Effective management requires intersectoral protocols to safeguard the well-being of both people and animals, whether directly or indirectly involved and environmental implications.

## INTRODUCCIÓN

Cuando las personas traspasan los límites del bienestar animal-humano-medio ambiente y buscan compulsivamente "salvar" animales, siendo incapaces de percibir las consecuencias indeseables de sus actos; es muy probable que se trate de un trastorno conductual conocido como "Síndrome de Noé", por la similitud con el personaje mencionado en el libro del Génesis en la Biblia. De forma similar, el personaje creado por Matt Groening en la popular serie de televisión "The Simpsons", "La loca de los gatos", representación contemporánea de aquellas personas que demuestran vínculos patológicos con los animales (figura 1) (Moreira y Gama, 2022).

La problemática crece cuando la salud y el bienestar de los animales y la persona acumuladora son negativamente afectados y las consecuencias de la tenencia irresponsable y patológica de animales también impacta a la comunidad y al ecosistema, precisando de un enfoque que contemple los tres elementos para su abordaje integral (Nadal *et al.*, 2022; Ramos *et al.*, 2013).

El análisis de las conductas de acumulación de animales se ha enfocado tradicionalmente, en su atención como problema de salud mental y, de manera eventual, se contemplan implicaciones legales por maltrato o crueldad animal; sin embargo, no siempre se atienden todos los elementos que inciden en la problemática. Esto se debe a que, además de afectar la salud de las personas y animales, la acumulación puede afectar de forma importante al medio ambiente y generar condiciones que representan riesgos para la salud y

bienestar de tanto de humanos como de animales (Kmetiuk *et al.*, 2023). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis de los factores más relevantes de las conductas de acumulación de animales desde el enfoque una salud.

## ¿QUÉ ES EL SÍNDROME DE NOÉ?

Los primeros reportes fueron realizados por Worth y Beck (1982) y se relacionaron con el número de animales bajo responsabilidad de la misma persona. Actualmente, es considerado un trastorno cognitivo-conductual caracterizado por acumulación de animales, incapacidad de brindarles cuidados básicos y compromiso de la calidad de vida que ponen en riesgo a la persona afectada, los animales acumulados y la sociedad. En resumen, es un vínculo patológico entre el tutor (dueño o cuidador) y los animales (Lockwood, 2018; Ramos *et al.*, 2013).

La mayoría de los reportes se realizan en mujeres de la tercera edad (Dozier *et al.*, 2019). Es un problema sobrerrepresentado en el mundo occidental y es más común en zonas urbanas. Inicia en la adultez temprana y afecta hasta la tercera edad, culminando en algunos casos con la muerte de la persona acumuladora o con acciones drásticas legales e intervenciones de salud. Algunos acumuladores tienen actitudes de adopción pasiva o parcial, como la alimentación desorganizada de animales en espacios públicos o el involucramiento de terceras personas como corresponsables de la atención y cuidado de los animales; complicando el reconocimiento y abordaje del problema (Fossati, 2023; Kmetiuk *et al.*, 2023).

El síndrome ha tenido varias definiciones y clasificaciones; sin embargo, las evidencias clínicas y la investigación han permitido conocer algunos aspectos relevantes del trastorno. La cuarta edición del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM)-4, lo incluyó en la categoría de los trastornos

obsesivo-compulsivos (TOC), pero el DSM-5 lo separa en el mismo grupo donde se encuentra el síndrome de Diógenes (acumulación material); no es de extrañar que ambos síndromes suelen presentarse juntos (APA, 2013; Lavigne *et al.*, 2016).

Por otra parte, se han identificado tres categorías de personas con este síndrome: sobreprotectores, rescatadores y explotadores; estos últimos exhiben total falta de empatía, soliendo llegar a extremos como la zoofilia o zoofagia (Stumpf *et al.*, 2023).

## CARACTERÍSTICAS DE LAS PERSONAS AFECTADAS

Varios reportes en países como Estados Unidos, Brasil, España, Australia y el Reino Unido, han permitido conocer los aspectos más comunes que demuestran las personas con síndrome de Noé. Paloski y colaboradores (2017) proponen un modelo que explica que, durante la infancia, las personas afectadas afrontaron situaciones complejas y no pudieron crear vínculos afectivos sanos, lo que se asocia con una mala capacidad de toma de decisiones que conducen a la adopción irresponsable de animales.

El rango de edad es amplio, pero el problema inicia alrededor de los 30 años y progresa durante la tercera edad, que es la etapa más vulnerable. El primer indicio es una abrumadora propensión a "rescatar" animales en situación de calle o abandono; posteriormente, la adopción de forma negligente genera reproducción indiscriminada, muertes y aumento de la población del grupo. En casos extremos, sustraen ilegalmente animales con dueños, sin importar si estos gozan o no de buena atención; todo ello producto de la ansiedad que genera la condición y la incapacidad para hacer una correcta interpretación de la realidad animal y propia (Kmetiuk *et al.*, 2023; Lavigne *et al.*, 2016).

La mayoría de los afectados son mujeres caucásicas de clase media a media alta, con edades entre 60

**Figura 1.** A la izquierda se observa la obra titulada "Entrada de los animales en el arca de Noé", óleo sobre tela elaborado por Jacopo Bassano en 1570 (colección del museo del Prado) donde se observa el grado de hacinamiento entre animales y la coexistencia de múltiples especies que característica a la mayoría de los casos de conductas de acumulación de animales. A la izquierda "La loca de los gatos", el personaje creado por Matt Groening en la serie "Los Simpson" representa a una mujer llamada Eleanor Abernathy, quien producto de una crisis, desarrolla conducta de acumulación animal.



y 65 años. En la mayoría de los casos una situación emocional compleja opera como detonante (divorcio, abandono familiar, "síndrome del nido vacío", entre otros). Asimismo, muchas de las personas afectas son apoyadas por otros acopiadores; lo que recrudece la problemática y dificulta su atención (Rodríguez *et al.*, 2014; Stumpf *et al.*, 2023).

Las mujeres con síndrome de Noé son más sobreprotectoras-rescatadoras y los animales más acumulados son gatos. En los hombres, los perros suelen ser los animales más acumulados y hay mayor propensión por conductas abusivas. La mayor parte de los afectados son incapaces de reconocer el problema, poniendo en riesgo su vida e integridad, y aquellos que lo reconocen, no pueden gestionarlo solos de forma adecuada. Las personas afectadas presentan trastornos asociados como depresión, acumulación de objetos y aislamiento social. De igual manera, no es rara la utilización de expresiones de romantización y antropomorfización de los animales (Nadal *et al.*, 2022; Rodríguez *et al.*, 2014).

Algunos especialistas sugieren que las lesiones cerebrales pueden estar relacionadas con conductas acumuladoras, sin embargo, la mayor parte de la evidencia clínica apunta a la depresión como factor común. Los factores genéticos son pocas veces relacionados con el síndrome de Noé (Lockwood, 2018).

El manejo clínico del síndrome de Noé debe ser continuo, brindándole al afectado seguimiento por parte de los servicios de salud y apoyo psicológico. Este proceso es complejo por las implicaciones legales y de derechos humanos y la resistencia del afectado (Fossati, 2023; Van Roessel *et al.*, 2023).

## CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN ANIMAL

Los principales animales acumulados son gatos y perros, aunque eventualmente pueden ser otros animales domésticos (pequeños rumiantes, aves, entre otros) e incluso fauna silvestre. La acumulación incluye comúnmente de 15 a 100 animales, aunque algunos grupos superan los cientos de individuos. Los animales acumulados pueden ser de varias especies, sexos y edades, usualmente con nulo manejo sanitario y médico, lo que genera enfermedades, agresiones, canibalismo o depredación que puede incluso afectar al acopiador (Kmetiuk *et al.*, 2023).

En los sitios donde se acumulan más de 30 animales, se ha demostrado que se incrementa la posibilidad de enfermedades infectocontagiosas. La Asociación Americana de Médicos Veterinarios señala que es común que en la práctica clínica cotidiana se enfrenten casos de

acumulación de animales; el problema es la dificultad para identificarlos, ya que algunas personas son percibidas como "rescatadores", aun cuando vulneran el bienestar animal (Caravaca, 2023; Moreira y Gama, 2022).

La conducta de los animales acumulados es generalmente anormal, demuestran estereotipias (movimientos repetitivos, coordinados, rítmicos y sin propósito; que son realizados de forma involuntaria), agresividad y/o comportamientos que no son propios de su especie. Usualmente son mantenidos en cuartos o corrales; pero otras veces son enjaulados o encadenados. Algunos de los individuos con síndrome de Noé provocan la muerte de los animales acumulados, y al momento de realizar el rescate animal, las pésimas condiciones conducen a la eutanasia de hasta 2/3 partes de los individuos (Dosier *et al.*, 2019; Stumpf *et al.*, 2023). Muchas veces, la complejidad de los trastornos en la conducta de los animales hace imposible su rehabilitación (Fossati, 2023; Kmetiuk *et al.*, 2023).

En la actualidad, existen países que trabajan en la legislación para atender el problema de acumulación de animales por tenencia irresponsable y la clasifican como maltrato animal, con los animales como víctimas pasivas (Caravaca, 2023).

Comúnmente los animales se encuentran en condiciones insalubres, mostrando patologías de diversas índoles (Figura 2), lo que motiva la investigación y atención del caso. Por tanto, no es raro que el individuo afectado enfrente consecuencias legales. En España, se puso en marcha un programa para identificar y reportar la acumulación animal, lo que llevó a un incremento en su frecuencia, aunque se plantea la hipótesis del incremento debido a la mayor visibilización (Patronek y Nathanson, 2009; Rodríguez *et al.*, 2014).

Aun cuando la premisa ante la atención de estos casos es rescatar y dar albergue a los animales afectados, especialmente cuando se adopta la filosofía de "eutanasia cero", esto no es siempre posible; por tanto, incluso en países donde la problemática de los animales en situación de calle no tiene importancia mayúscula, dar atención veterinaria y albergue a los animales rescatados es complejo, costoso e inaccesible y muchos de los albergues están saturados y enfrentan muchas dificultades económicas y logísticas que comprometen su persistencia (Fossati, 2023).

## IMPACTO A LA SALUD PÚBLICA Y AL ECOSISTEMA

El primer afectado es el propio acumulador, ya que la mayoría ha cursado por alguna enfermedad zoonótica o ha recibido agresiones que los ponen en



**Figura 2.** A la izquierda colonia de gatos hacinados en un predio con acumulación de objetos y materiales que ponen en riesgo al grupo; las condiciones insalubres y la falta de control de la reproducción son características en muchos casos de acumulación. Del lado derecho, colonia de perros en un traspatio, lo que genera molestias a los vecinos por el ruido. Usualmente los malos olores y la proliferación de fauna nociva son consecuencias que afectan a la sociedad (Imágenes tomadas de Texas Humane Network; <https://texashumanenetwork.org>).

peligro. No obstante, algunas de las consecuencias de la acumulación de animales son la proliferación de plagas, de enfermedades infecciosas, la acumulación de heces y orina; sumándose a la contaminación auditiva, condiciones de insalubridad y maltrato animal (Caravaca, 2023; Dozier *et al.*, 2018).

Algunos estudios sugieren que la mayor parte de los individuos con síndrome de Noé tienen anticuerpos contra el parásito *Toxoplasma gondii* que ha sido relacionado a varios casos de trastornos psiquiátricos y mentales, representando un riesgo para otros animales y personas (Fekadu *et al.*, 2010; Lockwood, 2018).

Una situación particular son las condiciones de riesgo que tienen los sitios donde se acumulan los animales, ya que la mayoría de ellos están en malas condiciones sanitarias y con elevado riesgo de incendios por la acumulación de materiales inflamables, materia orgánica y humedad (Lavigne *et al.*, 2016; Patronek y Nathanson, 2009).

Las personas que comparten vivienda con el acumulador, debido a que igualmente están expuestas directamente a los peligros y riesgos derivados de esta convivencia; y los vecinos o residentes de zona cercanas, son víctimas colaterales de la conducta de acumulación (Caravaca, 2023; Reinisch, 2008).

## IMPORTANCIA DEL ENFOQUE UNA SALUD PARA LA ATENCIÓN DEL SÍNDROME

La mayoría de los casos son abordados únicamente desde la perspectiva legal, sin evaluar las condiciones de salud mental del individuo afectado, ni las consecuencias sociales y a la salud pública; por lo que se requiere un mayor abordaje transversal de la problemática, como el ofrecido por el enfoque Una Salud. Por lo que respecta a la salud del acumulador como parte del componente

de salud pública, la evidencia de los casos atendidos de forma integral sugiere alta ocurrencia de trastorno bipolar, TOC, psicosis y demencia (Van Roessel *et al.*, 2023). Tristemente, se estima que menos del 25% de los casos reciben atención y apoyo integral, y de ellos, cerca del 60% culminan con la total prohibición de tutelaje de animales por el resto de sus vidas, situación a la que los afectados demuestran total renuencia (Patronek y Nathanson, 2009; Reinisch, 2008).

La acumulación de heces, orina y desechos de los animales crea las condiciones necesarias para la transmisión de enfermedades zoonóticas en las personas que habitan sitios cercanos y contaminación ambiental, lo que precisa su atención para salvaguardar la salud pública y ambiental. De igual forma, los niveles altos de amoníaco en las áreas suelen causar irritaciones e intoxicaciones a las personas y animales expuestos, generando problemas de salud pública y animal. En algunos rescates se han documentado la presencia de cadáveres que generan mayor microbismo y efectos adversos como el canibalismo e incluso la atropofagia (Kmetiuk *et al.*, 2023, Ramos *et al.*, 2013; Reinisch, 2008).

Para la correcta atención de los casos es necesaria la colaboración entre la sociedad, seguridad pública, bomberos, familiares del afectado (de ser posible) y autoridades de salud pública, así como las de salud y bienestar animal y profesionales de diversas áreas para la atención de las consecuencias que la acumulación genera al medio ambiente. Cabe resaltar que entre más temprano se intervenga, mayores son las posibilidades de éxito (Lockwood, 2018; Patronek y Nathanson, 2009).

La alta frecuencia de historiales de abuso, maltrato o traumas de infancia que demuestran las personas afectadas, resalta la importancia del rol de los animales

y las relaciones que el niño establece con ellos como parte del desarrollo sano del infante, y los factores detonantes en la etapa de adulto joven deben ser abordados con apoyo terapéutico y médico tan pronto como sea posible, para garantizar la salud y bienestar de humanos y animales (Fossati, 2023; Ramos *et al.*, 2013). La sola remoción de los animales acumulados no es una solución efectiva, pues sin atención profesional, el individuo demostrará reincidencia; por lo que se han propuesto enfoques similares a los que se utilizan para el tratamiento de adicciones a sustancias (Lockwood, 2018; Reinisch, 2008).

En el 2014 el departamento de protección animal de Curitiba, Brasil atendió un reporte de un caso extremo de acumulación de animales ante un reporte ciudadano, en la descripción se identifican diversos elementos de salud pública, animal y ambiental, reforzando la pertinencia del abordaje con el enfoque Una Salud de los casos de acumulación animal. La descripción correspondió con una persona de la tercera edad que falleció en el interior del domicilio que compartía con perros sometidos a acumulación, mismos que; ante la falta de acceso a recursos, consumieron el cadáver del acumulador. Dadas las condiciones, fue necesario realizar peritajes y los animales implicados fueron sometidos a eutanasia por el elevado riesgo que implicaba su rescate y adopción. Casos como este

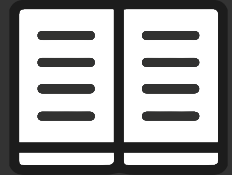
resaltan la importancia de elaborar y aplicar protocolos para atender oportunamente los casos de acumulación animal (Kmetiuk *et al.*, 2023).

## CONCLUSIÓN

El síndrome de Noé es un trastorno conductual multifactorial clasificado en el DSM-5 en el apartado de los trastornos y conductas obsesivo-compulsivas. Se caracteriza por la progresiva acumulación de animales, en adición a la negligencia en garantizarles salud y bienestar. Las víctimas principales del trastorno son usualmente mujeres adultas de clase media y los animales acopiados suelen ser perros y gatos. Las víctimas colaterales son animales domésticos y silvestres cercanos al sitio de acumulación, el ecosistema y la sociedad.

Debido al riesgo que representa la atención de la problemática, el abordaje Una Salud es la mejor forma de enfrentar los casos. Es necesario brindar terapia conductual y médica al individuo afectado, rescatar y atender a los animales, para proteger la salud pública y el ecosistema. De forma preventiva, es preciso generar el sustento legal y la educación de la población para la pronta detección, reporte y atención de los casos, garantizando la salud y el bienestar de las personas, animales y medio ambiente.





- American Psychiatric Association (APA). 2013. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.97808904255961>
- Caravaca, L.C. 2023. El síndrome de Noé en España: aproximación política y repercusión social. La Razón histórica. *Revista hispanoamericana de historia de las ideas*. 59:244-274.
- Dozier, M., C. Bratotiis, D. Broadnax, J. Le, C.R. Ayer. 2019. A description of 17 animal hoarding case from animal control and a humane society. *Psychiatry Research*. 272:365-368. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.12.127>
- Fekadu, A., T. Shibre, A.J. Cleare. 2010. Toxoplasmosis as a cause for behaviour disorders—overview of evidence and mechanisms. *Folia Parasitologica*. 57(2):105–113.
- Fossati, P. 2023. Challenges in sheltering seized animals from hoarders from a one welfare perspective. *Animals*. 13(21):3303. <https://doi.org/10.3390/ani13213303>
- Kmetiuk, L.B., P.C. Maiorka, A.M. Beck, A.W. Biondo. 2023. Dying alone and being eaten: Dog scavenging on the remains of an elderly animal hoarder—a case report. *Frontiers in Veterinary Science*. 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1161935>
- Lavigne, B., M. Hamdan, B. Faure, H. Merveille, M. Pareaud, E. Tallon, A. Bouthier, J.P. Clément, B. Calvet. 2016. Diogenes syndrome and hoarding disorder: Same or different?. *L'Encéphale*. 42(5):421-425. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2016.02.010>
- Lockwood, R. 2018. Animal hoarding: The challenge for mental health, law enforcement, and animal welfare professionals. *Behavioral Sciences & the Law*. 36(6):698-716. <https://doi.org/10.1002/bsl.2373>
- Moreira Abreu, L., J.N. Gama Marques. 2022. Noah Syndrome: A review regarding animal hoarding with squalor. *Innovations in Clinical Neuroscience*. 19(7-9):48-54. PMID: 36204162; PMCID: PMC9507150.
- Nadal, Z., M. Ferrari, J. Lora, A. Revollo, F. Nicolas, S. Astegiano, V.M. Díaz. 2022. Noah's Syndrome: Systematic Review of Animal Hoarding Disorder. *Human-animal Interaction Bulletin*. 10(1):1-21. <https://doi.org/10.1079/hai.2022.0003>
- Paloski, L.H., E.A. Ferreira, D.B. Costa, M.L. Del Huerto, C.R. De Oliveira, A.I.I. De Lima, I.T. Quarti. 2017. Animal hoarding disorder: a systematic review. *Psico*. 48 (3):243–249. <http://dx.doi.org/10.15448/1980-8623.2017.3.25325>
- Patronek, G.J., J.N. Nathanson, 2009. A theoretical perspective to inform assessment and treatment strategies for animal hoarders. *Clinical Psychology Review*. 29(3):274-81. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.01.006>
- Ramos, D., N.D. Cruz, S.L.H. Ellis, J. Hernández, A. Reche-Júnior, 2013. Early stage animal hoarders: Are these owners of large numbers of adequately cared for cats? *Human-animal interaction bulletin*. 1(1):55-69. <https://doi.org/10.1079/hai.2013.0005>
- Reinisch, A.I. 2008. Understanding the human aspects of animal hoarding. *The Canadian Veterinary Journal*. 49(12), 1211-1214.
- Rodríguez, L.E., F.C. Ortiz, N.G. Blanco, A.M. Sáez, G.F. García, P.C. Bermejo. 2014. Caracterización socio-demográfica de las personas con conducta acumuladora/trastorno por acumulación (S. de Diógenes) en la ciudad de Madrid. Serie de Casos. *Revista de la Asociación Española de Neuropsiquiatría*. 34(124), 666-681. <https://dx.doi.org/10.4321/S0211-57352014000400002>
- Stumpf, B.P., B. Calácio, B.C. Branco, B. Wilnes, G. Soier, L. Soares, L. Diamante, C. Cappi, M.O. Lima, F.L. Rocha, L.F. Fontenelle, I.G. Barbosa. 2023. Animal hoarding: a systematic review. *Brazilian Journal of Psychiatry*. 45(4):356–365. doi: 10.47626/1516-4446-2022-3003
- Van Roessel, P., R.P.A. Muñoz, R.O. Frost, C.I. Rodríguez. 2023. Hoarding disorder: Questions and controversies. *Journal of Obsessive-Compulsive and Related Disorders*. 37. <https://doi.org/10.1016/j.jocrd.2023.100808>
- Worth, D., A.M. Beck. 1982. Multiple ownership of animals in New York City. *Transaction & Studies of the College of Physicians Philadelphia*. 3(4):280-300.



