

Biología y Sociedad



Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
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

Dr. José Ignacio González Rojas
Director 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
Alimentos

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

Dr. José Ignacio González-Rojas
Dr. Eduardo Alfonso Rebollar-Téllez
Dr. Erick Cristóbal Oñate-González
Ecología y Sustentabilidad

Dr. Reyes S. Tamez-Guerra
Dr. Jorge Enrique Castro-Garza
Dr. Iram P. Rodríguez-Sánchez
Salud

Dr. Sergio Arturo Galindo-Rodríguez
Dra. Ana Laura Lara-Rivera
Biotecnología

Jorge Ortega Villegas
Diseñador Gráfico

Ing. Jorge Alberto Ibarra Rodríguez
Página web

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD, año 8, No. 15, primer semestre de 2025, 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 flean 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 previa autorización.**



CONTENIDO

EL VAMPIRO COMÚN (DESMODUS ROTUNDUS), UN MURCIÉLAGO CON MALA REPUTACIÓN	4
WHITE-NOSE SYNDROME: AN EMERGING DISEASE AND A POTENTIAL THREAT TO MEXICAN BATS	11
DENGUE, ZIKA Y CHIKUNGUNYA: ARBOVIRUS TRANSMITIDOS POR MOSQUITOS AEDES SP. CON IMPORTANCIA PARA LA SALUD PÚBLICA EN MÉXICO	23
ÁCAROS ACUÁTICOS. CENTINELAS DE COLORES EN EL AGUA	34
PECES DAMISELAS (POMACENTRIDAE): PEQUEÑOS CENTINELAS DE LOS ARRECIFES	44
BLANQUEAMIENTO CORALINO ¿EXISTE UN FUTURO PARA LOS ARRECIFES DE CORAL?	54
GORRIÓN SERRANO, MONITOREO COMUNITARIO Y JARDINES ETNOBIOLÓGICOS: UN DIÁLOGO DE SABERES ENTRE EL CENTRO Y EL NORTE DE MÉXICO	64
GUÍA PARA ELABORAR UN TRABAJO TAXONÓMICO: EL CASO DE UN ANÉLIDO ESCAMOSO (HALOSYDNA BREVISETOSA KINBERG, 1856) VAGANDO A LA DERIVA	75
MICRORNAS COMO BIOMARCADORES DE DIAGNÓSTICO, PRONÓSTICO Y PREDICCIÓN EN CÁNCER DE MAMA	82
NO DEBERÍAS LAVAR EL POLLO	91
TECNOLOGÍA SATELITAL Y MANGLARES: UNA ALIANZA PARA MITIGAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL	96
CUANDO UN ENEMIGO ATACÓ MIRMELANDIA (LA CIUDAD DE LAS HORMIGAS)	105
SOBRE LOS AUTORES	110

Vivimos en una era donde la ciencia se encuentra en constante evolución, impulsada por avances tecnológicos, descubrimientos inesperados y desafíos globales que requieren de soluciones innovadoras. En el número 15 de nuestra revista, nos adentramos en algunos de los temas más fascinantes y relevantes del panorama científico actual, explorando las fronteras del conocimiento humano y cómo la investigación está moldeando el futuro.

Cuando pensamos en murciélagos, la mayoría de nosotros probablemente los asociemos con mitos, miedos ancestrales o imágenes oscuras de la noche. Sin embargo, en este número queremos iluminar la importancia crucial que estos fascinantes mamíferos tienen para el equilibrio de nuestros ecosistemas y la salud de nuestro planeta.

En otra aportación, los autores se centran en las enfermedades que han impactado a los murciélagos, un tema que ha cobrado relevancia en los últimos años debido a las graves consecuencias que algunas de ellas han tenido para estos animales y, por extensión, para los ecosistemas que dependen de su presencia. El caso más conocido es el síndrome de la nariz blanca, una enfermedad fúngica que ha diezmando las poblaciones de murciélagos en América del Norte, llevando a algunas especies al borde de la extinción.

En las últimas décadas, los arbovirus transmitidos por mosquitos, especialmente aquellos del género *Aedes*, han emergido como una de las principales amenazas para la salud pública global. En México, los casos de enfermedades como el Dengue, el Zika y el Chikungunya han aumentado significativamente, poniendo a prueba los sistemas de salud y la capacidad de respuesta ante epidemias. En este número de nuestra revista uno de los trabajos presentados se enfoca en la comprensión de estos virus, su transmisión, sus efectos y, sobre todo, las estrategias que se están implementando para combatirlos.

En el vasto y sorprendente mundo de los ecosistemas acuáticos, existen criaturas diminutas pero fundamentales para el equilibrio ecológico. Entre ellas, los ácaros acuáticos, aunque a menudo invisibles a simple vista, juegan un papel crucial en la dinámica de estos entornos. En este número nos sumergimos en el fascinante universo de estos organismos microscópicos, cuya diversidad y funciones son a menudo desconocidas, pero de enorme importancia para la salud de ríos, lagos, charcas y otros cuerpos de agua.

En las aguas cristalinas de los arrecifes coralinos, uno de los ecosistemas más biodiversos y vitales de nuestro planeta, habita una pequeña especie que, a pesar de su tamaño, desempeña un papel fundamental en el equilibrio de este entorno. Los peces damiselas, con su colorido y su comportamiento intrigante, no solo son una de las especies más emblemáticas de los arrecifes, sino también centinelas silenciosos de la salud de estos ecosistemas marinos. Aquí, nos adentraremos en el fascinante mundo de estos pequeños pero poderosos peces y exploramos cómo su presencia y comportamiento reflejan el estado de los arrecifes coralinos, que son esenciales para la biodiversidad marina y la vida humana.

Los arrecifes coralinos, conocidos como los "bosques tropicales del mar", son algunos de los ecosistemas más biodiversos y valiosos de nuestro planeta. Aportan hábitats para miles de especies marinas, protegen las costas de la erosión y son esenciales para las comunidades humanas que dependen de ellos para la pesca y el

turismo. Sin embargo, en las últimas décadas, estos ecosistemas han sufrido una de las amenazas más graves y visibles: el blanqueamiento de corales. Este fenómeno, resultado de un estrés ambiental extremo, está transformando los arrecifes coralinos en vastos paisajes desolados y amenaza su supervivencia a una escala alarmante. En este número, abordamos las causas, consecuencias y soluciones al blanqueamiento de corales, un desafío urgente que afecta tanto a la biodiversidad marina como al bienestar de las generaciones futuras.

La biodiversidad de México es una de las más ricas y diversas del mundo, pero también enfrenta retos significativos debido a la actividad humana, el cambio climático y la pérdida de hábitat. En este contexto, el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), una especie endémica y en peligro crítico, simboliza tanto la fragilidad como la fortaleza de nuestros ecosistemas. Su historia y situación actual nos invitan a reflexionar sobre nuestro papel en la protección de la riqueza natural que nos rodea. En este número, abordamos un enfoque innovador y esperanzador: el monitoreo comunitario como herramienta clave para la conservación del gorrión serrano y otras especies en situación crítica. Este método combina la participación activa de las comunidades locales con el rigor científico, logrando no solo generar datos valiosos, sino también empoderar a las personas que habitan cerca de estas especies.

La elaboración de un trabajo taxonómico no es solo un esfuerzo técnico, sino también un viaje de descubrimiento. Cada etapa del proceso, desde el primer contacto con los especímenes hasta el análisis comparativo y la descripción formal, implica una mezcla de rigor científico y pasión por el conocimiento. En este sentido, es vital fomentar el interés y la formación de nuevas generaciones de taxónomos, quienes continuarán explorando y describiendo la diversidad biológica que todavía permanece desconocida. Invitamos a nuestros lectores a sumergirse en el artículo aquí presentado y a descubrir la riqueza de los anélidos poliquetos y el apasionante mundo de la taxonomía.