# EL REGRESO DEL LOBO TERRIBLE: CIENCIA, FANTASÍA... ¿O EL INICIO DE UNA NUEVA ERA GENÉTICA?

IRAM PABLO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ<sup>1,\*</sup>, ANTONIO  
GUZMÁN VELASCO<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Pedro de Alba, Ciudad Universitaria, 66455 C.P., San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Pedro de Alba, Ciudad Universitaria, 66455 C.P., San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

\*Autor para correspondencia





**Palabras clave:** des-extinción, CRISPR-Cas9, lobo terrible, conservación genética, biotecnología, ética ambiental

**Keywords:** de-extinction, CRISPR-Cas9, dire wolf, genetic conservation, biotechnology, environmental ethics

## RESUMEN

La empresa “Colossal Biosciences” anunció en 2025 el nacimiento de tres cachorros con características del extinto *Aenocyon dirus*, mejor conocido como ‘lobo terrible’. Al utilizar fragmentos de ADN antiguo y herramientas de edición genética como CRISPR-Cas9 se modificó el genoma de lobos grises para recrear fenotípicamente a esta especie extinta. Este logro ha generado tanto fascinación como debate: ¿Se trata de un avance revolucionario en conservación o de una distracción genética frente a la pérdida actual de biodiversidad?

## ABSTRACT

In 2025, the company Colossal Biosciences announced the birth of three pups with characteristics of the extinct *Aenocyon dirus*, better known as the “dire wolf.” By using fragments of ancient DNA and genetic editing tools such as CRISPR-Cas9, the genome of gray wolves was modified to phenotypically recreate this extinct species. This achievement has generated both fascination and debate: is it a revolutionary advance in conservation or a genetic distraction in the face of the current loss of biodiversity?

## INTRODUCCIÓN

La des-extinción (idea de traer de regreso especies extintas mediante técnicas genéticas) ha dejado de ser mera ciencia ficción. Proyectos como el del mamut lanudo y el dodo han capturado la imaginación pública, pero recientemente, un avance concreto ha tomado protagonismo: el regreso del lobo terrible. Con una mezcla de ciencia de frontera, alta tecnología y ambición biológica, Colossal Biosciences declaró haber alcanzado el primer caso de des-extinción funcional (Colossal Biosciences, 2025).

### EL LOBO TERRIBLE: UN DEPREDADOR DEL PASADO

El *Aenocyon dirus* dominaba América del Norte durante el Pleistoceno tardío. Aunque anatómicamente similar al lobo moderno (*Canis lupus*), estudios genómicos recientes han confirmado que pertenecía a una línea evolutiva distinta (Perri et al., 2021). Su desaparición coincidió con la extinción de grandes herbívoros como el mamut, lo que posiblemente provocó su colapso ecológico.

### RESUCITAR LO EXTINTO: CRISPR Y CLONACIÓN

Los científicos de Colossal extrajeron ADN antiguo de fósiles de hasta 72,000 años de antigüedad. Con base en fragmentos parciales, identificaron regiones clave del genoma del lobo terrible —como el gen *LCORL*, vinculado al tamaño corporal— y las editaron en células de lobo gris mediante CRISPR-Cas9. Posteriormente, clonaron estas células e implantaron embriones en madres sustitutas (Colossal Biosciences, 2025). El

resultado fue una generación de cachorros con rasgos fenotípicos similares al animal extinto.

### ¿REVIVIR O RECONSTRUIR?

Estos nuevos lobos no son genéticamente idénticos al lobo terrible, sino representaciones funcionales. No se trata de una clonación literal, sino de una “reprogramación” genética que reproduce rasgos físicos y comportamentales del extinto depredador. Como explica Shapiro (2020), la des-extinción actual se basa más en la emulación que en la restauración genómica total.

### CONSERVACIÓN O ESPECTÁCULO

Colossal ha declarado que su tecnología también tiene fines conservacionistas, como salvar al lobo rojo (*C. rufus*) o al dodo. No obstante, muchos científicos advierten que estas iniciativas no deben reemplazar las medidas clásicas de conservación: legislación ambiental, protección de hábitats y participación ciudadana (Cohen, 2014; Odenbaugh, 2023).

### ÉTICA, RIESGOS Y PREGUNTAS ABIERTAS

La des-extinción plantea interrogantes complejos como:

- ¿Dónde reintroducir especies que ya no tienen ecosistemas viables?
- ¿Tendrán bienestar estos organismos híbridos?
- ¿Qué impacto tendrían en la biodiversidad actual?



Estas preguntas no son menores, y subrayan la necesidad de combinar entusiasmo científico con responsabilidad social (Odenbaugh, 2023).

¿Realmente regresó el lobo terrible? Una aclaración científica necesaria

Aunque Colossal Biosciences ha presentado a Rómulo, Remo y Khaleesi como “lobos terribles”, diversos especialistas han cuestionado esta afirmación. Según el paleontólogo Aldo Benites-Palomino, los animales generados no pertenecen al linaje extinto del *A. dirus*, sino que son lobos grises (*C. lupus*) modificados genéticamente para parecerse fenotípicamente al lobo terrible.

Además, la empresa aún no ha publicado el genoma completo del lobo terrible en una revista científica revisada por pares. Aunque se ha afirmado que comparten el 99.5 % del ADN con los lobos grises, esta cifra contradice estudios previos que indican que *A. dirus* se separó evolutivamente de los lobos modernos hace más de 5 millones de años y pertenece a un linaje distinto, más cercano a los chacales africanos que a los cánidos actuales (Perri et al., 2021).

El Dr. Aldo Benites-Palomino (investigador asociado al Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Perú) también advierte que un individuo no constituye una especie: “La funcionalidad se da en el mundo natural, no con base en que se reconstruya”. La reconstrucción parcial del fenotipo no equivale a una restauración del genoma completo ni a la recuperación de la diversidad genética que define a una especie.

Estas observaciones subrayan que, si bien el proyecto representa un avance técnico notable, no se ha logrado una verdadera des-extinción, sino una recreación parcial basada en edición genética.

## CONCLUSIONES

El regreso del lobo terrible marca un hito en biotecnología aplicada, pero también es una oportunidad para reflexionar sobre el tipo de futuro que queremos construir. La ingeniería genética puede ofrecer herramientas valiosas, pero no debe convertirse en un sustituto de la conservación integral. Lo que está en juego no es solo revivir el pasado, sino decidir cómo cuidamos lo que aún no hemos perdido.

- Cohen, S. 2014. The ethics of de-extinction. *NanoEthics*, 8(2), 165–178. <https://doi.org/10.1007/s11569-014-0201-2>
- Colossal Biosciences. 2025. *Dire Wolf Project Overview*. <https://colossal.com/direwolf/>
- Odenbaugh, J. 2023. Philosophy and ethics of de-extinction. *Cambridge Prisms: Extinction*, 1,e7,1–7 <https://doi.org/10.1017/ext.2023.4>
- Perri, A.R., K.J. Mitchell, A. Mouton, et al. 2021. Dire wolves were the last of an ancient New World canid lineage. *Nature* 591, 87–91. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03082-x>
- Shapiro, B. 2020. Pathways to de-extinction: how close can we get to resurrection of an extinct species? *Functional Ecology* 31, 996–1002. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12705>

# LA CUESTIÓN DE LAS SECUENCIAS REGULADORAS EN EL PROBLEMA DEL GEN. ANÁLISIS DE LAS POSICIONES DE CARLSON Y GRIFFITHS & NEUMANN-HELD

BUDEGUER A.<sup>1</sup>, BUDEGUER C.J.<sup>2</sup>



<sup>1</sup> Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.



**Palabras clave:** Gen; Genética; Definición; Información; Pluralismo.

**Keywords:** Gene; Genetics; Definition; Information; Pluralism.



## RESUMEN

El concepto de gen ha sido abordado por diversos autores desde principios del siglo XX hasta la actualidad, sin alcanzarse una definición única que integre de manera satisfactoria los distintos campos de la biología. Diversos autores han propuesto definiciones ajustadas a sus respectivos campos de estudio, en un marco plural de aproximaciones conceptuales. Lejos de estar concluida la "cuestión del gen", se ha complejizado a la luz de descubrimientos como los intrones, el empalme alternativo, la edición del ARN mensajero, los elementos reguladores distantes y los genes solapados. En el presente trabajo se analizan dos posturas que afectan al concepto de gen: la definición exclusiva de Carlson, y la inclusiva de Griffiths y Neumann-Held, según incluyan únicamente secuencias codificantes o también elementos reguladores dentro del concepto de gen. Se sostiene que la pluralidad del concepto de gen constituye una consecuencia inevitable de la complejidad del fenómeno biológico que se pretende explicar.

## ABSTRACT

The concept of the gene has been addressed by various authors from the beginning of the twentieth century to the present, without reaching a single definition capable of satisfactorily integrating the different fields of biology. Various authors have proposed definitions tailored to their respective fields of study, within a plural framework of conceptual approaches. Far from being settled, the "gene question" has become more complex in light of discoveries such as introns, alternative splicing, messenger RNA editing, distant regulatory elements, and overlapping genes. This paper analyzes

two positions that bear on the concept of the gene: Carlson's exclusive definition and the inclusive definition proposed by Griffiths and Neumann-Held, depending on whether the concept of gene includes only coding sequences or also regulatory elements. It is argued that the plurality of the concept of the gene constitutes an inevitable consequence of the complexity of the biological phenomenon it seeks to explain.

## INTRODUCCIÓN Y PROPÓSITOS DEL TRABAJO

El concepto de gen ocupa un lugar central en la biología contemporánea, sin embargo, está lejos de constituir una noción teóricamente estable (cf. El-Hani, 2007; Falk, 1986; Portin, 2002, 2009). Desde su introducción a comienzos del siglo XX, el término ha experimentado una notable deriva conceptual y semántica (Stent, 1977) junto con los cambios en los marcos experimentales y conceptuales de la genética. Esta inestabilidad no es solo una cuestión terminológica, sino que refleja un problema teórico de fondo; a saber, la dificultad de articular, bajo una misma definición, las exigencias explicativas de la genética clásica, la biología molecular, la biología del desarrollo y la teoría evolutiva (cf. Beurton, 2008; Corella & Ordovas, 2017; Depew & Weber, 1986; Oyama, 2001). A este conjunto de tensiones se le ha denominado, de modo ya canónico, el *problema del gen*.

En sus primeras formulaciones, el gen funcionó como una entidad teórica destinada a dar cuenta de regularidades en la herencia, sin que existiera un compromiso ontológico fuerte con su naturaleza material (cf. Gasper, 1992). Desde los factores hereditarios de Gregor Mendel hasta la acuñación del término por Wilhelm Johannsen (Allen, 2003; Churchill, 1974), el gen operó como una hipótesis instrumental que permitía describir y predecir la transmisión de caracteres hereditarios. Este estatuto cambió progresivamente con la consolidación de la genética cromosómica (Rushton, 2014) y, más tarde, con el surgimiento de la biología molecular, que introdujo una identificación cada vez más estrecha entre genes, secuencias de ADN y productos moleculares específicos (Waters, 1994). La célebre metáfora de las *cuentas en un collar*, asociada al programa experimental de Thomas H. Morgan cristaliza bien esta transformación hacia una concepción más material del gen (Allen, 2003; Graubard, 1935; Manier, 1969).

No obstante, el desarrollo ulterior de la biología molecular puso en crisis esa imagen relativamente simple (Barton et al., 1995; Morange & Morange, 2000, p. 167). El descubrimiento de intrones, el empalme alternativo, la edición del ARN mensajero, los

elementos reguladores distantes y los genes solapados erosionó la idea de que el gen pudiera identificarse sin inconvenientes con un segmento continuo de ADN que codifica un único producto funcional estable. En este contexto, se hizo patente que las definiciones clásicas o neoclásicas del gen –centradas en unidades discretas de información genética– no logran capturar adecuadamente la complejidad de los procesos moleculares que median entre genotipo y fenotipo.

El gen dejó de ser una entidad estructural relativamente estable para convertirse en un nodo problemático dentro de una red de procesos dinámicos, contextuales y dependientes del sistema de desarrollo. Para Portin (2002), aunque nuestra comprensión de la estructura del material genético ha aumentado enormemente, el concepto de gen se ha vuelto más abstracto. Esto se debe, entre otros muchos factores, a que ya no es posible identificar al gen con una estructura física fija en el cromosoma. El autor apoya una definición que incluya no solo la unidad de transcripción, sino también las secuencias reguladoras, ya que son necesarias para su función específica y responden positivamente a pruebas genéticas como el test cis-trans. Asimismo, manifiesta que a la luz de los descubrimientos de la biología molecular, el concepto de gen debe ser “[...] abstracto, general y abierto” (Portin, 2002, p. 274).

El presente trabajo examina críticamente dos propuestas contemporáneas que intentan responder a esta crisis conceptual desde estrategias opuestas. Por un lado, se analiza la definición exclusiva del gen defendida por Elof Axel Carlson (Carlson, 1991), la cual busca preservar un núcleo informacional del concepto, distinguiéndolo de los elementos regulatorios y del contexto celular. Por otro lado, se estudia la definición inclusiva propuesta por Paul E. Griffiths y Eva Neumann-Held (Griffiths & Neumann-Held, 1999), quienes conciben el gen como un proceso molecular que integra tanto las secuencias codificantes como los elementos reguladores y el entorno celular. La comparación entre ambas posturas pone de relieve tanto sus respectivas fortalezas explicativas como los compromisos ontológicos y epistemológicos que cada una asume frente a la complejidad real de los sistemas biológicos

## DEFINICIÓN EXCLUSIVA DE CARLSON

En “Defining the Gene”, Carlson defiende una concepción del gen centrada en su dimensión informacional, distinguiéndolo claramente de los elementos que permiten su expresión. Su propuesta busca preservar la integridad del gen informacional (Carlson, 1991, p. 476) considerando, a su vez, que elementos como


no deberían formar parte de la definición. De allí que su concepción pueda ser llamada exclusiva, en el sentido en que entiende que existe un concepto nuclear o fundamental –el del gen informacional– que debe ser resguardado frente a las crecientes complejidades de otros procesos moleculares.

Parte de la argumentación de Carlson se apoya en una reconstrucción histórica destinada a mostrar cómo los sucesivos avances en la historia de la genética fueron complicando progresivamente una noción que, en sus orígenes, resultaba relativamente simple. De acuerdo con la concepción mendeliana clásica, el gen es un fragmento de cromosoma que se asocia con una diferencia fenotípica específica (Griffiths & Neumann-Held, 1999, p. 660). Carlson traza la genealogía del término desde Darwin y su teoría de la pangénesis –de acuerdo con la cual cada célula del cuerpo producía pequeñas partículas llamadas gémulas que permitían la transmisión de los caracteres– hasta la acuñación del término en 1909 por Johannsen. Siguiendo a De Vries, Johannsen “[...] tuvo la sabiduría de dejar el gen sin definir y de solicitar que su término reemplazara todos aquellos otros términos que implicaban alguna estructura o función específica” (Carlson, 1991, p. 475).

La evolución posterior del término, sobre todo durante la primera mitad del siglo XX, fue problemática. El gen fue conceptualizado como una entidad física. Para Eyster (cf. Eyster, 1924) el gen era un saco que contenía genómeros bajo la suposición errónea de que “[...] un gran número de unidades idénticas actuaban como un gen” (Carlson, 1991, p. 475). Este modelo fue rápidamente reemplazado en los años siguientes debido a múltiples inconsistencias. Antes del inicio de la década del cincuenta, la visión de Schrödinger (cf. Schrödinger, 1992) de los genes como cristales aperiódicos con códigos que actuaban como guiones para indicar las distintas acciones en las células se popularizó y fue, durante algún tiempo, la más aceptada.

La irrupción de la biología molecular en la década de los cincuenta parecía prometer, en sus inicios, una definición operacional rigurosa, sobre todo por el descubrimiento de la estructura del ADN (Watson & Crick, 1953). Carlson dedica una atención significativa al intento de Benzer (1955) de reemplazar el término gen por un léxico operacional. Los genes se convertían en cistrones, recones y mutones. Esto indicaba que “[...] las unidades de función, recombinación y mutación utilizadas para definir o detectar la existencia de un gen no compartían un tamaño común” (Carlson, 1991, p. 476).

De los conceptos mencionados, el cistrón fue el más influyente, permitiendo equiparar un gen a la secuencia de



ADN que complementa funcionalmente a otra. Además, “[...] era un concepto con sentido molecular. El número de sitios dentro de él correspondía aproximadamente al número de nucleótidos inferidos por su producto” (Carlson, 1991, p. 477). Sin embargo, Carlson argumenta que, aunque el cistrón resultó conceptualmente útil para describir el metabolismo de ácidos nucleicos en células procariotas, fracasó al enfrentarse a la genética en organismos eucariotas. En palabras del propio Carlson, el cistrón ha caído en desuso porque “[...] los genes eucariotas tienen una organización más compleja de secuencias informativas e intervinientes que no pueden acomodar las simples suposiciones de función y estructura asociadas al término cistrón” (Carlson, 1991, p. 477).

Dos descubrimientos en biología molecular replantearon esta visión simplificada según la cual el gen (ADN), su mensaje (ARN) y su producto (proteína) podían comprenderse como entidades colineales (Yanofsky *et al.*, 1964); a saber: 1) el modelo del operón de Jacob y Monod, que introdujo el concepto de secuencias de ADN que no codifican proteínas, sino que regulan la expresión de ciertos genes (Jacob & Monod, 1961); y 2) el descubrimiento de los intrones y exones en 1977 (*cf.* Breathnach *et al.*, 1977). Con estos aportes, la transcripción en eucariotas y la formación de ARNm se volvía mucho más compleja, pues había secuencias informativas o exones, y secuencias intermedias o intrones, de modo que no podía seguirse afirmando la colinealidad que Yanofsky introdujo unos pocos años atrás.

Estos hallazgos desencadenaron una crisis conceptual que, hasta ese momento, parecía relativamente simple en términos generales. Si este debía definirse en base a la transcripción, entonces los intrones debían incluirse; si se lo define por la traducción, los intrones no deberían formar parte del concepto. Asimismo, siguiendo los aportes de Jacob y Monod, si decidimos optar por una definición funcional, las secuencias reguladoras o *enhancers* debían considerarse. Según Carlson, “[...] Cuando a esta búsqueda de una definición integral del gen se suman genes aún más complejos, como los que intervienen en la formación de anticuerpos del sistema inmunitario, la búsqueda se vuelve quijotesca” (Carlson, 1991, p. 478).

Después de trazar este panorama, Carlson propone una solución. Considera que, incluso las definiciones que incluyen secuencias que no codifican proteínas, “[...] no destruyen la verdad esencial del dogma central [de la biología molecular]” (Carlson, 1991, p. 478). A pesar de estos nuevos descubrimientos –entre los cuales destaca la transcriptasa inversa, con la cual algunos virus pueden iniciar un flujo de ARN a ADN (Baltimore, 1970)– en verdad, afirma Carlson, el dogma central permanece inalterado. Sobre esta base y esta defensa del concepto

de información biológica es que el autor introduce el concepto de gen informacional (*informational gene*), término que se asemeja al de cistrón, pero “[...] no requiere la integridad física de la secuencia de la que carece el ADN eucariota” (Carlson, 1991, p. 478). Es decir, Carlson no entiende al gen informacional como un *segmento físico* contiguo e ininterrumpido de ADN, sino como una unidad de información definida por su producto final (proteína).