En el complejo panorama del cáncer de mama, una de las principales causas de mortalidad en mujeres a nivel mundial, la búsqueda de herramientas de diagnóstico y pronóstico más precisas es una prioridad urgente. La ciencia moderna ha abierto una nueva ventana de posibilidades con el estudio de los microARNs (miARNs), pequeñas moléculas de ARN no codificante que desempeñan un papel crucial en la regulación de la expresión génica. En este número, exploramos cómo los miARNs están revolucionando la investigación y la clínica en el cáncer de mama.

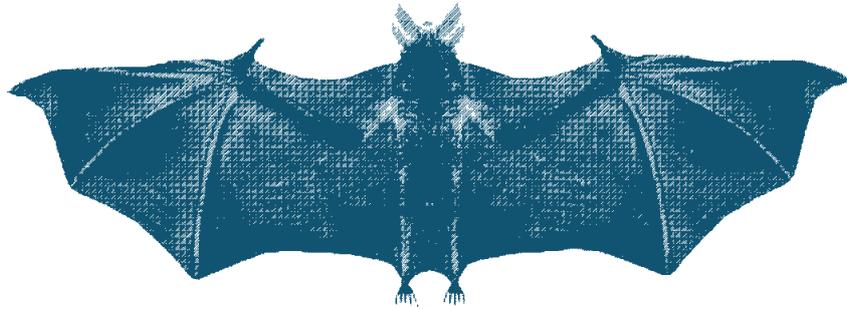
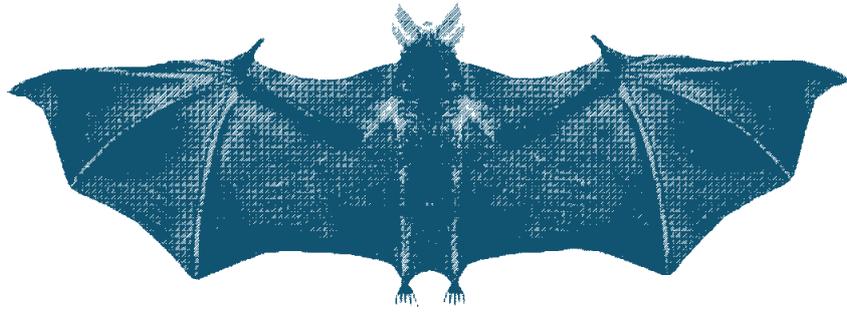
En otro trabajo se expone la importancia de no lavar el pollo al preparar los alimentos, ya que son portadores de bacterias, y al realizar esta práctica, se pueden contaminar utensilios que en un momento dado pueden ser utilizados sin cocción y así desarrollar enfermedades gastrointestinales a los consumidores.

Por último, leeremos una interesante historia sobre una ciudad de hormigas y la trama que vive diariamente.

Esta edición no sólo presenta resultados científicos sobresalientes, nos lleva por un camino de aportes interdisciplinarios fundamentales para una mejor comprensión del futuro y como enfrentarnos a desafíos ambientales y sociales de nuestro entorno.

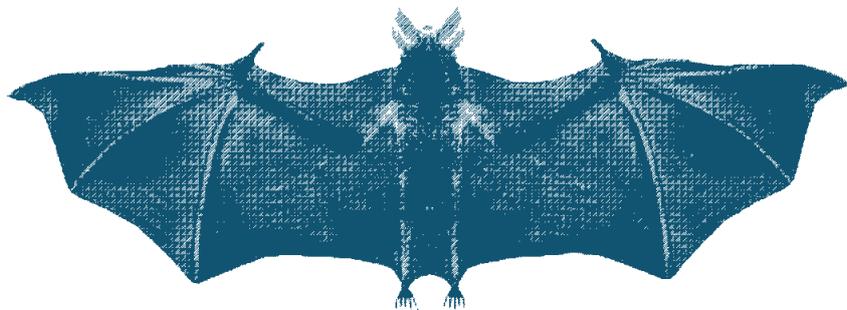
Bienvenidos sean a un mar de conocimiento y propuestas de cambio.