Habiendo introducido este concepto, Carlson propone eliminar del concepto de gen algunas de las dificultades con las cuales se ha topado desde comienzos de la década del sesenta. En primer lugar, propone dejar de lado los intrones. Si definimos el gen en base a la información biológica, tal y como lo hace Carlson, entonces los intrones no deberían considerarse. Es por ello por lo que Carlson afirma que “[...] los intrones no plantean ningún problema para la definición del gen, porque no son parte del gen informacional” (Carlson, 1991, p. 478). Si bien las mutaciones en los intrones pueden afectar gravemente el *splicing* y destruir la función de la proteína codificada, “[...] El gen no necesita ser definido por la patología de sus mutaciones” (Carlson, 1991, p. 479).

En segundo lugar, Carlson propone eliminar de la definición las secuencias reguladoras. Reconoce que este problema es más complejo que el de los intrones; ¿cómo separar los promotores, operadores y *enhancers* del gen que controlan? La solución que Carlson propone es distinguir entre la *información única* y la *maquinaria universal*. Su argumento es el siguiente:

ES MÁS DIFÍCIL DEFINIR EL GEN CON OPERADORES, PROMOTORES Y REGULADORES DE SU TRANSCRIPCIÓN Y FRECUENCIA DE TRANSCRIPCIÓN. SERÍA MÁS APROPIADO LLAMARLOS “SECUENCIAS ACCESORIAS” PARA EL PROCESAMIENTO GENÉTICO, YA QUE SON CARACTERÍSTICAS UNIVERSALES DE TODOS (O MUCHOS) GENES Y NO SON CARACTERÍSTICAS ÚNICAS DE CADA GEN (CARLSON, 1991, p. 479).

Un gen promotor –como una TATA box– es una pieza de un aparato de transcripción general; su secuencia es genérica. La secuencia de exones, en cambio, es única para cada gen y especifica un producto único. Las secuencias accesorias son parte de la *maquinaria universal* de la célula para leer genes, mientras que el gen informacional es la *información única* que se lee. Por lo tanto, las secuencias reguladoras no son parte del gen, sino, más bien, del sistema que permite su expresión.

Carlson concluye su propuesta con un retorno a la primacía de la información. La evolución, argumenta,



actúa sobre los productos funcionales. Por lo tanto, la unidad de la herencia y la evolución debe ser la información que especifica esos productos. Así, termina afirmando que “Si la evolución implica supervivencia, y si la supervivencia implica el funcionamiento de los productos génicos de un organismo, entonces las secuencias informacionales que producen estos productos son los genes” (Carlson, 1991, p. 479).

## DEFINICIÓN INCLUSIVA DE GRIFFITHS Y NEUMANN–HELD

En “The Many Faces of the Gene”, Griffiths y Neumann–Held abordan la problemática que subyace a la definición de gen. A diferencia de posturas que intentan rescatar una unidad física discreta, los autores sostienen que la controversia no es producto de la imprecisión terminológica, sino resultado de una tensión fundamental entre dos objetivos teóricos distintos; a saber (Griffiths & Neumann–Held, 1999, p. 656): 1) por un lado, la herencia de la genética clásica que busca identificar genes con segmentos particulares de ADN en los cromosomas; y por otro, 2) la necesidad de otorgar al gen un papel central en la explicación causal del desarrollo fenotípico. Los autores argumentan que el primer objetivo es, a la luz del conocimiento actual sobre la síntesis de proteínas, simplemente inalcanzable. El modelo del gen como una “cuenta en un collar” ha colapsado ante el descubrimiento de la complejidad del transcriptoma. Fenómenos como los empalmes alternativos (*splicing*), la edición del ARNm y el solapamiento de marcos de lectura demuestran que no existe una correspondencia biunívoca entre una secuencia de ADN y un producto funcional.

En estas condiciones, los autores argumentan que una definición unívoca no solo es problemática, sino también indeseable, de modo que conviene distinguir con claridad dos conceptos de gen distintos y utilizarlos en sus contextos apropiados.

El gen evolutivo, tal como lo definen Williams (Williams, 1971; 1996) y Dawkins (Dawkins, 1981; 1990), es una unidad de cálculo en la dinámica de poblaciones. Para el evolucionista, el gen es un paquete de información que se mantiene estable frente a la segregación y la recombinación para que la selección natural pueda actuar sobre él. En este dominio, no es estrictamente necesario que el gen tenga una correspondencia material única o discreta en el genoma; basta con que funcione como una diferencia heredable que guarde una correlación con una diferencia fenotípica. Es lo que los autores denominan, *grosso modo*, una entidad teórica cuya validez no depende de su estructura química, sino de su éxito como replicador.

Por el contrario, el gen molecular es una entidad física que debe dar cuenta de la síntesis proteica en el laboratorio. Aquí, la definición no puede permitirse la abstracción del gen evolutivo. El biólogo molecular se enfrenta a la realidad de que el ADN es una molécula reactiva y contextual, no un código digital aislado. Al intentar forzar la unidad estadística del gen evolutivo (el replicador de Dawkins) dentro del molde material del gen molecular, se genera la paradoja actual: cuanto más sabemos sobre cómo funciona el ADN como molécula, más difícil resulta identificar esta realidad molecular con la unidad discreta requerida por la teoría de la evolución. Pues bien, de acuerdo con los autores, la salida a este atolladero no es unificar ambos conceptos en una definición híbrida, sino aceptar su pluralismo funcional. Esta transición nos obliga a mover la mirada desde la estructura estática del gen evolutivo hacia el dinamismo del proceso molecular, reconociendo que la herencia es un sistema de múltiples niveles.

En la sección siguiente de su texto, los autores dirigen una crítica concluyente a lo que denominan el tratamiento del gen como una *caja negra*. En este modelo tradicional, el gen es un insumo (*input*) que produce un rasgo (*output*) sin que sea necesario explicar el proceso intermedio. El contenido de esa caja negra es, precisamente, el desarrollo. Para abrir esta caja, los autores proponen abandonar las metáforas informacionales. Siguiendo a Oyama (*cf.* Oyama, 2001), sostienen que la idea del ADN como un contenedor de planos o *programas preexistentes* es un obstáculo para la explicación científica. La información no está depositada en la secuencia de nucleótidos de manera pasiva, sino que emerge como producto del sistema en desarrollo. Por lo tanto, cualquier definición de gen que pretenda ser explicativa debe incorporar los mecanismos que permiten que una secuencia adquiera significado biológico.

La propuesta central de los autores es la transición hacia un concepto de proceso molecular del gen. Mientras que definiciones exclusivas como la de Carlson (Carlson, 1991) o Epp (Epp, 1997) intentan separar lo que el gen es (su estructura) de *cómo se usa* (su función), Griffiths y Neumann–Held consideran que esta distinción es absolutamente artificial desde el punto de vista biológico. Para estos autores, el término gen no debería denotar un objeto estático, sino designar un proceso recurrente que conduce a la expresión temporal y espacialmente regulada de un polipéptido particular. Por tanto,

- A. El gen se identifica con la totalidad del evento molecular. Esto incluye no solo los exones, sino también las secuencias reguladoras, los promotores y, crucialmente, la maquinaria

citoplasmática y los factores ambientales que determinan el empalme y la edición del ARN.

- B. Si el efecto de una secuencia de ADN en el desarrollo depende de elementos extrínsecos al marco de lectura, entonces esos elementos deben formar parte de la definición funcional del gen. La herencia no es solo de ADN, sino de un sistema celular complejo.

El texto analiza la propuesta de Waters (1994), quien intenta salvar la unidad molecular definiendo al gen como la secuencia para un producto en algún estadio específico. Griffiths y Neumann-Held consideran que esta es una *solución parcial* que no resuelve la ambigüedad de fondo. Si un intrón es parte del gen durante la transcripción pero no durante la traducción, la identidad del gen se vuelve fragmentaria. Más profunda es la confrontación con Epp (*cf.* Epp, 1997), quien sostiene que las secuencias reguladoras no deben ser parte del gen porque “un gen no tiene que estar expresándose para estar presente”. Griffiths y Neumann-Held rechazan esta supuesta independencia entre estructura y función. Argumentan que, dado que una misma secuencia de ADN puede funcionar como exón en un tejido y como intrón en otro, o incluso como promotor en contextos distintos, la estructura no posee una identidad intrínseca independiente de su funcionamiento. En consecuencia, la separación de Epp entre el *qué es* y el *cómo se usa* ignora que el *qué es* una secuencia está determinado por su uso en el contexto celular.

Finalmente, como adelantamos, el análisis distingue este proceso molecular del gen evolutivo. Retomando la tradición de Williams (Williams, 1996) y Dawkins (Dawkins, 1990), los autores definen al gen evolutivo como una unidad teórica de selección. Esta entidad no requiere una correspondencia exacta con segmentos de ADN; su legitimidad proviene de su capacidad para explicar cambios en las frecuencias alélicas y el éxito reproductivo en las poblaciones. La tesis de Griffiths y Neumann-Held es que la biología no sufre por tener muchas definiciones de gen, sino por intentar unificarlas erróneamente. La disciplina requiere:

- A. Un concepto de proceso molecular para explicar la ontogenia y el desarrollo (donde el gen es inclusivo y contextual).  
B. Un concepto evolutivo para explicar la filogenia y la adaptación (donde el gen es una unidad de cálculo estadístico).

La postura de Griffiths y Neumann-Held representa un auténtico cambio de paradigma desde una ontología de sustancias hacia una *ontología de procesos*. Al definir al gen como un proceso molecular, los autores logran

integrar la complejidad epigenética y el contexto del desarrollo en el corazón de la genética.

## COMPARACIÓN ENTRE AMBOS AUTORES

El fenómeno de los intrones y el *splicing* alternativo constituye un punto de quiebre entre las dos posturas ya comentadas. Para Carlson, los intrones son interrupciones que deben eliminarse para rescatar y preservar el gen informacional. Su enfoque es reduccionista en sentido técnico, pues busca la mínima unidad de secuencia que mantenga una correlación directa con la proteína. Esta visión tiene una clara ventaja pedagógica y clínica, ya que permite una asignación sencilla de locus y funciones en el asesoramiento genético tradicional.

Sin embargo, el análisis de Griffiths y Neumann-Held sugiere que esta simplificación implica un alto costo teórico. Si una misma secuencia de ADN puede generar múltiples productos polipeptídicos dependiendo de cómo se procesen sus intrones, entonces la información no reside exclusivamente en el ADN, sino en el proceso que produce el empalme. En este punto, la postura inclusiva parece captar con mayor fidelidad la realidad del laboratorio, dado que el gen entendido como un proceso molecular reconoce que la identidad de una secuencia –sea exón, intrón o elemento regulador– es funcional y no intrínseca. Mientras que Carlson intenta preservar la definición de gen limitando su alcance, Griffiths y Neumann-Held expanden la definición para que coincida con la complejidad observada.

Al evaluar ambas posiciones, se advierte que responden a necesidades pragmáticas distintas dentro de las ciencias biológicas. El modelo de Carlson resulta altamente eficiente para la genética de transmisión y la genómica estructural. Al tratar al gen como una unidad exclusiva de información, facilita la cartografía genómica y la identificación de variantes patogénicas. Es, *e.g.*, el concepto de gen que permite una comunicación fluida entre médicos y pacientes, al simplificar la complejidad molecular en unidades manejables de herencia (*cf.* Tabla 1).

No obstante, la propuesta procesual de Griffiths y Neumann-Held ofrece un marco epistemológico más robusto para la biología del desarrollo y la epigenética. Su principal fortaleza reside en que desarticula el determinismo genético latente en las metáforas de programación o planos que Carlson, de alguna manera, intenta preservar. Al considerar al gen como un proceso, se elimina la jerarquía que sitúa al ADN como el mando central y al resto de la célula como mera maquinaria de soporte. Esta paridad causal es esencial para entender

fenómenos donde el ambiente celular y extracelular determina activamente la arquitectura del producto génico.

**Tabla 1. Comparación entre la propuesta de Griffiths & Neumann-Held y Carlson.**

|                        | Griffiths & Neumann-Held   | Carlson                   |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Postura                | Inclusiva                  | Exclusiva                 |
| Gen                    | ADN y contexto celular     | Secuencia de exones       |
| Secuencias reguladoras | Incluidas en el gen        | Son secuencias accesorias |
| Tratamiento del intrón | Incluido (transcripcional) | Excluido (informativo)    |

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

El análisis conceptual desarrollado a lo largo de este trabajo muestra que el *problema del gen* es el síntoma de una tensión estructural entre distintos programas explicativos dentro de la biología. La definición exclusiva defendida por Carlson busca preservar un núcleo informacional estable que permita seguir hablando de genes como unidades discretas de herencia y evolución. Esta estrategia posee una clara virtud pragmática, ya que mantiene un concepto operativo que resulta eficaz para la cartografía genómica, la genética de transmisión y buena parte de la práctica biomédica. En estos dominios, la reducción del gen a una unidad informacional definida por su producto final permite simplificar la complejidad molecular en entidades manejables para la descripción causal y la intervención clínica. Sin embargo, al aislar el gen de los mecanismos que posibilitan su expresión, la definición exclusiva corre el riesgo de reificar una abstracción útil como si se tratara de una entidad natural claramente delimitada.

La propuesta inclusiva de Griffiths y Neumann-Held, en cambio, asume frontalmente las consecuencias de los descubrimientos de la biología molecular y del desarrollo. Al concebir el gen como un proceso molecular, y no como un objeto estructural estático, esta postura logra integrar en el concepto de gen

los elementos reguladores, el contexto celular y las condiciones de desarrollo que confieren significado funcional a las secuencias de ADN. Su principal fortaleza reside en evitar el residuo determinista que subsiste en las metáforas informacionales clásicas, desplazando el foco desde la información genética hacia la dinámica de los sistemas que permiten la expresión de determinados fenotipos. No obstante, este desplazamiento tiene un costo metodológico, ya que el concepto de gen se vuelve menos operacionalizable tanto para ciertas prácticas experimentales como para la organización de bases de datos genómicas, donde se requieren unidades relativamente estables y discretas de anotación.

La comparación entre ambas posturas advierte que se trata de reconocer que cada concepción del gen responde a necesidades explicativas distintas. La definición exclusiva de Carlson se inscribe en una ontología de entidades discretas, funcional para la genética clásica, la genómica estructural y ciertos modelos de la evolución centrados en unidades de información. La definición inclusiva de Griffiths y Neumann-Held, en cambio, se articula con una ontología de procesos, más adecuada para dar cuenta del desarrollo, la regulación génica y los fenómenos epigenéticos. El conflicto entre ambas no expresa, por tanto, una disputa conceptual, sino un desacuerdo más profundo sobre qué aspectos del fenómeno biológico deben considerarse primarios en la explicación.

En este sentido, el pluralismo conceptual que emerge de este análisis no debe interpretarse como una debilidad de la biología teórica, sino como un rasgo de madurez de la disciplina. Pretender una definición única y exhaustiva del gen implica desconocer la heterogeneidad de los niveles de organización y de los problemas explicativos que atraviesan a las ciencias biológicas. El desafío filosófico no consiste en unificar forzosamente estos usos bajo un solo concepto, sino en explicitar los supuestos ontológicos y epistemológicos que cada definición presupone, y en evaluar su adecuación relativa a los contextos de investigación en los que se emplea. El *problema del gen* no es algo que debe resolverse eliminando la pluralidad conceptual, sino comprendiendo por qué esa pluralidad es, en última instancia, una consecuencia inevitable de la complejidad del fenómeno biológico que se busca explicar.



- Allen, G.E. 2003. Mendel and modern genetics: The legacy for today. *Endeavour*. 27(2): 63–68. [https://doi.org/10.1016/S0160-9327\(03\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0160-9327(03)00065-6).
- Baltimore, D. 1970. Viral RNA-dependent DNA polymerase: RNA-dependent DNA polymerase in virions of RNA tumour viruses. *Nature*. 226(5252): 1209–1211. <https://doi.org/10.1038/2261209a0>.
- Barton, P.J.R., K.R. Boheler, N.J. Brand, P.S. Thomas. 1995. Basic concepts in molecular biology. Pp. 1–24. En: Barton, P.J.R., K.R. Boheler, N.J. Brand & P.S. Thomas (Eds.). *Molecular Biology of Cardiac Development and Growth*. Springer, Berlín–Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-22192-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-22192-1_1).
- Benzer, S. 1955. Fine structure of a genetic region in bacteriophage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 41(6): 344–354. <https://doi.org/10.1073/pnas.41.6.344>.
- Beurton, P. (Ed.). 2008. *The concept of the gene in development and evolution: Historical and epistemological perspectives*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Breathnach, R., J.L. Mandel, P. Chambon. 1977. Ovalbumin gene is split in chicken DNA. *Nature*. 270(5635): 314–319. <https://doi.org/10.1038/270314a0>.
- Carlson, E.A. 1991. Defining the gene: An evolving concept. *American Journal of Human Genetics*. 49(2): 475–487.
- Churchill, F.B. 1974. William Johannsen and the genotype concept. *Journal of the History of Biology*. 7(1): 5–30. <https://doi.org/10.1007/BF00179291>.
- Corella, D., J.M. Ordovas. 2017. Basic concepts in molecular biology related to genetics and epigenetics. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*. 70(9): 744–753. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2017.05.011>.
- Dawkins, R. 1981. *The selfish gene*. Oxford University Press, Oxford.
- Dawkins, R. 1990. *The extended phenotype: The long reach of the gene*. Oxford University Press, Oxford.
- Depew, D.J., B.H. Weber (Eds.). 1986. *Evolution at a crossroads: The new biology and the new philosophy of science*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- El-Hani, C.N. 2007. Between the cross and the sword: The crisis of the gene concept. *Genetics and Molecular Biology*. 30(2): 297–307. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572007000300001>.
- Epp, C.D. 1997. Definition of a gene. *Nature*. 389(6651): 537–537. <https://doi.org/10.1038/39166>.
- Eyster, W.H. 1924. A genetic analysis of variegation. *Genetics*. 9(4): 372–404. <https://doi.org/10.1093/genetics/9.4.372>.
- Falk, R. 1986. What is a gene? *Studies in History and Philosophy of Science Part A*. 17(2): 133–173. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(86\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0039-3681(86)90024-5).
- Gasper, P. 1992. Reduction and instrumentalism in genetics. *Philosophy of Science*. 59(4): 655–670. <https://doi.org/10.1086/289700>.
- Graubard, M. 1935. The theory of the gene. Pp. 41–51. En: *Genetics and the social order*. Tomorrow Publishers.
- Griffiths, P.E., E.M. Neumann–Held. 1999. The many faces of the gene. *BioScience*. 49(8): 656–662. <https://doi.org/10.2307/1313441>.
- Jacob, F., J. Monod. 1961. Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins. *Journal of Molecular Biology*. 3(3): 318–356. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(61\)80072-7](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(61)80072-7).
- Manier, E. 1969. The experimental method in biology: T. H. Morgan and the theory of the gene. *Synthese*. 20(2): 185–205.
- Morange, M., M. Morange. 2000. *A history of molecular biology*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Oyama, S. (Ed.). 2001. *Cycles of contingency: Developmental systems and evolution*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Portin, P. 2002. Historical development of the concept of the gene. *The Journal of Medicine and Philosophy*. 27(3): 257–286. <https://doi.org/10.1076/jmep.27.3.257.2980>.
- Portin, P. 2009. The elusive concept of the gene. *Hereditas*. 146(3): 112–117. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2009.02128.x>.
- Rushton, A.R. 2014. William Bateson and the chromosome theory of heredity: A reappraisal. *The British Journal for the History of Science*. 47(1): 147–171. <https://doi.org/10.1017/S0007087413000320>.
- Schrödinger, E. 1992. *What is life?: With mind and matter and autobiographical sketches*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stent, G.S. 1977. Explicit and implicit semantic content of the genetic information. Pp. 131–149. En: Butts, R.E. & J. Hintikka (Eds.). *Foundational Problems in the Special Sciences*. Springer, Dordrecht.
- Waters, C.K. 1994. Genes made molecular. *Philosophy of Science*. 61(2): 163–185. <https://doi.org/10.1086/289794>.
- Watson, J.D., F.H.C. Crick. 1953. Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*. 171(4356): 737–738. <https://doi.org/10.1038/171737a0>.
- Williams, G.C. 1971. *Group selection*. Aldine–Atherton, Chicago.
- Williams, G.C. 1996. *Adaptation and natural selection: A critique of some current evolutionary thought*. Princeton University Press, Princeton.
- Yanofsky, C., B.C. Carlton, J.R. Guest, D.R. Helinski, U. Henning. 1964. On the colinearity of gene structure and protein structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 51(2): 266–272. <https://doi.org/10.1073/pnas.51.2.266>.



IN MEMORIAM  
**DR. RAHIM**  
FOROUGHBAKHCH POURNAVAB

Marco Antonio Alvarado Vazquez



La comunidad académica de la Universidad Autónoma de Nuevo León lamenta profundamente el fallecimiento del Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab, distinguido profesor e investigador de la Facultad de Ciencias Biológicas, cuya vida y obra dejaron una huella imborrable en la ciencia y en la formación de muchas generaciones de estudiantes.

El Dr. Rahim, como cariñosamente lo llamábamos, fue un distinguido biólogo, ecólogo e investigador de origen iraní que dedicó más de 43 años de su vida al servicio de la educación superior y la investigación científica en México.

Nació el 13 de abril de 1949 en Fasa, Irán, donde realizó su educación básica. Posteriormente realizó sus estudios de Licenciatura en la Universidad de Tabriz, al noroeste de Irán, obteniendo el título de Biólogo en 1975. Una vez concluida su licenciatura se trasladó a Francia donde estudió la maestría en Ecología de Comunidades Vegetales en la Universidad de Montpellier II, graduándose en 1978., para enseguida continuar con sus estudios de doctorado en Ciencias con especialidad en Ecología cuantitativa y aplicada con acentuación en Ecología terrestre graduándose en 1981.

Posteriormente, El Dr. Foroughbakhch viajó a México a finales de 1981 y a inicios de 1982 se integró como docente e investigador a la Universidad Autónoma de Nuevo León, institución a la que dedicó toda su vida profesional y por la que sentía un cariño muy especial. En 1982 formó parte del grupo fundador del Instituto de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, el cual era un proyecto estratégico de la UANL orientado a la enseñanza y la investigación en ciencias aplicadas y tecnologías de los recursos forestales. Con el paso del tiempo y la maduración del proyecto, este instituto evolucionó a lo que hoy conocemos como Facultad de Ciencias Forestales ubicada en el municipio de Linares, N.L.

El Dr. Rahim fue pieza importante en el desarrollo del Instituto de Silvicultura y la posterior consolidación de la Facultad de Ciencias Forestales, colaborando con otros destacados científicos como el Dr. Glafiro J. Alanís Flores, el Dr. Burkard Müller-Using, el Dr. Timothy J. Synnott y el Dr. Reinout J. de Hoog, entre otros.

En esa época, el Dr. Rahim realizó importantes estudios sobre plantaciones forestales con especies del género *Eucalyptus*, abordando temas como la "Selección de especies de *Eucalyptus* probablemente aptas para el clima semiárido del noreste de México". Asimismo, impulsó investigaciones con especies nativas del matorral xerófilo, orientadas a la selección de aquellas con mayor crecimiento y valor económico. Entre las especies estudiadas destacan *Ebenopsis ebano* (ébano), *Erythrostemon mexicanus* (hierba del potro), *Condalia hookeri* (brasil), *Cordia boissieri* (anacahuita), *Diospyros texana* (chapote), *Helietta parvifolia* (barreta), *Vachellia farnesiana* (huizache), *Havardia pallens* (tenaza), *Neltuma glandulosa* (mezquite) y *Leucaena* spp. (tepeguaje).

Entre 1987 y 1991 se desempeñó como Coordinador del Departamento de Agroforestería, cargo desde el cual contribuyó de manera decisiva al fortalecimiento de la investigación forestal y a la formación de profesionales especializados en

el manejo de los recursos naturales. Su trabajo académico en este período estuvo estrechamente vinculado con el estudio de los sistemas agroforestales, la restauración de ecosistemas y el aprovechamiento sustentable de especies vegetales.

En 1991 el Dr. Foroughbakhch se trasladó a Monterrey para continuar su labor en la Facultad de Ciencias Biológicas de la misma Universidad Autónoma de Nuevo León, integrándose al departamento de Botánica de dicha Facultad.

Como docente en la Facultad de Ciencias Biológicas impartió cursos a nivel licenciatura sobre diversos aspectos de la botánica como son: botánica general, botánica económica y diseños experimentales; a nivel posgrado impartió cursos sobre Bioestadística, ecología de comunidades vegetales, manejo y administración de recursos vegetales y diseños experimentales.

Es importante mencionar que, en 1992, para fortalecer su formación académica realizó un posdoctorado en Ciencias Agrarias en el Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INRA) en Montpellier, Francia.

A su regreso, el Dr. Rahim continuó sus investigaciones y formación de recursos humanos en el Departamento de Botánica, llegando a ser nombrado jefe del departamento en el año 2000, cargo que ocupó hasta su jubilación en marzo de 2025. En este periodo destacan sus investigaciones sobre la ecología, distribución, uso y aprovechamiento del mezquite (*Neltuma glandulosum*) en el estado de Nuevo León. Este fue un estudio que duró varios años y contribuyó a la formación de recursos humanos de nivel doctorado, maestría y licenciatura.

También en este periodo destaca una importante contribución al estudio sobre la planta candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en el noreste de México, especialmente en el estado de Coahuila, donde es un recurso sumamente importante para las poblaciones rurales. En este proyecto se colaboró con la iniciativa privada, para documentar la extensión de las poblaciones de candelilla, reconocimiento de ecotipos (en base a sus características morfológicas y de poblaciones), producción de cera y técnicas de reproducción sexual, asexual y mediante cultivo de tejidos para mejorar su propagación.

El Dr. Rahim también a exploró aspectos relacionados con la medicina tradicional y herbolaria donde durante varios años contribuyó al estudio de las plantas medicinales, elaborando algunos manuales y promoviendo su uso a través de cursos y talleres.

En sus últimos años en la Facultad de Ciencias Biológicas contribuyó de forma significativa a la creación y consolidación del proyecto Jardín etnobiológico UANL en el que participan investigadores de las Facultades de Agronomía, Ciencias Forestales y Ciencias Biológicas.

Es importante mencionar también que El Dr. Rahim contribuyó a la consolidación del posgrado en la Facultad de Ciencias Biológicas, particularmente en la especialidad de Botánica, y años después contribuyó a su rediseño como posgrado en Manejo



de Recursos Vegetales y en los últimos años participó en la creación y diseño del posgrado en manejo y aprovechamiento integral de recursos bióticos.

Su productividad académica y excelencia le valieron ser miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) Nivel II y también miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 1995. A lo largo de su vida lideró más de 40 proyectos científicos principalmente sobre recursos vegetales del noreste de México, y como producto de ellos publicó más de 200 artículos científicos, 5 libros y 26 capítulos de libro, además de múltiples presentaciones en congresos y eventos académicos. Como formador de recursos humanos el Dr. Rahim dirigió más de 120 tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Desde 1999 fue incluido en la publicación internacional *Who's Who in the World*. Además, en 2013 se hizo acreedor al Premio de Investigación CIENCIA UANL, máximo reconocimiento en investigación que otorga la UANL. También contó el Perfil PRODEP otorgado por la SEP y fue parte importante del Cuerpo Académico Botánica (CA-186) reconocido con el nivel de Consolidado.

Tras una vida dedicada a la academia, y por razones de salud el Dr. Rahim se jubiló el 1 de abril de 2024 y lamentablemente falleció el 4 de marzo de 2026, dejando un vacío inmenso entre quienes lo conocimos, sin embargo, estamos seguros de que sus aportaciones a la ciencia y su ejemplo como académico, maestro ejemplar y científico perdurarán por generaciones.



LEGADO DE CIENCIA,  
ENSEÑANZA Y PASIÓN  
POR LA CARCINOLOGÍA:

A LA MEMORIA DEL DR. GABINO ADRIÁN  
RODRÍGUEZ ALMARAZ

/// JESÚS ÁNGEL DE LEÓN GONZÁLEZ Y  
MARÍA ELENA GARCÍA GARZA





DEDICATORIA PARA EL DR. GABINO ADRIÁN RODRÍGUEZ  
DE SU FAMILIA, CON TODO NUESTRO AMOR Y ADMIRACIÓN  
DOCTOR, ESPOSO, PAPÁ:

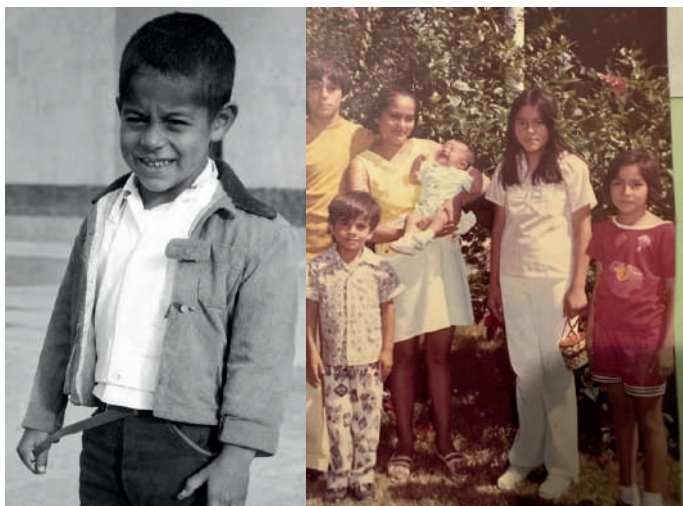
TE VIMOS RECIBIR ESTE RECONOCIMIENTO, EL CORAZÓN SE  
NOS LLENO DE ALEGRÍA NO CELEBRAMOS SOLO UN PREMIO.  
CELEBRAMOS TU ENTREGA, TUS AÑOS DE ESTUDIO, LAS NOCHES  
DE DESVELO Y ESA PASIÓN INCANSABLE POR TU INVESTIGACIÓN.

CADA LOGRO TUYO ES EL FRUTO DE TU DISCIPLINA Y DE LA  
MANO DE DIOS EN TU VIDA. ERES EJEMPLO PARA NOSOTROS Y  
PARA TODOS LOS QUE TE RODEAN ESTAMOS ORGULLOSOS DE TI.  
TE HONRAMOS HOY Y SIEMPRE.

CON AMOR INFINITO  
TU FAMILIA

QUÉ BENDICIÓN TENER UN PADRE, ESPOSO E INVESTIGADOR ASÍ.





Día de la Graduación de Licenciatura de Gabino A. Rodríguez Almaraz.



**E**l Dr. Gabino Adrián Rodríguez Almaraz, jefe del laboratorio de Artrópodos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, falleció el 8 de junio de 2026, poco después de haber cumplido sus 66° años. El Dr. Rodríguez Almaraz mantuvo su compromiso con la academia y la administración de su Alma Mater hasta desde 1981 hasta el último día de su vida. Su incansable dedicación lo convirtió en baluarte de la FCB, y un ícono de la carcinología mexicana, dejando su huella en innumerables generaciones de biólogos.

## SEMBLANZA BIOGRÁFICA Y FAMILIAR

Nació el 7 de mayo de 1960 en la ciudad de México, en el entonces D.F., donde pasó sus primeros años, sus padres fueron el Sr. Javier Rodríguez Porras y la Sra. Josefina Almaraz López; por cuestiones laborales, su padre, maestro joyero, mudó a la familia completa a Monterrey, N.L. en 1967, donde finalizó su educación básica, secundaria, preparatoria, profesional y de postgrado.

Perteneció a una familia con un gran número de hermanos y hermanas, Laura Alicia, Miriam, Javier, David y Josefina, así como medios hermanos, Ana, Bertha, Mónica, Adriana y Ricardo.

Inició sus estudios de primaria en la escuela Serafín Peña en la ciudad de México, donde cursó solamente el primer año, posteriormente, en la Ciudad de Monterrey, terminó sus estudios de primaria en la escuela "Héctor Víctor Santos Santos", ingresó a la Secundaria No. 13 "Concepción Treviño Montemayor", y sus estudios de preparatoria los realizó en la Prepa del CEU. Su ingreso a la Facultad de Ciencias Biológicas fue en 1977 terminando la carrera de Biólogo en 1983, posteriormente obtuvo la Maestría en Ciencias con especialidad en Ecología Acuática y Pesca en 1992, para posteriormente culminar sus estudios de Doctorado en Ciencias Biológicas con especialidad en Acuicultura en 2001.

En 1996 conoce a María del Rosario Calderón Ramírez con quien se une en matrimonio en 1997. De esta unión nacen sus dos hijos, Francisco Gabino (1998) y Gabriela Elaine (2000).

DESDE MUY PEQUEÑO, ACOMPAÑÁNDOTE A TUS COLECTAS, APRENDÍ LO QUE SIGNIFICABA TRABAJAR CON PASIÓN Y NUNCA RENDIRSE. ME ENSEÑASTE CON EL EJEMPLO A AMAR LO QUE UNO HACE Y A DAR SIEMPRE LO MEJOR DE SÍ. GRACIAS A TI, HOY SOY EL INGENIERO QUE SOY. AUNQUE TÚ FUISTE BIÓLOGO Y YO TOMÉ OTRO CAMINO, LA PASIÓN POR MI PROFESIÓN NACIÓ DE VERTE A TI.



## FORMACIÓN ACADÉMICA Y TRAYECTORIA PROFESIONAL

De marzo a octubre de 1980, Gabino realiza su servicio social en el Laboratorio de Entomología y Artrópodos de la Facultad de Ciencias Biológicas, de la U.A.N.L. Posteriormente, de marzo de 1980 a febrero de 1981 se desarrolla como Instructor del Laboratorio de Insectos Vectores, para desarrollar una actividad similar como Instructor en el Laboratorio de Artrópodos No Insectos. De octubre de 1982 a enero de 1984 es nombrado Técnico Profesional del Laboratorio de Entomología y Artrópodos. A partir de septiembre de 1987 recibe su nombramiento de Maestro de Tiempo Completo escalando en la carrera docente positivamente hasta el final de sus días. Consiente del compromiso que todo profesor debe tener para con su institución, el Dr. Rodríguez Almaraz cubrió su cuota académica administrativa, de 1991 a 1994 fue Coordinador de la carrera de Biólogo; Desde 1994 estuvo como responsable de la Colección Científica Carcinológica de la FCB-UANL; del 2000 al 2007 fue jefe de la carrera de Biólogo; y desde enero del 2007 hasta el final de sus días participó como Subdirector de Investigación, en todos esos puestos y designaciones dando el máximo de su capacidad intelectual.

Una de sus grandes pasiones fue ser curador de la Colección Carcinológica, fundada en 1972 por los profesores José Juan Ortiz Hernández, Edmundo López Barbosa, José Luis Hernández y José Alfredo del Toro junto a otras colecciones científicas (Aracnológica y Entomológica). En 1991 se determina la separación de dichas colecciones y la correspondiente a la Colección Carcinológica queda bajo la responsiva del Dr. Gabino Adrián Rodríguez Almaraz. En el





año 2009 la colección (UANL-FCB) ingresa al Registro Nacional de Colecciones Biológicas que tiene a su cargo Parques y Vida Silvestre de Nuevo León con el registro de Colección Científica Clave: NL-INV-0003-09-09 y que se encuentra inscrita en el Padrón de Colecciones Científicas y Museográficas, Públicas o Privadas, de Especímenes de Vida Silvestre PVSNL/VS/.

## UNA VIDA DEDICADA A LA CIENCIA Y A LA FORMACIÓN DE BIÓLOGOS

Fue profesor de los cursos de licenciatura Zoología III (Artrópodos no insectos), Introducción a la Carcinología, Biología de Artrópodos, Parasitología III (Insectos Vectores), Ecología de Comunidades Marinas, Biología de Campo, Metodología de la Investigación, Bioindicadores de Contaminación en Sistemas acuáticos, Biodiversidad de Artrópodos, Comunidades Ecológicas y Biología de Crustáceos. En Postgrado participó en los cursos Entomología Médica, Ecosistemas, Acarología Médica Veterinaria, Entomología Acuática, Fisiología de Organismos Acuáticos, Hidrobiología Avanzada, Manejo de Ecosistemas Acuáticos y Especies Exóticas de México. En todos cursos inspiró a multitud de generaciones de estudiantes que encontraron su camino gracias a las experiencias que en estos impartía. En muchos de estos cursos la actividad no sólo era en el





aula o el laboratorio, también se hacía en campo, donde por muchos años el Dr. Rodríguez Almaraz guio a sus alumnos en el trabajo de la obtención de muestras y toma de datos científicos, siendo un gran promotor de la biología de campo.

Tradicionalmente su laboratorio fue semillero para muchos profesionistas, destacándose por la cantidad y calidad de los alumnos que desarrollaban estancias, becas o tesis de diferentes niveles.

## LIDERAZGO Y SERVICIO INSTITUCIONAL

A lo largo de su carrera académico-científica, el Dr. Gabino Adrián Rodríguez Almaraz recibió sendos reconocimientos a su labor, se resaltan algunos de estos:

- Investigador Nacional Nivel I, SNII-13480 (1 de enero de 2014 al 31 de diciembre 2026)
- Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, desde 2010 a la fecha.
- Miembro del Consejo Técnico del EGEL BIOLOGÍA CENEVAL, desde marzo 2005 hasta 2008.
- Editor Asociado de la Revista Mexicana de Biodiversidad desde 2010 a la fecha.
- Miembro de la Comisión de Biodiversidad de la Comisión Estatal de Flora y Fauna del Estado de Nuevo León, 2013.
- Presea Pro-Flora y Fauna de Nuevo León 2014, otorgada por la Comisión Estatal de Flora y Fauna del Estado de Nuevo León, junio 2014.
- Miembro del Consejo Técnico del COPAES desde 2005 a la fecha.
- Líder del cuerpo académico: INVERTEBRADOS NO INSECTOS, CA Consolidado.
- Profesor con Perfil Deseable PRODEP desde 2002 a la fecha.
- Evaluador del Comité de Acreditación de la Licenciatura en Biología, A.C., enero de 2007.
- Evaluador de proyectos de los fondos de CONACYT de 2002 a la fecha.
- Responsable del Comité de Acreditación de la licenciatura de Biólogo, FCB-UANL, septiembre de 2006 a 2008.
- Coordinador de la Cátedra Nacional Biología Juan Luis Cifuentes CUMex 2007
- Presidente de la Sociedad Mexicana de Zoología (SOMEXZOO) 2019-2022

El Dr. Gabino A. Rodríguez Almaraz participó activamente en la vida académica y administrativa de la Facultad de Ciencias Biológicas, dedicó su vida a la investigación, la docencia y la conservación. A lo largo de su carrera, marcada por rigurosos estudios taxonómicos, publicaciones influyentes y numerosas expediciones de campo, contribuyó de manera decisiva al conocimiento de la biodiversidad marina y

continental. Sus trabajos sobre la sistemática y la ecología de crustáceos y artrópodos invertebrados han sido referencia para generaciones de biólogos y conservacionistas.

Como maestro y mentor, el Dr. Rodríguez Almaraz fue paciente, exigente y generoso: inspiró a estudiantes y colegas con su curiosidad incansable, su ética científica y su cálida humanidad. Fue también un comunicador apasionado, comprometido con la divulgación científica y con la formación de redes de trabajo colaborativo en la región.

Recordamos su legado académico incluyendo artículos, guías de identificación y la formación de numerosos especialistas y su aporte a iniciativas de conservación que han ayudado a proteger hábitats y especies vulnerables.