EDITORIAL



EL VAMPIRO COMÚN (*DESMODUS ROTUNDUS*), UN MURCIÉLAGO CON MALA REPUTACIÓN

ÁNGEL RODRÍGUEZ-MORENO¹, VÍCTOR SÁNCHEZ-CORDERO¹, Y
*MARGARITA GARCÍA-LUIS^{1, 2}.



¹Departamento de Zoología, Pabellón Nacional de la Biodiversidad-Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Centro Cultural, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

²Laboratorio de Investigación en Reproducción Animal (LIRA), Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Av. Universidad s/n Ex Hacienda Cinco Señores, 68120 Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia

RESUMEN

Los murciélagos gozan de una mala reputación por ser animales nocturnos y por el desconocimiento de su importancia ecológica, al ser proveedores de servicios ecosistémicos que nos benefician. El vampiro común es una de ellas. Esta es una especie de importancia fitosanitaria debido a que puede transmitir la rabia. Por ello, se realizan campañas de control de las poblaciones de murciélagos vampiro. Se presume que esta estrategia, lejos de contribuir a la disminución de casos, la ha aumentado. Es necesaria la estandarización de toma de datos para dar seguimiento a las campañas de control. Para la rabia humana, desde 2005, no se habían registrado casos en el país, hasta 2020 y 2022 que se presentaron casos transmitidos por perros, gatos y murciélagos. Todas las especies tienen una función en el ambiente; el murciélago vampiro común no es la excepción, y es la disponibilidad de ganado y su cercanía con los lugares donde este habita, lo que conlleva a que sus poblaciones aumenten de manera importante y se vuelvan un problema.

ABSTRACT

Bats have a bad reputation for being nocturnal animals due to a lack of knowledge about their ecological importance, as they provide ecosystem services that benefit us. The common vampire bat is one such species. It is of phytosanitary importance because it can transmit rabies. Consequently, campaigns are conducted to control vampire bat populations. It is suggested that this strategy, rather than reducing the number of cases, may have increased them. Standardization of data collection is necessary to monitor control campaigns effectively. From 2005 until 2020 and 2022, no human rabies cases had been recorded in the country; however, cases transmitted by dogs, cats, and bats have since occurred. Every species plays a role in the environment; the common vampire bat is no exception. The availability of livestock and its proximity to the bat's habitat can lead to a significant increase in bat populations, creating a potential problem.



Palabras clave: vampiro común, *Desmodus rotundus*, virus de la rabia, conflicto, control, murciélagos hematófagos.

Key words: common vampire, *Desmodus rotundus*, rabies virus, conflict, control, haematophagous bats

INTRODUCCIÓN

Los murciélagos son el segundo grupo de mamíferos más abundante y diverso en el mundo, además de ser los únicos que pueden volar. Estos animales aportan múltiples beneficios (servicios ecosistémicos) al ser humano, como controladores biológicos de plagas en cultivos, dispersores de semillas, polinizadores de plantas domesticadas y silvestres, además del uso fertilizante que se les da a sus excrementos (guano; Ancillotto *et al.*, 2024; Gándara *et al.*, 2023; Ramírez-Fráncel *et al.*, 2021). A pesar de estos servicios ecosistémicos, el ser humano en términos generales, tiene una percepción equivocada de los murciélagos, los cuales tienen una mala reputación por ser nocturnos y estar asociados a creencias y miedos. Basta revisar la cinematografía o la literatura (Drácula, 1897; The Devil Bat, 1940; Bats: Human Harvest, 2007), en la cual bajo contadas excepciones como el Hombre murciélago "Batman", que lucha por la justicia bajo la seguridad de la noche, otros muchos personajes ¡Siempre son malvados y viles!

Una especie, particularmente señalada como "mala", es el murciélago vampiro común *Desmodus rotundus* (Figura 1) que, por alimentarse de sangre principalmente de mamíferos (hematofagia), causa aversión al humano. Este hábito alimenticio no es exclusivo de esta especie, debido a que otras dos especies lo poseen, como son el murciélago vampiro de alas blancas (*Diaemus youngi*), y el murciélago vampiro de patas peludas (*Diphylla ecaudata*); ambas especies se alimentan principalmente de sangre de aves (Figura 2). Estas tres especies de murciélagos hematófagos representan, solamente, el 2% de las 144 especies de murciélagos que se distribuyen en México (Ceballos y Oliva, 2002; Sánchez-Cordero *et al.*, 2014; Ramírez-Pulido *et al.*, 2014).

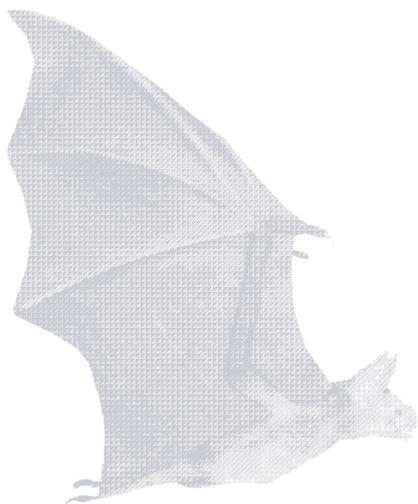


Figura 1. Murciélago vampiro común (*Desmodus rotundus*). Fotografía: Ángel Rodríguez Moreno.



Figura 2. Murciélago vampiro de patas peludas (*Diphylla ecaudata*), alimentándose de sangre de una gallina. Localidad Alta Cima Tamaulipas. Fotografía: Esteban Berrones.

¡BRAM STOKER NO CONOCIÓ AL VAMPIRO COMÚN!

El murciélago vampiro común es percibido como el epítome de la “criatura maligna de la noche”. Su mismo nombre común “vampiro”, evoca a la obra literaria del escritor irlandés Bram Stoker. Este autor escribió su novela *Drácula* en 1897, en la cual aborda la temática del vampirismo y la lucha del bien contra el mal. Sin embargo, la única relación entre la novela y el murciélago vampiro es la ingesta de sangre (Stoker, 2018). Porque mientras la especie *Desmodus rotundus* fue descrita en 1810, por el naturalista Frances Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (Ramírez-Pulido *et al.*, 2014), la novela *Drácula* fue escrita 87 años después. Se considera que la historia ficticia está basada, en el personaje real del príncipe de Valaquia Vlad III, nacido como Vlad Drăculea, mejor conocido como Vlad el Empalador (Montón, 2022).

Además, el murciélago vampiro común es una especie endémica del Continente Americano la cual habita en bosques, selvas, plantaciones y sitios con ganado. Por lo que Stoker no tenía manera de relacionar a *Desmodus rotundus* con un humano que consume sangre para ser inmortal debido a que no existe en el viejo mundo. La distribución del vampiro común en América abarca desde México hasta el norte de Chile y Argentina, al sur del continente, así como desde el nivel del mar, hasta una altitud de los 2900 msnm (Zarza *et al.*, 2017). Durante el día, se refugia dentro de troncos huecos o cuevas y se alimenta de sangre de mamíferos silvestres y domésticos, como los venados, perros e incidentalmente del hombre, incluso se ha reportado que pueden consumir sangre de otros vertebrados como aves, reptiles y anfibios (Brown y Escobar, 2023). En su dentadura posee dos incisivos muy grandes, con los cuales realiza una pequeña herida por la que lame la sangre que fluye. Un aspecto interesante es que la saliva del murciélago vampiro común, posee un anticoagulante que permite que la sangre continúe fluyendo de la herida, aun cuando el murciélago no siga consumiéndola. Cada individuo de murciélago vampiro es capaz de consumir hasta 20 mililitros por sesión de alimentación (Villa, s. a.; Villa, 1968;). Es una especie de hábitos gregarios durante el descanso en sus refugios, por lo que es común encontrarlo en grupos, de unos cuantos individuos, hasta varios cientos (Figura 3). Se le considera una especie de importancia fitosanitaria, ya que afecta al ganado al alimentarse de su sangre y en ocasiones puede transmitir el virus de la rabia (Greenhall *et al.*, 1983).

Figura 3. Grupo de Murciélagos vampiro común (*Desmodus