## APORTACIONES A LA CARCINOLOGÍA Y A LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA ARTÍCULOS CIENTÍFICOS (48)

- Quiroz Martínez, H., C. Solís-Rojas, G.A. Rodríguez-Almaraz. 1990. Impacto de los depredadores acuáticos sobre larvas de *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *Organización Panamericana de la Salud*.
- Rodríguez-Almaraz G., M. Badii. 1991. Parámetros poblacionales de *Moina* spp. (Crustacea: Cladocera) en condiciones de laboratorio. *Publicaciones Biológicas*, 5: 41-44.
- Rodríguez-Almaraz G., G. Compeán-Jiménez. 1991. Crecimiento mensual de *Procambarus clarkii* (Girard) (Crustacea: Cambaridae) en condiciones de Laboratorio. *Publicaciones Biológicas* 5, 45-48.
- García-Garza, M.E., G. Rodríguez-Almaraz, T. Bowman. 1992. Distribution of the opossum shrimp *Taphromysis louisianae* (Mysidacea), including new far inland records. *Journal of Crustacean Biology*, 12: 101-103.
- Rodríguez-Almaraz, G., H. Quiroz, M. Suárez, M. Rodríguez. 1992. Field Collections of copepods from Nuevo León y Coahuila, México. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 8: 314.
- Campos, E., G. Rodríguez-Almaraz. 1992. Distribution of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) in México: and update. *Journal of Crustacean Biology*, 12; 627-630.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., E. Contreras-Fernández. 1993. Estratificación vertical de las arañas (Arachnida: Araneae) asociadas en huertas de cítricos de Allende, Nuevo León, México. *Southwestern Entomologist*, 18: 51-56.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., M. Coronado-Magdalenó, E. Campos. 1993. Distribución y Notas Ecológicas de los Acociles (Cambaridae: Procambarus) del Estado de Tamaulipas, México. *Southwestern Naturalist*, 38: 390-393.
- Rodríguez Almaraz, G.A., E. Campos. 1994. Distribution and status of the crayfish (Crustacea: Crustacea) of Nuevo Leon, México. *Journal Crustacean Biology*, 14: 729-735.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., T.E. Bowman. 1995. *Sphaerolana karenae*, a new species (Crustacea: Isopoda) from Nuevo León, México. The third species of this hypogean genus of Cirrholanidae. *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 108: 207-211.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., A. Leija-Tristán. 1995. Cladocerans (Branchiopoda: Anomopoda; Ctenopoda) of the Nuevo León State, México. *Southwestern Naturalist*, 40, 260-264.

- Leija Tristán, A., G.A. Rodríguez-Almaraz. 1995. Composición, abundancia y distribución espacial del camarón café *Penaeus aztecus* de la Laguna Madre, Tamaulipas, México. *Publicaciones Biológicas*, 6.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., E. Campos. 1996. New Locality Records of Freshwater Decapods from México (Crustacea: Atyidae, Cambaridae and Palaemonidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 109:34-38.
- García-Garza, M.E., G.A. Rodríguez-Almaraz and T. E. Bowman. 1996. *Spelaemysis villalobosi*, A new species of mysidacean from Northeastern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 109:97-102.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., J.A. González-Aguilar, R. Mendoza-Alfaro. 1997. Biological and Ecological Notes of *Palaemonetes suttkusi* (Crustacea: Palaemonidae) from Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, México. *Southwestern Naturalist*, 42 (4): 501-503
- Rodríguez-Almaraz, G.A., A. Leija-Tristán. 2000. Records of Caridean Shrimps (Crustacea: Palaemonidae, Hyppolitidae and Alpheidae) of some localities from Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 67 (2):857-867.
- Mendoza-Alfaro, R., C. Aguilera, J. Montemayor, G.A. Rodríguez-Almaraz. 1999. Utilization of artificial diets and effect of protein/energy relationship on growth performance of the aplee snail *Pomacea bridgesi* (Prosobranchia: Ampullariidae). *The Veliger*, 42(1): 109-119.
- Aguilera, C., R. Mendoza-Alfaro, G. Rodríguez-Almaraz, G. Márquez. 2002. Morphological description of Alligator gar and tropical gar larvae, with an emphasis on growth indicators. *Transactions of the American Fisheries Society*, 131: 899-909.
- Montemayor, J., R. Mendoza, C. Aguilera, G. Rodríguez. 2002. Effectiveness of synthetic molecules, and animal and vegetable extracts as baits for harvesting red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. *Journal of Applied Aquaculture*, 12:65-78.
- Mendoza, R., C. Aguilera, G. Rodríguez, M. Gonzalez, R. Castro. 2003. Morphophysiological studies on Alligator gar (*Atractosteus spatula*) larval development as a basis for their cultura and repopulation of their natural habitats. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12:133-142.
- Montemayor-Leal, J., R. Mendoza-Alfaro, C. Aguilera-González, G. Rodríguez-Almaraz. 2004. Moléculas sintéticas y extractos animales y vegetales como atractantes alimenticios para el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. *Revista Aquatic*, 22: 1-10.
- Celis, A. G. Rodríguez-Almaraz, F. Álvarez. 2007. Los cirripedios torácicos (Crustacea) de aguas someras de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78:325-337.
- Bortolini, J.L., F. Álvarez, G. Rodríguez-Almaraz. 2007. On the presence of the Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*, in Mexico. *Biological Invasions*. 9: 615-620.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., C. Zavala, R. Mendoza, A.M. Maeda-Martínez. 2006. Ecological and biological notes on the brinde shrimp *Artemia* (Crustacea: Branchiopoda: Anostraca) from Carmen Island, Baja California Sur, México. *Hidrobiología*, 560:417-423.
- Obregón-Barbosa, H., A. Maeda-Martínez, G. Murugan, B. Timms, M. Grygier, C. Rogers, G. Rodríguez-Almaraz, H. Dumont. 2007. Morphology and systematic significance of the mystax a hitherto undescribed cephalic structure of males in certain Notostraca (Branchiopoda). *Journal of Crustacean Biology*, 27: 18-23.
- Hernández, L., A. Maeda-Martínez, G. Ruiz-Campos, G. Rodríguez-Almaraz, F.A. Rojo, J.C. Sainz. 2008. Geographic expansion of the invasive red crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Crustacea: Decapoda) in Mexico. *Biological Invasions*, 10:977-984.
- Suárez Morales, E., G.A. Rodríguez-Almaraz, M.A. Gutiérrez-Aguirre, E. Walsh. 2008. The coastal estuarine copepod *Eurytemora affinis* (Poppe) (Calanoida, Temoridae); from arid inland areas of Mexico: an expected occurrence?. *Crustaceana*, 81:679-694.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., R. Muñiz-Martínez, A. Millán-Cervantes. 2010. Desarrollo larval de *Palaemonetes mexicanus* y *P. hobbsi* (Caridea: Palaemonidae) cultivadas en el laboratorio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81:73-97.
- Montemayor Leal, J., R. Mendoza, C. Aguilera, G.A. Rodríguez-Almaraz. 2010. Influencia de la alimentación sobre la reproducción y crecimiento del acocil regio *Procambarus regiomontanus*, especie en peligro de extinción. *CIENCIA, UANL*, 13: 276-286.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., R. Gomez-Flores, J. Rábago-Castro. 2012. First Records of Ergasilus Cerastes (Copepoda, Poecilostomatoida) On Cage-Reared *Ictalurus* from Northeast Mexico. *Crustaceana*, 85: 607-615.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., V. M. Ortega-Vidales. 2013. Primer registro de *Caprella scaura* y *Caprella penantis* (Crustacea: Peracarida: Amphipoda) en la Laguna Madre, Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84:989-993.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., V. Ortega-Vidales, J.A. Treviño-Flores. 2014. Macrocrustáceos del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México: Distribución y estado de conservación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:276-293.
- Álvarez, F., J.L. Villalobos, M. Hendrickx, E. Escobar-Briones, G. Rodríguez-Almaraz, E. Campos. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:208-219.
- García-Velazco, H., A.M. Maeda-Martínez, H. Obregón-Barboza, G. Rodríguez-Almaraz, J.L. Villalobos-Hiriart, G. Murugan. 2014. Evidence of oceanic dispersal of a disjunctly distributed amphidromous shrimp in western North America: first record of *Macrobrachium occidentale* from the Baja - California peninsula. *Journal of Crustacean Biology*, 34(2):199-215.
- Carson, E.W., C. Pedraza-Lara, M. de L. Lozano-Vilano, G.A. Rodríguez-Almaraz, I. Banda-Villanueva, L.A. Sepúlveda-Hernández, L. Vela-Valladares, A. Cantú-Garza, M. de la Maza-Benignos. 2015. The rediscovery and precarious status of Chihuahuan dwarf crayfish *Cambarellus chihuahuae*. *Occasional Papers of the Museum of Southwestern Biology*, 12:1-7.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., R. Mendoza, C. Aguilera-González, C. Barriga, M. Tirado-Velarde. 2018. Registros adicionales de poblaciones silvestres del acocil australiano *Cherax quadricarinatus* en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89: 1322-1327. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2065>
- García-Vázquez, L., G.A. Rodríguez-Almaraz, C. Pedraza-Lara. 2019. *Caecidotea camaxtli* (Isopoda: Asellidae), una nueva especie del valle de Tlaxcala, México. *Zootaxa*, 4624(3), 431-444. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4624.3.6>
- Jordán-Hernández, M.C., G.A., Rodríguez-Almaraz, S. Favela-Lara. 2019. Delimitation of sympatric *Palaemon* (Decapoda, Palaemonidae) species of the Laguna Madre, Mexico. *Zoologica Scripta*, 48(5): 667-678. <https://doi.org/10.1111/zsc.12364>.
- Segura-Zarzosa, I.E., G.A. Rodríguez-Almaraz, H. Obregón-Barboza, G. Murugan, J.A. Treviño-Flores, A.M. Maeda-Martínez. 2020. New records of exotic species of Oniscidea (Crustacea: Isopoda)

- from northern Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91: e913098. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.202>.
- García-Vázquez, L., C. Pedraza-Lara, G.A. Rodríguez-Almaraz. 2021. Six new epigeal species of *Caecidotea* (Isopoda: Asellidae) distributed along the Trans-Mexican Volcanic Belt in Central Mexico. *Zootaxa*, 4965(1), 45–77. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4965.1.2>
- Núñez, P.G., G.A. León-Espinosa, R. Vázquez, M.E. Peña-Salinas, G.A. Rodríguez-Almaraz, A. Moreno-Talamantes. 2021. First tardigrade records from San Pedro Mártir, Baja California, Mexico. *Check List*, 17 (4): 1131–1136. <https://doi.org/10.15560/17.4.1131>.
- García-Velazco, H., A.M. Maeda-Martínez, H. Obregón-Barboza, G. Ruiz-Campos, G.A. Rodríguez-Almaraz, G. Murugan. 2021. The systematics of the amphidromous shrimp *Macrobrachium americanum* Spence Bate, 1868 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) from the Mexican Pacific slope, *Journal of Crustacean Biology*, 41(1): ruaa098, <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruaa098>
- García-Vázquez, L., E. Campos, G.A. Rodríguez-Almaraz. 2023. A new and rare epigeal asellid from western Mexico *Caecidotea contrerasbalderasi* sp. nov. (Isopoda: Asellidae) with a new suture pattern in pleopod IV for the Mexican epigeal species. *Nauplius*, 31: <https://doi.org/10.1590/2358-2936e2023012>
- Rodríguez-Almaraz, G.A., E.H. Flores-Rojas, M.C. Jordán-Hernández. 2024. Variación espacio-temporal de los macrocrustáceos asociados al manglar y pastos marinos de la laguna Morales, Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 95, e955194. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2024.95.5194>
- Meza-Sánchez, I.G., A.M. Maeda-Martínez, H. Obregón-Barboza, H. García-Velazco, G.A. Rodríguez-Almaraz, G. Ruiz-Campos, G. Murugan. 2024. The systematics of the amphidromous shrimp *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) from the Mexican Pacific slope. *Journal of Crustacean Biology*, 44(1): ruae013, <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruae013>.
- García-Vázquez, L., G.A. Rodríguez-Almaraz, J.L. Barragán-Ramírez, B. Quiroz-Martínez. 2024. A new species of *Caecidotea* (Crustacea: Isopoda: Asellidae) from a well in the western slope of Mexico, with occurrence records of *C. alvarezii*. *Zootaxa*, 5410(4): 533-544.
- Segura-Zarzosa, I.E., H. Obregón-Barboza, G. Murugan, C.B. Boyko, G.A. Rodríguez-Almaraz, H. García-Velazco, A.M. Maeda-Martínez. 2025. Revisión taxonómica de cuatro isópodos terrestres (Crustacea: Oniscidea) de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 96, e965486. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2025.96.5486>.
- Meza-Sánchez, I.G., A.M. Maeda-Martínez, H. Obregón-Barboza, F. Álvarez, J.L. Villalobos-Hiriart, G.A. Rodríguez-Almaraz, R. Campos-Ramos, A.E. Rolón-May, G. Murugan. 2026. Taxonomic resurrection of the amphidromous shrimp *Macrobrachium mexicanum* (De Saussure, 1857) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) from the Mexican Atlantic slope. *Journal of Crustacean Biology*, 46(2): <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruag016>
- Rodríguez Almaraz, G.A., C. Solís Rojas, H. Quiroz Martínez & V. Ortega Vidales. 2007. Manual de Practicas del Curso: Biología de Artrópodos, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, 77 pp.
- Fernando Álvarez y Gabino A. Rodríguez Almaraz. 2008. Crustáceos de México: Estado actual de su conocimiento. Dirección de Publicaciones, UANL, 580 pp.
- Gabino A. Rodríguez Almaraz, Carlos Solís Rojas y Víctor Ortega Vidales. 2008. Manual de laboratorio: Taxonomía y Morfología de Artrópodos no Insectos. Dirección de Publicaciones, UANL, 256 pp.
- Gabino A. Rodríguez Almaraz, Carlos Solís Rojas y Víctor Ortega Vidales. 2011. Manual de laboratorio: Taxonomía y Morfología de Artrópodos no Insectos. Dirección de Publicaciones, UANL, 256 pp.
- Gabino A. Rodríguez Almaraz, Carlos Solís Rojas y Víctor Ortega Vidales. 2013. Manual de laboratorio: Taxonomía y Morfología de Artrópodos no Insectos. Dirección de Publicaciones, UANL, 256 pp.
- Roberto Mendoza Alfaro, Gabino A. Rodríguez Almaraz y Sergio A. Castillo Alvarado. 2011. Riesgo de dispersión y posibles impactos de los acociles australianos del género *Cherax* en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, 137 págs.

## CAPÍTULOS DE LIBRO (12)

- Rodríguez Almaraz, G.A. 1995. Los Crustáceos de Nuevo León In: Lista Preliminar de la Fauna Silvestre del Estado de Nuevo León, México. Eds. Consejo Consultivo para la Conservación de la Fauna y Flora de Nuevo León. (DIVULGACIÓN).
- Leija -Tristán, A., A. Contreras-Arquieta, M. E. García-Garza. A. J. Contreras-Balderas, M. de L. Lozano-Vilano, S. Contreras-Balderas, M.E. García-Ramírez, J. Ortiz-Rosales, F. Segovia-Salinas, F. Jiménez-Guzmán, D. Lazcano-Villarreal, J. A. de León-González, S. Martínez-Lozano, G. A. Rodríguez-Almaraz, M.A. Lucio-Guzmán, M. del C. González-de la Rosa, J. A. García-Salas, G. Guajardo-Martínez, J.I. González-Rojas & A. Guzmán-Velazco. 1998. Taxonomic, bioecological and biogeographic aspects of selected biota of the Laguna Madre, Tamaulipas, Mexico. Ecosystem World Monograph series for publication in The Aquatic Ecosystems of Mexico. (INVESTIGACION).
- Rodríguez Almaraz, G., W. Gallardo Tejeda & E. Campos. 2002. Crustáceos decápodos intermareales de la isla Carmen, Baja California Sur, México, con notas sobre su distribución ecológica. Pp. 255-264 In: M. E. Hendrickx (ed.). Contribution to the study of East Pacific crustaceans [Contribuciones al estudio de los crustáceos del Pacífico Este].
- Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 383 pp. (INVESTIGACION).
- Rodríguez Almaraz G. & C. Zavala Flores. 2005. Cangrejos ermitaños pp. 263-336 In: Camarones, langostas y cangrejos de la costa este de México. (J.L. Hernández-Aguilera & J. A. Ruiz-Nuño, eds.), CONABIO & Estudio y Conservación de la Naturaleza, A.C., México. (INVESTIGACION).
- Gabino A. Rodríguez Almaraz y Rodolfo Muñiz Martínez. 2008. Conocimiento de los acociles y langostinos del noreste de México: amenazas y propuestas de conservación. In: Crustáceos de México: Estado actual de su conocimiento. Dirección de Publicaciones, UANL, 580 pp.
- Alfonso Aguirre Muñoz et al. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre poblaciones de flora y fauna, los procesos

- ecológicos y la economía, 277-318. In: Capital Natural de México, vol. II Estado de conservación y tendencias de cambio, CONABIO, México, 819 págs.
- María Concepción Jordan-Hernández y Gabino. A. Rodríguez-Almaraz. 2012. Comparación morfológica de dos especies de *Palaemonetes* (Crustacea: Decapoda) de agua dulce del noreste de México, 1-12. In: La Carcinología en México: El legado del Dr. Alejandro Villalobos 30 años después. Marilú López-Mejía y Luis Mejía-Ortiz (eds.), Universidad de Quintana Roo, México.
- Ortega-Vidales, Víctor y Gabino. A. Rodríguez-Almaraz. 2012. Peracaridos Crustáceos de ambientes someros de Laguna Madre de Tamaulipas, Mexico, 1-12. In: La Carcinología en México: El legado del Dr. Alejandro Villalobos 30 años después. Marilú López-Mejía y Luis Mejía-Ortiz (eds.), Universidad de Quintana Roo, México.
- José Alfredo Treviño-Flores y Gabino. A. Rodríguez-Almaraz. 2012. Primeros registros de *Porcellio laevis* y *Porcellio scaber* (Crustacea: Oniscidea) del Noreste de México, 13-21. In: La Carcinología en México: El legado del Dr. Alejandro Villalobos 30 años después. Marilú López-Mejía y Luis Mejía-Ortiz (eds.), Universidad de Quintana Roo, México.
- Montemayor-Leal, Jesús, Roberto Mendoza-Alfaro, Carlos Aguilera-González y Gabino. A. Rodríguez-Almaraz. 2012. *Procambarus regiomontanus* (Villalobos, 1954), especie en peligro de extinción del estado de Nuevo León: Primeras acciones para su conservación, 1-15. In: La Carcinología en México: El legado del Dr. Alejandro Villalobos 30 años después. Marilú López-Mejía y Luis Mejía-Ortiz (eds.), Universidad de Quintana Roo, México.
- Gabino A. Rodríguez-Almaraz, Víctor Ortega-Vidales y José Alfredo Treviño-Flores. 2013. Crustáceos del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México: Listado Faunístico y Amenazas para su Conservación. In: Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. Cesar Cantú Ayala (ed.). Universidad Autónoma de Nuevo León, Comisión de Areas Naturales Protegidas-SEMARNAT, Fondo Editorial de Nuevo León, Mexico.
- Gabino A. Rodríguez Almaraz y María del Socorro García-Madrigal. 2014. Crustáceos Exóticos invasores 347-374. In: Especies Acuáticas Invasoras en México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- Crustáceos decápodos marinos de la colección científica de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Aprobado por CONABIO, marzo de 1995.
  - Colección Científica Carcinológica. Aprobado por CONABIO en 13 octubre de 1998.
  - Diversidad y distribución de los crustáceos Decápodos de la Isla Carmen, Baja California Sur, México (Golfo de California). Aprobado por la Organización Vida Silvestre, A. C. (OVIS) y PAICYT, marzo de 1998.
  - Evaluación de algunos parámetros bioecológicos y de cultivo del camarón salino *Artemia* sp. en las salinas de la Isla Carmen, Baja California Sur, México. Aprobado por la Organización de Vida Silvestre, A. C. (OVIS), febrero de 1999.
  - Evaluación de algunos parámetros bioecológicos y de cultivo del camarón salino *Artemia* sp. en las salinas de la Isla Carmen, Baja California Sur, México. Aprobado por la Organización de Vida Silvestre, A. C. (PAICYT-1999, CN276-99).
  - Potencial attractante de moléculas sintéticas y de extractos animales y vegetales en alimentos para crustáceos de interés comercial. Aprobado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, febrero 1998-diciembre 2000, Clave-25658-B).
  - Los crustáceos de agua dulce del Centro de Nuevo León y Noroeste de Tamaulipas (R53: Río San Juan y Río Pesquería). Aprobado por CONABIO-S104, Julio de 1999.
  - Biodiversidad de los crustáceos de agua dulce del Centro de Nuevo León y Noroeste de Tamaulipas (R53: Río San Juan y Río Pesquería). Aprobado por (PAICYT-2001, CN384-01).
  - Biodiversidad de los crustáceos de agua dulce del Centro de Nuevo León y Noroeste de Tamaulipas (R53: Río San Juan y Río Pesquería). Aprobado por (PAICYT-2002, CN483-01).
  - Actualización de la base de datos de los Crustáceos decápodos marinos de la colección científica de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Aprobado por CONABIO-AA103 marzo de 2002.
  - Sistemática y estado actual de la distribución geográfica-ecológica de los crustáceos decápodos de agua dulce del noreste de México, Norte de San Luis Potosí y Norte de Veracruz. Aprobado por Fondos Sectoriales SEMARNAT-CONACYT-2002-CO1-0583, Julio de 2003.
  - Biosistemática y Estado Actual de la Distribución Ecológica-Geográfica de los Crustáceos Decapodos de Agua Dulce del Noreste de México y Norte de Veracruz. Junio 2004 (Responsable). Aprobado por el Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT-2004, CN901-04) (\$60,000.00).
  - Sistemática y Ecología de los géneros *Procambarus* y *Cambarellus* spp. (Custacea: Cambaridae) del Noreste de México y Norte de Veracruz. Aprobado por (PAICYT-2005, CN1107-05).

## PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

- Densidad Poblacional, crecimiento, potencial reproductivo y utilización de diferentes dietas de dos especies de cangrejos de río (*Procambarus clarkii* y *P. simulans regiomontanus*) de la región central del Estado de Nuevo León, México. Aprobado por la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la S.E.P., con el convenio No. 089-0214-589-03; en septiembre de 1989.
- Evaluación nutricional de dietas naturales y formuladas en cangrejos de río *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) en condiciones de Laboratorio. Aprobado por la D.G.I.C.S.A. de la S. E.P., aprobado en septiembre de 1990 con el convenio No. 090-01-0211.

- Sistemática y Ecología de los langostinos Palaemonidos de agua dulce *Macrobrachium* spp. y *Palaemonetes* spp. del Sureste de Texas, Noreste de México y Norte de Veracruz. Aprobado por (PAICYT-CN).
- Estudio de ordenamiento de la Actividad Pesquera en la Ribera del Río Lacantún de la Reserva de la Biosfera de Montes Azules". Abril 2005 (como profesor – investigador) Finando: Fondo Mexicano para Conservación de la Naturaleza, AC.
- Diversidad e integridad Biótica de las Comunidades de Macroinvertebrados Infaunales (Crustacea, Mollusca y Echinodermata) de 3 Estuarios de la Costa Occidental de Baja California (investigador asociado). Abril 2005. Sometido al X Convocatoria Interna de Apoyo a Proyectos de Investigación de la UABC.
- Monitoreo poblacional y propuestas de conservación de los crustáceos decapados de agua dulce del norte de México. Aprobado por el Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT), UANL. 2007.
- Invertebrados y Aves Playeras de la Laguna Madre, Tamaulipas. EJ013. Aprobado en 2007, CONABIO.
- -Invertebrados acuáticos de la Laguna Madre, Tamaulipas. GCN025-09. Aprobado 2009. PAICYT. Proyecto de grupo (Invertebrados no Insectos).
- Invertebrados acuáticos de la Laguna Madre, Tamaulipas. GCN024-09. Aprobado 2010. PAICYT. Proyecto de grupo (Invertebrados no Insectos).
- Especies exóticas de México: Riesgos y propuestas de Manejo. REDES TEMATICAS PROMEP. Primer año. 2009.
- Especies exóticas de México: Riesgos y propuestas de Manejo REDES TEMATICAS PROMEP. Segundo año. 2010.
- Especies exóticas de México: Riesgos y propuestas de Manejo REDES TEMATICAS PROMEP. Tercer año. 2013.
- Invertebrados acuáticos de la Laguna Madre, Tamaulipas. CN868-11. Aprobado 2011-2012. PAICYT. Proyecto individual.
- Riesgos de dispersión y posibles impactos de la langosta exótica *Cherax quadricarinatus* en el estado de Tamaulipas. CONABIO, Aprobado 10 de junio de 2008.
- Genética poblacional del acocil rojo *Procambarus clarkii* del norte de Mexico. Aprobado 2011-2012. PAICYT. Proyecto Individual.
- LI030 Distribución potencial y evaluación de riesgo de las invasiones biológicas del acocil rojo *Procambarus clarkii* en regiones hidrológicas prioritarias del norte de México.
- Proyecto CONABIO convocatoria proyectos enfocados a elaborar diagnósticos sobre el estado de las invasiones biológicas de especies exóticas y propuestas para su manejo, dentro de regiones prioritarias para la conservación. 20 de septiembre 2013.
- Sistemática y estructura genética poblacional de langostinos del género *Palaemon* (Weber, 1795) (Crustacea, Palaemonidae) de la Laguna Madre, Tamaulipas, México. Ciencia Basica-SEP Conacyt 2015.

## MANSAJES DE AGRADECIMIENTO Y REMEMBRANZA DE PARTE DE ESTUDIANTES, COLEGAS Y AMIGOS

ADRIANA ABIGAIL NÚÑEZ CAMPOS

EL DOCTOR GABINO FUE UNA PERSONA IMPORTANTE PARA MÍ EN UN PERIODO DE MI VIDA. Tuve el privilegio de coincidir con él en el laboratorio de invertebrados artrópodos, donde no solo compartió sus conocimientos y experiencia, sino también su dedicación, paciencia y pasión por la ciencia. Su enseñanza y ejemplo dejaron una huella importante en mi formación y en mi vida.

Hoy lo recuerdo con gratitud y admiración. Su legado permanecerá en todos aquellos estudiantes, colegas y personas que tuvieron la fortuna de conocerlo y aprender de él.

Expreso mis más sinceras condolencias a su familia, amigos y compañeros. Que descanse en paz.

Expresamos nuestras sinceras condolencias a su familia, amigos y colegas. Su memoria perdurará en quienes aprendimos de él y en el valioso cuerpo de trabajo que deja.



DR. ALEJANDRO M. MAEDA MARTÍNEZ  
CIBNOR-LA PAZ

REMEMBRANZAS DE UN AMIGO Y COLEGA CARCINÓLOGO DR. GABINO ADRIÁN RODRÍGUEZ  
ALMARAZ.

La amistad con Gabino inició hace 46 años, cuando por allá de 1980 fuimos compañeros de grupo en la Licenciatura de Biólogo en la FCB-UANL. La amistad que duró toda la vida, se consolidó cuando nuestro profesor, el Biól. José Alfredo del Toro, titular de la asignatura de Zoología de Artrópoda no Insecta, nos aceptó, junto con otros compañeros como tesis en el Laboratorio de Zoología. En el pequeño cubículo, muy cómodo sobre todo en verano porque tenía aire acondicionado, se ajustaron mesas para que trabajáramos la identificación de las muestras bajo los microscopios compuestos y estereoscópicos, Gabino, J. Guadalupe López Oliva y Alejandro (todos con crustáceos) y Carlos Solís Rojas (con arácnidos). Con la guía del profesor Del Toro, el grupo desarrolló con éxito sus investigaciones de tesis en un ambiente académico de gran camaradería. Después de titularnos con nuestras respectivas tesis, Gabino y Carlos permanecieron trabajando en el Laboratorio de Zoología, mientras que Guadalupe y Alejandro tomaron otros caminos. Al regreso de Alejandro a México después de un doctorado en Bélgica, en 1994 ya como personal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste en La Paz, B.C.S., se re-encontró con Gabino quien, además de impartir cursos de Zoología, publicó en esos años importantes artículos científicos sobre crustáceos. Este re-encuentro de grandes amigos, se convirtió en una larga y exitosa colaboración científica de muchísimo trabajo sobre crustáceos nativos y exóticos de México que culminaron con la publicación de artículos en revistas indexadas, capítulos de libro, la co-dirección de alumnos de posgrado y presentaciones en congresos nacionales e internacionales. De

las últimas publicaciones que trabajamos juntos, como ejemplo se encuentra una que fue publicada inclusive este mismo año 2026 (ver abajo la referencia).

Con gran tristeza y sinceridad escribo estas líneas porque hemos perdido a un gran profesor y científico, un excelente biólogo genuinamente preocupado por incrementar el conocimiento de la biología, ecología y diversidad de los crustáceos de México. Estoy seguro que sus amigos, alumnos y colegas lo recordaremos siempre con gran orgullo y respeto.



#### DR. ANTONIO LEIJA TRISTÁN

En el mes de enero de 1981 tuve el gusto de conocer al Dr. Gabino Adrián Rodríguez Almaraz cuando ingresé como auxiliar al entonces llamado Laboratorio de Artrópodos no Insectos dirigido por el Biól. José Alfredo del Toro González, donde el Dr. Rodríguez Almaraz generaba su proyecto para elaborar su tesis de licenciatura. En 1982 compartimos responsabilidades como instructores en la Material de Zoología III, Artrópodos no Insectos y un sinnúmero de salidas al campo. En 1984-1985, obtuvimos el título de Biólogo. Cabe destacar la gran colaboración del Dr. Gabino y un servidor en los muestreos de campo y laboratorio para el desarrollo y culminación de las tesis doctorales. De 1993 al 2000 trabajamos como responsable y corresponsable en tres proyectos financiados por la Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO), dirigidos a desarrollar bases de datos referentes a la taxonomía en crustáceos decápodos con distribución en las costas mexicanas, formalizando lo que ahora es la Colección Carcinológica, FCB, UANL. De igual manera generamos diversos manuscritos que terminaron en publicaciones de revistas indexadas y arbitradas y presentaciones en congresos de corte nacional e internacional.

Compartimos la asesoría (director – codirector) de dos tesis de doctorado, dos tesis de maestría y cinco de licenciatura. Igualmente, participamos en comités de ocho tesis de posgrado y 12 de licenciatura. Desde 2017 al 2025 impartimos el curso de verano “Taller de Taxonomía de Crustáceos Decápodos, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, 40 horas. Es necesario reconocer la capacidad, el conocimiento, la disposición académica y el gran liderazgo del Dr. Gabino, pues, así como ofrecía sus clases diariamente, se daba el tiempo para reunirse con sus alumnos y aclarar los contenidos de los proyectos de titulación. Asimismo, desarrollando actividades de Coordinador de la Carrera de Biólogo Editor de Revistas Científicas y Subdirector de Investigación.



#### BÁRBARA CRISTINA IBARRA GARZA

Durante el corto tiempo en el que estuve en el laboratorio de carcinología, incluso después, el Dr. Gabino fungió como una figura académica que yo admiraba mucho. Era una persona muy dedicada y apasionada por su trabajo, de tal manera que era contagioso. Es por esto por lo que le debo todo mi conocimiento sobre crustáceos. Él era una persona muy paciente que se preocupaba mucho por mí, había veces que, cuando sabía que no me sentía bien, me regalaba jugos o frutas. A veces me llegaba a preguntar cómo seguía, si había desayunado y yo le regresaba la pregunta. Casi a diario teníamos estas charlas sobre la escuela y la vida cotidiana, que me hicieron ver que él era una persona muy simple y dulce, incluso llegué a saber que rescataba perritos. Sin embargo, fue a partir de que me enfermé en 6to semestre que dejé de verlo, justamente fue alrededor de estas fechas que la salud del Dr. se deterioró.

Aun así, en 7mo semestre tuve oportunidad de tener clases con él, aunque momentáneas, ya no tuve oportunidad de hablar con la misma frecuencia de antes. A veces le llegaba a mandar mensajes, preguntando cómo se sentía y él me respondía que pronto volvería a la facultad. Sin embargo, nunca tuve oportunidad de despedirme de él.

Me hubiera gustado verlo por última vez y agradecerle por todo, por todas las oportunidades que me dio, así como por estar al pendiente de mí. Atesoraré mucho los consejos que me llegó a dar y lo extrañaré muchísimo. QDEP.



#### DANIELA SARAHÍ HERNÁNDEZ ALFARO

Entrar por primera vez al laboratorio no fue como me imaginaba; uno a veces espera encontrar pura exigencia y frialdad, pero al cruzar las puertas del lab del Doctor Gabino encontré algo totalmente distinto: encontré un segundo hogar.

Desde que empecé como voluntaria, él se encargó de enseñarme todo. Me ponía libros en las manos, me explicaba cada detalle con paciencia y me guió de la mano durante mi servicio social y mi tesis. Siempre estaba ahí, acompañándonos en esas jornadas interminables de 10 de la mañana a 7 de la noche.

Lo que más me llevo en el alma es su calidad humana. Quién puede olvidar esos detalles que nos hacían el día: los dulces que nos traía en Navidad, los roles de canela que nos compraba a July y a mí en San Valentín, o lo pendiente que estaba siempre de que comiéramos bien en nuestras salidas al campo, como cuando fuimos a Soto la Marina.

Incluso en sus momentos de salud más complicados, él seguía ahí, mandándonos mensajes por Teams para ver cómo íbamos con la tesis o para avisarnos que ya estaba de vuelta.

Saber que no se jubilaba porque creía en nuestra capacidad y quería vernos triunfar es una responsabilidad que asumo con orgullo y gratitud: no le voy a fallar, Doctor.

Hoy la facultad se siente distinta sin él, pero me consuela saber que cada rincón del laboratorio guarda el recuerdo de sus consejos y su bondad. "Guelito" Gabino, como le decíamos July y yo, gracias por haberme abierto las puertas, por enseñarme a ser mejor profesional y, sobre todo, mejor persona. Me llevo recuerdos que poco a poco irán sanando este vacío, pero la huella que dejó en mi vida es simplemente eterna.



DR. ERNESTO CAMPOS GONZÁLEZ  
FACULTAD DE CIENCIAS, UABC

En épocas contiguas entre finales de los 70 y los 80, Gabino y yo iniciamos nuestra formación extracurricular en el Laboratorio de Entomología y Artrópodos de la FCB-UANL. Compartimos el interés por la taxonomía básica de los artrópodos, con especial énfasis en los crustáceos de aguas continentales y, en particular, en las especies de la familia Cambaridae. Uniendo esfuerzos, desarrollamos una serie de investigaciones y publicaciones conjuntas. Actualizamos la distribución nativa y exótica de *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) [1] y pusimos al día el conocimiento sobre los acociles de Nuevo León, Tamaulipas [2, 3], amén de otras especies de diversos estados de México. Nuestro trabajo más reciente fue la descripción de *Caecidotea contrerasbalderasi* García Vázquez, Campos y Rodríguez Almaraz, 2023 [4], un isópodo de agua dulce originario de Nayarit. Nuestras discusiones académicas siempre incluyeron estrategias para llevar el campo de la investigación al aula; nuestro interés siempre giró en torno a promover en el estudiante el pensamiento crítico, impulsar su capacidad de análisis y su autonomía académica. Nunca terminamos de discutir estos temas, siempre había algo nuevo que incorporar.

Más allá de su destacada trayectoria como profesor e investigador, Gabino fue un esposo y padre amoroso. En sus estancias de investigación en la Facultad de Ciencias de la UABC, siempre hizo espacio para compartir un tiempo de calidad con su hija mayor, Ana Karen Rodríguez L. De igual manera, cuando lo visitaba en su laboratorio, disfrutábamos de cálidos momentos de convivencia junto a su esposa, Rosy Calderón, y sus hijos, Gabriela y Gabino Rodríguez Calderón.



## PUBLICACIONES EN CONJUNTO DE GABINO RODRÍGUEZ Y ERNESTO CAMPOS

- Campos E., Rodríguez G. 1992. Distribution of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (GIRARD, 1852) (DECAPODA: CAMBARIDAE) in Mexico: an update. *Crustacean Biology* 12(4):627-630.
- Gabino A. Rodríguez-Almaraz, Ernesto Campos, Distribution and Status of the Crayfishes (Cambaridae) of Nuevo León, México, *Journal of Crustacean Biology*, Volume 14, Issue 4, 1 October 1994, Pages 729-735, <https://doi.org/10.1163/193724094X00696>
- Rodríguez Almaraz G.A. y Ernesto Campos. 1996. New Locality Records of Freshwater Decapods from Mexico (Crustacea: Atyidae, Cambaridae, and Palaemonidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 109: 34-38. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/46253>
- García-Vázquez, Leonardo, Campos, Ernesto, Rodríguez-Almaraz, Gabino A. (2023): A new and rare epigeal asellid from western Mexico *Caecidotea contrerasbalderasi* sp. nov. (Isopoda: Asellidae) with a new suture pattern in pleopod IV for the Mexican epigeal species. *Nauplius* 31: 1-10, DOI: 10.1590/2358-2936e2023012, URL: <http://dx.doi.org/10.1590/2358-2936e2023012>



### EVAN PUENTE

Creo que, de todos los maestros, él fue siempre el más comprensivo y atento. El doctor siempre me ayudó cuando yo tenía mis dudas sobre el trabajo, y sobre todo con las colecciones del primer y segundo parcial o cuando tuve problemas con el viaje a Soto la Marina, consejos captura y preservación, e incluso apoyo para el PIA, fue de los mejores maestros que he conocido, y nunca voy a terminar de agradecerle lo suficiente. Quizá no fui el mejor con su materia, pero no voy a negar que, gracias a él, me abrió los ojos del vasto mundo de los artrópodos y aprendí más de lo que pude imaginar, y al día de hoy sigo aplicando muchas de las cosas de las que aprendí del Dr. Gabino, como las arañas creo que esas son de las mejores maneras para honrar su memoria y no olvidar. Espero que ahora pueda descansar en paz, doctor Gabino.



### GABRIELA ELAINE RODRÍGUEZ CALDERÓN

#### A MI PADRE

El mejor biólogo que he conocido, fuiste un gran maestro y padre que siempre hacía con pasión y amor todo su trabajo. Desde niña observaba lo mucho que te gustaban los cangrejos, me fuiste enseñando amar, respetar la vida y la naturaleza, en cada viaje observaba el brillo en tus ojos cada que encontráramos, especies relacionadas a tu trabajo y al igual que tú yo compartía esa alegría, y lo seguiré haciendo. A lo largo de mi vida y hace un mes fui testigo de lo grande e inteligente que eras, como noche tras noche te desvelabas para hacer tu trabajo de investigación a la perfección, que a pesar del cansancio y los obstáculos tú siempre saliste adelante, observaba como con mucho esfuerzo fuiste recolectando todas las investigaciones que hiciste a lo largo de tu vida. Siempre buscando nuevas especies y haciendo tus investigaciones, es la mejor lección que me dejaste para seguir tu camino como científica. Me enseñaste que siempre que haga algo se haga con amor y jamás rendirme en mis sueños. Lo mejor que me has dejado son tus enseñanzas, es hermoso ver como dejaste huella en los corazones de muchos alumnos, maestros y compañeros, que siempre viste por los demás.

Me despido de ti, sabiendo que tuviste una gran vida y trayecto exitoso, físicamente no estás aquí, pero seguirás en el corazón de muchas personas a las que guiaste y enseñaste, tu legado vive en todas esas personas, además de eso fuiste un gran padre que siempre vio por nosotros y que siempre estuvo presente, yo me aseguraré de seguir tu legado, enseñanzas y tu camino.

Con amor tu hija Gaby cangrejita.

GERARDO MARTÍNEZ ROMERO  
EXALUMNO DE LA FCB 2003-2008

Estimado lector, se nos pidió a bien hacer un escrito, recordando a nuestro querido maestro el Dr. Gabino Rdz, tengo el honor y placer de decir que fui su alumno específicamente en el período del 2003 al 2007 ya hace algunos años.

Pero, y aun a pesar de no ser propiamente un aprendiz del mismo (ya que no tuve el placer de pertenecer a los estudiantes de su laboratorio) si les puedo decir qué él fue un gran maestro y una gran persona. A mí en lo particular me dejó muchas lecciones, y no todas tienen que ver con su área de especialización (invertebrados y específicamente crustáceos de MX).

Por ejemplo, a él lo recuerdo como uno de los grandes maestros, con los cuales tuve el placer de convivir (aclaro, entre muchos otros maestros de los cuales aprendí muchas cosas, en mi recorrido estudiantil en la carrera de Biólogo). Pero volviendo al caso, de él, recuerdo los primeros semestres de la licenciatura, recuerdo que en aquellos años se llevaban 3 parciales o módulos (por cada materia) y en cada uno de ellos se tenía maestro o instructor... Él nos impartió las clases "si mal no recuerdo" de Conceptos de biología. De esa misma materia, puedo mencionar, qué, no es en sí que recuerde textualmente todas sus clases, pero si les puedo decir, el modo en como él impartía esa clase (con ciertos adjetivos descriptivos sería de la siguiente manera): bastante ecuánime, centrado y un excelente manejo de los conceptos y dominio de los temas expuestos. Además de la resolución de dudas, la cual a mi parecer también era muy satisfactoria. Lo anterior por su dominio y preparación de los temas vistos en clase. Les comento también que su clase no me resultaba para nada aburrida (sí, a decir verdad, como la de algunos otros profesores, pero eso como ustedes saben se le puede atribuir simple y sencillamente a los intereses personales que uno tiene y/o por lo que uno mismo muestra interés a lo largo de los estudios). Entonces considero qué, más allá de habernos enseñado ampliamente acerca de los "conceptos de la biología", creo que tenía una gran capacidad de fomentar el pensamiento o razonamiento científico (En mí y mis compañeros de aula). También y relativamente más adelante en las materias de 4to semestre, nos volvimos a ver, y ahora en la clase de biología de invertebrados artrópodos, donde a lo que más recuerdo siempre nos hizo énfasis en los descubrimientos y proyectos que se llevaban a cabo en ese momento, pues claro relativo a los crustáceos de importancia en México y Latinoamérica.

Alguna vez, cuando él fue representante o "coordinador" de la carrera de Biólogo, de verdad me apoyó para poder inscribirme en un curso de verano (de otra materia "no

impartida por él mismo" con la que tuve dificultad y qué, de no ser por su apoyo, no podría haberme regularizado en ese sentido). De verdad que eso fue algo que un servidor, siempre tendrá que remarcar de su persona y por ello estar plenamente agradecido por su empatía, con las personas en general y los estudiantes en particular. Recuerdo qué, si bien, algunos de los compañeros o incluso de algunas otras carreras o de semestres posteriores, sí lo buscaron para especializarse en el área de "crustáceos" e incluso no necesariamente involucrando "taxonomía clásica", sino también recuerdo que él Dr. Gabino estuvo colaborando o dirigiendo proyectos que involucraban técnicas de biología molecular en la identificación o determinación del origen filogenético de ciertos crustáceos," (y eso era bastante novedoso en "nuestra época" claro).. Pero retomando el punto, creo que desde "lejos" o sin conocer tan a fondo a una persona... te puedes dar cuenta de su manera de ser.

Y como tal pues fue de los maestros con los que tuve mayor afinidad o empatía. Como digo, no se trata solamente de pertenecer a un laboratorio o línea de investigación... creo que hay cosas que trascienden más allá de una tesis, laboratorio o salón de clases (Y evidentemente fue el caso del Dr. Gabino).

Recuerdo también que él siempre nos mencionaba que podíamos buscarlo o pedir apoyo en “alguna situación” en particular y que pues las puertas de su laboratorio siempre iban a estar abiertas para nuestra generación (que la verdad creo que aplica igual para otros alumnos que vinieron después o antes que nosotros). Porque él así era y eso es lo que lo hace memorable y persistente en nuestra memoria como alumnos.

Por último quiero agregar, que alguna vez a nuestro salón nos tocó participar con el Dr. Gabino, en un congreso de Zoología (si mal no recuerdo en el año 2005), Claro que en aquel entonces no teníamos aún la experiencia, ni los estudios o evidencia para poder ser ponentes, pero, de la organización del evento y de lo que aprendimos del mismo ... me llevo grandes lecciones ... ya que debido a experiencias como esas, uno se enriquece de conocimientos nuevos (Ya sea que los continúes utilizando en un futuro, o solo los guardes en la memoria y de algún modo los relaciones con tu vida diaria). Por eso mismo creo que Gabino fue de aquellos maestros que siempre nos mostraron el buen camino que debemos seguir como científicos y también como personas.

Mencionar también que gracias al Dr. Gabino, se amplió significativamente la incursión de la Facultad de Ciencias Biológicas, en eventos internacionales, especialmente congresos con ponentes extranjeros o también nacionales “de otras partes de la república”.

Recordando que el Dr. Gabino siempre procuro incluir a todos sus alumnos en los eventos, ya se tratase de simposios, congresos, diplomados y aspectos de esa índole (tuvieran o no interés de especializarse en su área de estudio “crustáceos”).

Lamentablemente al Doctor Gabino le llego su momento de finalizar su etapa en este plano terrenal (y ese día a todos nosotros también nos llegará). Pero literalmente él puede descansar en paz, ya que deja un gran legado de investigadores y alumnos de Biología en el norte de Mexico y por ello siempre será recordado DEP Dr. Gabino.



#### GISELA ARAMIRIAM LEÓN-ESPINOSA

En 2014, el Dr. Gabino Rodríguez me aceptó en su laboratorio como aprendiz. Tiempo después me convertí en su becaria, junto con tres estupendas biólogas que nos autodenominábamos “Las Malacóstracas en Acción”. Hubo un momento en que pensé que mi futuro estaría en la carcinología; después de todo, siempre me han fascinado los estomatópodos.

Sin embargo, fue el profesor quien me habló de unos diminutos animales tan curiosos como poco estudiados en México: los tardígrados. Ambos acordamos iniciar esta línea de investigación bajo su orientación y, sin duda, fue una de las mejores decisiones que pude tomar para el desarrollo de mi carrera profesional.

Aunque mi trabajo se centraba exclusivamente en los tardígrados, el profesor siempre me invitaba a las salidas de campo para el monitoreo de fauna. Junto a él vivimos numerosas aventuras en los ríos del noreste de México. Eran jornadas intensas de trabajo, pero al caer la noche nunca faltaba una bebida de cebada y las anécdotas acumuladas de años de experiencia. Sus historias estaban llenas de momentos memorables y las relataba con tal pasión que parecía estar reviviendo cada colecta y cada expedición en ese mismo instante.

En 2015 asistimos al Congreso Nacional de Zoología en Oaxaca. Fue ahí donde conocí algo más que a un profesor e investigador: conocí a una persona que nos cuidaba

como si fuéramos sus hijas, preocupándose siempre por nuestro bienestar y por qué disfrutáramos la convivencia con colegas y amigos.

El Dr. Gabino fue una parte fundamental de mi formación profesional. Juntos fuimos pioneros en México en el estudio de los famosos “ositos de agua”. Siempre me enseñó a no abandonar la investigación, aun cuando el panorama pareciera desalentador. Al contrario, me inculcó la importancia de la perseverancia y de nunca quitar el dedo del renglón.

Mucho de lo que soy hoy se lo debo a él...

Gracias, profesor. Gracias por las enseñanzas, por la confianza, por las aventuras, por las historias y por creer en mí cuando apenas comenzaba mi camino. Su legado permanece en cada uno de sus estudiantes y en cada persona que tuvo la fortuna de conocerlo.



Gisela Aramiriam León-Espinosa y el Dr. Gabino A. Rodríguez Almaraz durante el examen de licenciatura de la primera.

#### DR. GORGONIO RUIZ CAMPOS

Dedico estas líneas con mucho aprecio a mi querido amigo Gabino Adrián Rodríguez Almaraz, quien lamentablemente falleció en este mes de junio de 2026. Conocí a Gabino cuando ambos cursábamos la carrera de biología en la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB), UANL, entre los años 1977-1982, aunque pertenecíamos a diferentes generaciones (la mía 1 año anterior). En ese tiempo, Gabino se interesó por los artrópodos (crustáceos) y un servidor por los peces, pero ambos trabajando con la fauna acuática de nuestro estado. Gabino continuó sus estudios en la misma facultad hasta su doctorado, y yo me trasladé a Ensenada para seguir con mis estudios de maestría en ecología marina. De nuevo, en mis estudios de doctorado en mi Alma Mater durante la década 1990-2000, nos volvimos a reencontrar, él ya como un profesor de carrera en la FCB. Durante mis exploraciones ictiológicas en el norte de México, también recolecté crustáceos, especialmente langostinos de río, los cuales fueron siempre de interés taxonómico para Gabino y que motivó el inicio de una colaboración. Con el tiempo, colaboramos en varias publicaciones sobre la distribución de crustáceos de los géneros *Macrobrachium* y *Procambarus* en el noroeste de México. Además, por casi 10 años colaboramos en la Red de Especies

Exóticas de México, donde Gabino como profesor de la Facultad de Ciencias Biológicas, fue el responsable de la Red Nacional de Especies Exóticas, la cual estaba conformada por investigadores de la UANL, la Universidad Autónoma de Baja California, y la Universidad del Mar-Oaxaca. En ese grupo académico, donde yo participé, Gabino fue el coordinador de las reuniones

académicas en las diferentes sedes universitarias, cuyos trabajos dieron como resultado la publicación de un libro sobre las especies acuáticas invasoras de México (2014). Siempre mis visitas a mi Alma Mater, específicamente a la Facultad de Ciencias Biológicas han generado momentos muy gratificantes al ver y saludar a mis amigos y colegas de muchos años, y Gabino es uno de ellos, a quien siempre lo recordaré con mucho cariño y admiración. Descansa en Paz, amigo y colega, Gabino Adrián Rodríguez Almaraz.



#### DR. HUMBERTO QUIROZ MARTÍNEZ

En honor y a la memoria de un gran amigo Gabino Adrián Rodríguez Almaraz, la verdad no recuerdo la fecha en el que se integró al laboratorio de Entomología y Artrópodos, Gabino por su lado se integró al equipo del Biol. Alfredo del Toro y desde esos inicios su área de interés fue la carcinología, por el otro lado yo me integro al grupo de trabajo del M. en C. José Juan Ortiz Hernández, compartiendo mis primeras enseñanzas en la entomología con el actual Dr. Edmundo Carlos López Barbosa, Biol Salvador González Santos, Dr. José Luis Hernández Mendoza.

Posteriormente en el año de 1982 fuimos promovidos para ingresar como docentes en la Facultad de Ciencias Biológicas, ante la separación del Biol. Del Toro, Gabino fue el titular de la materia que en el plan de estudios vigente se llamaba como Zoología III (artrópodos no insectos), durante el tiempo que laboramos como docentes, además de las actividades inherentes a la docencia, compartimos varios viajes a capacitaciones y/o congresos como fue un curso de Colecciones Científicas ofrecido en la Ciudad de México, tiempo en el cual nos recibieron parientes de Gabino en Cuautitlán Izcalli en el estado de México; congresos de entomología en diferentes sedes en la república, asistencia a la reunión de la North America Benthological Society en Nuevo México.

Además de sus actividades como docente, Gabino destacaba como jugador de baloncesto; también fue integrante de un equipo de softbol botanero que en la década de los 80 fue registrado por los auxiliares y tesistas que en esos tiempos formaban el personal del laboratorio; llamado el equipo como los Tojos, cuyo nombre fue una contracción de "Todos Jodidos" porque con algunas excepciones la mayoría no sabíamos cómo jugar, aun y cuando no se ganó un partido durante las temporadas de participación de este equipo, la convivencia era uno de los principales motivos para continuar en la competencia. Una de las anécdotas que recuerdo fue cuando le toco turno al bat, le hicieron tres lanzamientos que fueron strikes que para el conocedor de este deporte significaba ponche, Gabino seguía en el pentágono esperando las siguientes pichadas, hasta que el pitcher contrario cuestiono al ampáyer para que le dijera a Gabino que ya había sido out.

Al igual que muchos compañeros de nuestra estructura de edad, Gabino fue un apasionado por su trabajo acudiendo a la facultad o salidas de colecta en días no hábiles, altamente dedicado a sus proyectos de investigación, formado de un gran número de estudiantes quienes obtuvieron su título profesional y/o posgrado, miembro activo de la Sociedad Mexicana de Zoología la cual incluso llego a presidir y organizador de las reuniones nacionales de esta sociedad.

Lamentablemente los últimos años de su vida, disminuido por enfermedades y cirugías, aun así, sus actividades académicas y su labor en campo eran de los principales motivadores, incluso un par de meses previo a su fallecimiento posteo que tenía un tema para tesis y buscaba quien pudiera hacerse cargo de él. También quiero destacar en durante estos últimos tiempos, zopilotes volaron sobre sus clases, líneas de investigación y otras áreas de su especialidad.

Después de 44 años de compartir espacios laborales, académicos y de amistad, se extrañarán los famosos carcino mensajes que normalmente enviaba a altas hora de la noche, ya que fue nuestro jefe de laboratorio. Extrañare a la persona, al amigo, al compañero docente, al jefe de laboratorio, al subdirector de investigación, por los grandes momentos que generaron recuerdos inolvidables, un hasta pronto Gabino Adrián Rodríguez Almaraz.



Congreso Nacional de Entomología celebrado en Ciudad Victoria, Tamaulipas, abril de 1985



Taller de Colecciones de insectos y ácaros de importancia agrícola, celebrado en Ciudad de México, en agosto de 1986



Curso "Bioindicadores de Contaminación en Sistemas Acuáticos" organizado por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León y Agua Industrial Monterrey, S. de U. En febrero de 1999.



Grupo de trabajo dentro del proyecto "Control Biológico de *Aedes aegypti* con copépodos", apoyado por la Fundación Rockefeller en conjunto con la Secretaría de Salud en 1991

ISABEL ABDO DE LA PARRA

En recuerdo de un gran maestro y amigo, el Dr. Gabino Rodríguez Almaraz, un gran apasionado de la biología, de su trabajo, de los artrópodos no insectos y quien nos transmitía esa pasión a quienes tuvimos la fortuna de ser sus alumnos. Tengo muchos recuerdos de las salidas de campo que realicé con él, tanto como su alumna, así como instructora de su laboratorio y de las salidas que realizamos para coleccionar cangrejos de río para mi tesis de licenciatura; siempre muy atento, muy respetuoso con todos y sobre todo, transmitiendo su gran conocimiento con mucho entusiasmo. El Dr. Gabino fue de esas personas que trascienden en el tiempo, dejando una huella en quienes tuvimos el privilegio de ser sus alumnos. Descanse en Paz.



IVAN JARED TORRES RODRÍGUEZ

Fui becario del doctor Gabino durante 3 años. El doctor Gabino me aceptó en su laboratorio y me contagio de esa pasión y amor por los Crustáceos, cada grupo que me mostraba y explicaba, formando mi conocimiento sobre este grupo tan hermoso como el decía, agradezco mucho su paciencia y la motivación que me dio, también le agradezco por ser su becario por 3 años, acompañándolo en las prácticas y salidas al campo, hubiera querido continuar con la tesis que me propuso e intentaré llegar a ser tan conocedor y gran carcinólogo como él.



DR. JOSÉ ANTONIO HEREDIA ROJAS

Entre los diversos cargos que el Dr. Gabino tuvo en la Facultad de Ciencias Biológicas, el que me tocó vivir más de cerca junto a él fue el de Jefe de la Carrera de Biólogo. Siempre atento a promover y difundir la profesión. Durante su gestión, un servidor colaboró con pláticas para informar a la comunidad de preparatorias públicas y privadas acerca del quehacer de un biólogo. Promovió también el Dr. Gabino el que diversos profesores participáramos en museos como el del Horno-3 del Parque Fundidora y en Jornadas de Orientación Vocacional, con diversas pláticas dirigidas a público en general con el propósito de hacer difusión de las ciencias biológicas. Fue un gran líder a quien se le respetaba por su autoridad y no por ejercer poder. Fue un privilegio trabajar con él, aunque no compartimos labores de investigación científica por estar en áreas diferentes del conocimiento, sí en lo que tuvo que ver con dar a conocer a la sociedad el papel de un biólogo.



DRA. MARÍA DEL SOCORRO GARCÍA-MADRIGAL (COCO) & DR. ROLANDO BASTIDA-ZAVALA  
UNIVERSIDAD DEL MAR, CAMPUS PUERTO ÁNGEL, OAXACA

Conocimos a Gabino desde que dirigió la tesis doctoral de Coco, en la Facultad de Ciencias de la UANL, que inició en 2005 y concluyó en 2010. Durante este periodo nos asociamos, la UANL, la UMAR y la UABC, en una Red de Colaboración auspiciada por el PROMEP que titulamos "Especies exóticas de México: Riesgos y propuestas de manejo", la cual se mantuvo desde 2008 hasta 2016. En ese periodo tuvimos la oportunidad de organizar la I Reunión sobre Especies Acuáticas Exóticas de México, en octubre de 2011, la UMAR, campus Puerto Ángel, donde participaron varios colegas de la UANL, incluido Gabino, quien quedó encantado con

el ambiente caluroso de la costa oaxaqueña, además de que su contribución en la reunión fue muy relevante, con una ponencia sobre la introducción en México del langostino cereza *Neocaridina* sp. (Fotos 1 y 2). Su gusto por la costa oaxaqueña fue tal que, al año siguiente, cuando organizamos la VIII Reunión Alejandro Villalobos, en octubre de 2012, volvió a regresar para presentar varios trabajos sobre crustáceos, entre ellos la comparación morfológica de *Ligia* exótica y nuevos reportes de rizocéfalos en Tamaulipas (Foto 3). Tanto en las comidas como en las convivencias durante la reunión, Gabino disfrutaba de platicar con sus colegas carcinólogos, y si era en una palapa frente al mar, mucho mejor. Coco colaboró con Gabino en un capítulo del libro sobre los crustáceos exóticos invasores de México, publicado en 2014, así como un capítulo del Estudio de Estado sobre los crustáceos dulceacuícolas de Oaxaca, publicado en 2022. Por ello, así recordaremos a Gabino, con una mirada nostálgica frente al mar en la playa de Zipolite.

Gabino exponiendo en la I Reunión sobre Especies Acuáticas Exóticas de México, octubre de 2011.



Gabino exponiendo en la VIII Reunión Alejandro Villalobos, octubre de 2012.



Gabino conviviendo con Rafael Lemaitre y Ernesto Campos en una palapa de Zipolite, Oaxaca, octubre de 2012.





Gabino conviviendo con Ernesto Campos y Margarita Hermoso, Puerto Ángel, octubre de 2012.



Gabino entre carcinólogos jóvenes y consolidados (de izquierda a derecha): Viviana Pérez, Jani Jarquín, José Luis Villalobos, Coco, Fernando Álvarez, Rafael Lemaitre, Michel Hendrickx, Manuel Ayón, Ernesto Campos, Gabino Rodríguez y Edith Peralta, en el restaurante El Alquimista de Zipolite, Oaxaca, octubre de 2012.

#### JULIETH MALDONADO

El Dr. Gabino fue, sin duda, la razón principal por la que terminé dedicándome al estudio de los crustáceos. Siempre tuvo la generosidad de abrir las puertas del laboratorio a cualquier alumno, y sin pensarlo me brindó un espacio como voluntaria. Más tarde aceptó mi estancia de servicio social en investigación y, posteriormente, me ofreció la oportunidad de realizar mi tesis. Pero más allá del laboratorio, guardo recuerdos que atesoro muchísimo. Nuestra complicidad iba más allá de lo académico; recuerdo con una sonrisa ese viaje a Soto la Marina, cuando llegamos al hotel súper tarde después de un caos con la logística del autobús. Y cómo olvidar cuando me asignó curar los ejemplares de langostinos y, en su afán por ayudarme a identificar, ¡acabó tirándose todo el alcohol sucio encima!

Terminamos muertos de risa, y es una anécdota que hoy recuerdo con mucha ternura. Su fascinación por estos animales era contagiosa. Me acompañó en tantas horas de desvelo en el laboratorio, y siempre recordaré esas noches en las que me quedé hasta tarde trabajando y él con su gesto amable me dejaba chocolates para que tuviera energía. Él sabía cómo animarnos en los días especiales; en el Día del Estudiante o en San Valentín, siempre nos llevaba dulces a Daniela y a mí, porque como él decía —en broma, aunque sabíamos que era verdad—, éramos sus favoritas. Gracias, doctor, por abrirme las puertas de su laboratorio, por quedarse horas conmigo compartiendo tanto conocimiento y por inspirar en mí una pasión que nunca imaginé. Espero que algún día, sus “favoritas” podamos realizar una labor tan admirable y valiosa como la que usted aportó a la carcinología.

Me despido con gratitud y cariño, Dr. Gabino. Lo voy a extrañar mucho.

### KARLA CEDILLO

Escribo estas palabras , ya que tuve la oportunidad de trabajar con el maestro Gabino , fui su becaria , me permitió estar ahí , yo soy Karla Cedillo de la carrera de QPB, soy generación 91-96, y tengo gratos recuerdos , apoyarlo en la recolección de langostinos en el río Ramos , en ese entonces nos íbamos en la noche ya que era la mejor hora para la recolección , él me enseñó a diferenciar machos y hembras, esas salidas al campo aprendía mucho de él , también como becaria me tocó acompañarlo con el grupo de biólogos en la excursión de campo a Cuatro Ciénegas Coahuila , recuerdo que en ese viaje nos quedamos sin dinero, ya que se juntaba cooperación de todos para ir , eran unas excursiones muy amenas y cargadas de entusiasmo , en esa vez estábamos ya para regresar a Nuevo León , y ya no nos alcanzaba para comprar o ir a comer y recuerdo que dijo cuánto tenemos y con eso compramos elotes en latas , atún y chiles jalapeños y tortillas de maíz y eso comimos , quizá no fue la mejor comida , pero todos lo disfrutamos ya que se unió la convivencia , el grato lugar donde estábamos y la adrenalina de estar en este viaje , GABINO un abrazo hasta el cielo y puedo decir que fuimos amigos.



### DRA. MARÍA CONCEPCIÓN JORDÁN HERNÁNDEZ

ENTRE CRUSTÁCEOS, LABORATORIO Y VOCACIÓN: MEMORIA DEL DR. GABINO ADRIÁN RODRÍGUEZ ALMARAZ  
Era el año 2009 cuando conocí al Dr. Gabino Adrián Rodríguez Almaraz. Cursaba el cuarto semestre de la carrera de Biólogo y, en la materia de Biodiversidad de Artrópodos, llegó el segundo parcial dedicado a los crustáceos. Ahí lo escuché hablar por primera vez de un grupo que, sin saberlo todavía, marcaría buena parte de mi vida académica.

El Dr. Gabino hablaba de crustáceos con una mezcla muy particular de conocimiento, pasión y entusiasmo. Podía explicar su morfología, taxonomía, biología y ecología; hablar del proceso de muda, de la eclosión de artemias, de análisis toxicológicos en pulgas de agua, de especies invasoras, de filogenia y de tantos otros temas relacionados con este grupo. Para él, los crustáceos no eran solo organismos de estudio, eran una puerta abierta a preguntas, historias, ambientes y posibilidades.

En aquel momento ya me gustaban los artrópodos, pero todavía no encontraba del todo mi lugar. Gracias a él, encontré un espacio propio en los crustáceos. Pensaba, con cierta ingenuidad, que ningún crustáceo podría matarme; si acaso, darme un pellizco. Además, estaba el atractivo adicional de salir a la costa a colectarlos.

Después de clase me quedaba más tiempo en el laboratorio. El Dr. Gabino comenzó a ponerme a prueba: sacaba ejemplares que no pertenecían a las prácticas y pedía que intentara identificarlos. Recuerdo la expresión de asombro de ambos cuando lograba llegar a la familia correcta; siempre me decía: "Muy bien, muy bien... tiene buen ojo para la taxonomía". Hablarme de usted fue su sello siempre: un trato respetuoso que mantuvo invariablemente con sus estudiantes.

Fue en ese laboratorio donde realicé mi primer trabajo sobre la variación morfológica entre especies dulceacuícolas del antiguo género *Palaemonetes*, tema con el que me dio la oportunidad de asistir por primera vez a un congreso. Poco a poco, sin planearlo del todo, me fui integrando a su dinámica: primero siendo becaria, luego con veranos de investigación y servicio social, hasta convertirme en tesista y parte de su equipo de trabajo. En ese proceso aprendí que la vida académica no ocurre solo en las aulas, también se construye entre claves taxonómicas, frascos, etiquetas, salidas a campo, revisiones, proyectos, talleres y muchas horas de laboratorio.

Recuerdo las veces en que me sorprendía pidiéndome que explicara algo, ya fuera en una clase o en alguno de los cursos y talleres que impartía. A veces enviaba mensaje porque no podía llegar por algún contratiempo y había que sacar la actividad adelante. Sin decirlo de manera formal, nos enseñaba a improvisar, a confiar en lo aprendido, a responder en el momento y a dar lo mejor posible aun cuando el escenario cambiara.

También recuerdo sus presentaciones. Rara vez tenían mucho texto. Eran una secuencia de imágenes que utilizaba para orientarse; todo el conocimiento acumulado durante años de observar, estudiar, comparar y enseñar vivía en su cabeza. Esa forma de explicar dejaba claro que no hablaba desde una diapositiva, sino desde una vida dedicada al estudio de ese grupo.

Tenía además una gran capacidad de análisis. En los exámenes profesionales, no necesitaba una lista rígida de preguntas; escuchaba, observaba y formulaba interrogantes precisas en el momento. Esa capacidad de construcción intelectual era parte central de su enseñanza.

Mi tesis de licenciatura fue un reto que llegó casi por accidente. Surgió la oportunidad de trabajar con langostinos aplicando herramientas moleculares; aunque al inicio este enfoque no me atraía tanto como la taxonomía clásica y las revisiones morfológicas, terminé aceptándolo. El Dr. Gabino impulsó ese trabajo y proporcionó el material necesario, enseñándome que la investigación está llena de retos que invitan a descubrir nuevas áreas y que siempre existe algo nuevo por aprender.

Después de titularme, consideré buscar nuevos horizontes, pero fue en un congreso de carcinología donde el Dr. Gabino propuso la posibilidad de quedarme en la Facultad de Ciencias Biológicas para realizar el doctorado directo. Gracias a su apoyo, pude gestionar una estancia de preparación en ontogenia de crustáceos en la Universidad Nacional de Mar del Plata, en Argentina; mi primera salida internacional con fines académicos y una experiencia profundamente enriquecedora.

Él también me abrió espacios para la docencia y la gestión. Con él aprendí a escribir proyectos, a organizar actividades y a mirar la investigación como un trabajo que requiere constancia, disciplina y paciencia. También me dio la oportunidad de acercarme a la edición científica en la Revista Mexicana de Biodiversidad; esa confianza me permitió entender que publicar implica revisar, corregir y sostener estándares éticos.

Guardo con especial cariño una frase suya. Cuando fue aceptado mi primer artículo, le dije que había tenido suerte de que me lo aceptaran a la primera. Él respondió: "No es suerte: es trabajo duro". Esa lección resume el valor del esfuerzo sostenido que siempre transmitió en el laboratorio.

Además de crustáceos, su curiosidad se extendía a otros grupos de artrópodos, como los ácaros. Se mantenía atento, preguntando y dejándose sorprender por la diversidad de la vida.

Fueron muchos años compartidos alrededor de la carcinología, donde las salidas a campo fueron una constante, desde los ríos de Nuevo León, hasta expediciones en Soto la Marina y Cuatro Ciénegas. Recuerdo especialmente las jornadas en La Pesca, Tamaulipas: llegar y coleccionar en la playa, regresar y salir en lancha hacia el estuario. Eran jornadas cansadas, pero profundamente formativas.

Asistimos también a múltiples congresos. Él revisaba las presentaciones y carteles con cuidado, haciendo observaciones puntuales para que el trabajo se comunicara de la mejor manera. Muchas veces, esas revisiones ocupaban fines de semana enteros en el laboratorio. Ahí se aprendía ciencia, pero también disciplina, claridad, responsabilidad y respeto por el trabajo ante la comunidad académica.

Durante años organizamos talleres de taxonomía de crustáceos decápodos. Para el Dr. Gabino, enseñar era abrir puertas para que otros pudieran encontrar una pregunta o una línea de trabajo. Asimismo, parte importante de su legado queda resguardado en la Colección Carcinológica, un acervo que impulsó durante años y que constituye una herencia científica fundamental para el noreste de México.

En sus últimos años, fui testigo de una transformación profunda en él. Aquel hombre cuya vida parecía transcurrir estrictamente entre el rigor del método y la evidencia empírica, comenzó a explorar senderos más íntimos y espirituales. Se permitió adentrarse en sí mismo y abrazar una fe que le brindó una nueva perspectiva. Este proceso fue una respuesta natural a la madurez de la vida; tras haber transitado caminos complicados que lo pusieron a prueba, el Dr. Gabino no solo salió adelante, sino que regresó con una mirada más serena. Aprendió a ver cada día como un regalo, valorando su existencia con una profundidad que iba mucho más allá de su trabajo diario. Esa espiritualidad no desplazó a su ciencia, sino que la dotó de una calidez distinta; se convirtió en un hombre que, habiendo sorteado tantas mareas, entendía profundamente que la vida es un fenómeno extraordinario que merece ser agradecido.

Con el tiempo, las conversaciones trascendieron el laboratorio. Hablábamos de la vida cotidiana, de historias familiares y de nuestros perritos. Yo le contaba de mi Chester, y él me hablaba de su Tazo Dorado, de Chompi y de sus otros perros rescatados. Esos recuerdos también forman parte de la memoria: no solo era el maestro frente al grupo, sino la persona con la que se compartía espacio y tiempo diariamente.

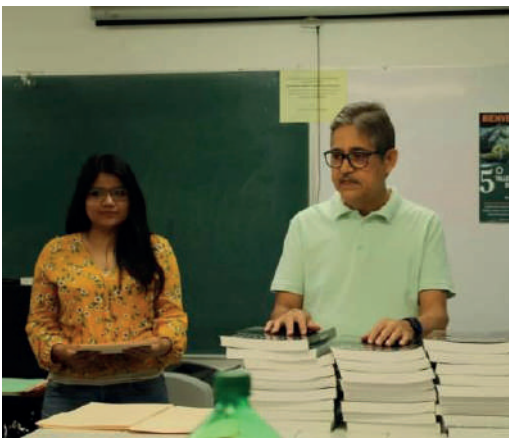
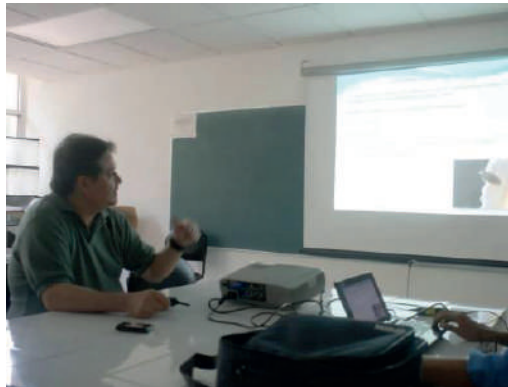
Como toda relación larga entre maestro y alumna, también hubo etapas, conversaciones francas, exigencias, disgustos, aprendizajes y cambios. Con el tiempo, además de la relación de maestro a alumna, también surgió una relación académica entre colegas. Hoy elijo mirar hacia atrás y quedarme con lo bueno: las enseñanzas, la confianza que depositó en mí y todo aquello que me ayudó a construir mi propio camino.

La última imagen que guardo de él es en el laboratorio, revisando con el proyector la tesis de Francisco, uno de sus últimos estudiantes de licenciatura —junto con Julieth, Daniela y Héctor—. Fue una escena cargada de nostalgia, pues me recordó tantas veces que, a lo largo de los años, nos reunió frente a esa pantalla para revisar nuestros trabajos con el mismo rigor y paciencia. Hasta el último momento, su mente estuvo enfocada en el avance de sus alumnos y en las ganas de volver para verlos cerrar ese ciclo. Nos despedimos un viernes con el ánimo de su próximo regreso a la Facultad el lunes siguiente, un deseo que le causaba un gran entusiasmo. Al recordar esos años, entiendo que todos sus alumnos, tanto los que fuimos antes como los que estuvieron ahí hasta el final, somos parte esencial de su legado.

A días de su partida, me sigue pareciendo increíble que ya no esté físicamente con nosotros. Uno nunca imagina la ausencia de sus maestros; se siente extraño caminar por los pasillos de la Facultad y no encontrarlo, o saber que ya no podré compartirle alguna novedad de nuestro campo o alguna anécdota. Sin embargo, al observar el laboratorio y recordar todo lo construido, no tengo duda de que su huella permanece en cada uno de nosotros.

Hoy despido al Dr. Gabino Rodríguez reconociendo su pasión y la entrega que dedicó a su labor. Fue mi maestro, mi mentor y, como decimos en la academia, mi padre académico. Gracias por haber sido el punto de partida en mi camino y por todas aquellas lecciones y vivencias que, en retrospectiva, me han ayudado a crecer como persona e investigadora.

Hasta siempre, maestro. Descanse en paz. Con cariño, Cony



DRA. MARÍA ELENA GARCÍA GARZA

LEGADO ACADÉMICO DEL DR. GABINO A. RODRÍGUEZ ALMARAZ

A lo largo de su trayectoria como docente e investigador en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, por más de 40 años, el Dr. Gabino A. Rodríguez Almaraz dejó una huella significativa en generaciones de estudiantes y profesionistas. Su labor no solo se distinguió por la producción científica y la formación de recursos humanos, sino también por la pasión con la que compartía el conocimiento dentro y fuera del aula.

Quienes tuvimos la oportunidad de trabajar con él recordamos su entusiasmo por el estudio de los organismos acuáticos y de los invertebrados, así como la importancia que siempre le otorgó a la observación directa de la naturaleza. En prácticas de laboratorio y actividades de campo, promovió que los estudiantes desarrolláramos la capacidad de analizar, cuestionar y comprender los fenómenos biológicos desde una perspectiva científica.

Muchas generaciones de alumnos aprendimos que la biología no se encuentra únicamente en los libros, sino también en los ecosistemas, en la investigación y en la experiencia práctica. Las salidas de campo, la observación minuciosa de los organismos y la rigurosidad científica fueron elementos constantes en su forma de enseñar.

Su legado académico también se refleja en la formación de estudiantes de licenciatura y posgrado que hoy nos desempeñamos como investigadores, docentes y profesionistas en diversas áreas de las ciencias biológicas. A través de la dirección y asesoría de tesis, contribuyó al desarrollo de nuevas generaciones comprometidas con la investigación científica y la conservación de la biodiversidad.

Más allá de sus logros académicos, el Dr. Rodríguez Almaraz será recordado por su dedicación a la enseñanza, su compromiso con la Facultad de Ciencias Biológicas y su contribución al fortalecimiento de la investigación zoológica en nuestra institución. Su ejemplo continuará inspirando a quienes han compartido con él las aulas, los laboratorios y el trabajo de campo.

Muchas gracias, Dr. Gabino A. Rodríguez Almaraz, por su invaluable contribución a nuestra Facultad y a la ciencia. Su legado permanecerá para siempre en la historia de nuestra institución.



DR. VÍCTOR MANUEL ORTEGA VIDALES

Hay personas que llegan a nuestra vida para enseñar una materia, y hay otras que nos enseñan a descubrir el mundo. Usted fue ambas.

Llegué a su laboratorio con apenas 19 años, sin imaginar que aquel encuentro definiría mi camino para siempre. Bajo su guía aprendí que los crustáceos eran mucho más que organismos de estudio; eran una puerta para comprender la naturaleza con respeto, paciencia y asombro. Gracias a usted conocí ríos, presas, ambientes costeros y charcas temporales; recorrimos juntos gran parte de las costas del Golfo de México y del Pacífico mexicano, donde cada colecta era una lección de ciencia y de vida.

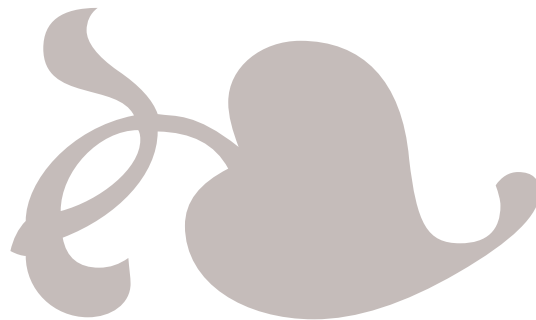
Compartimos incontables proyectos, fortalecimos la Colección Carcinológica de la Facultad de Ciencias Biológicas y tuvimos el privilegio de colaborar con CONABIO, dejando una huella que permanecerá para las futuras generaciones. Pero su legado no se mide únicamente en publicaciones, colecciones o proyectos; se mide en cada estudiante que inspiró, en cada investigador que formó y en cada persona que encontró en usted un ejemplo de humildad, pasión y generosidad.

Para mí no solo fue mi maestro y mentor durante más de veinte años; fue también una figura paterna, alguien que creyó en mí cuando apenas comenzaba a construir mis sueños. Si hoy amo la carcinología, si admiro a los acociles, cangrejos, cochinillas, langostas y tantos otros crustáceos, es porque usted me enseñó a ver en ellos la extraordinaria belleza de la vida.

Hoy duele despedirlo, pero encuentro consuelo al saber que los grandes maestros nunca se van del todo. Permanecen en cada expedición, en cada río recorrido, en cada muestra colectada y en cada estudiante que continúa el camino que usted abrió con tanto esfuerzo.

Buen viaje, querido maestro Gabino. Usted no ha muerto; simplemente se mudó al corazón de todos aquellos que tuvimos el inmenso privilegio de aprender a su lado.

Descanse en paz. Su legado vivirá para siempre.



## CUERPO ACADÉMICO INVERTEBRADOS NO INSECTOS

Este CA estuvo formado en un inicio por los Doctores Gabino A. Rodríguez Almaraz, Roberto Mendoza Alfaro, Carlos Solís Rojas y Jesús Angel de León González, posteriormente se incorporó la Dra. María Elena García Garza y el Dr. Antonio Leija Tristán. Desde su inicio en el año 2010, este CA fue liderado por el Dr. Gabino, obtuvimos algunos apoyos individuales que nos permitieron consolidar el grupo. Posteriormente, formamos la red de Especies Exóticas de México en las que se incluyeron los CA's "Biología Marina" de la Universidad del Mar, Unidad Puerto Angel, Oaxaca, y "Estudios Relativos a la Biodiversidad" de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California. En conjunto, formamos una red muy productiva, organizamos diversas reuniones científicas y se propusieron planes de manejo para el control de especies exóticas.



Primera reunión de la red temática "Especies exóticas de México". De izquierda a derecha, José Rolando Bastida Zavala, Jesús Angel de León González, Gorgonio Ruiz Campos, Gabino A. Rodríguez Almaraz, Roberto Mendoza, José Delgadillo Rodríguez, Carlos Solís Rojas.



Reunión de Especies exóticas en la Facultad de Ciencias Biológicas



XI Reunión Nacional Alejandro Villalobos en Monterrey, N.L. 2018



XXI Congreso Nacional de Zoología en Aguascalientes, Ags. en 2013

DIVERSOS MOMENTOS CON EL DR. GABINO RODRÍGUEZ ALMARAZ







HASTA SIEMPRE, DR. GABINO ADRIÁN RODRÍGUEZ ALMARAZ:  
MAESTRO, INVESTIGADOR, GUÍA ACADÉMICO Y AMIGO

# Biología y Sociedad



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

UANL



FCB

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS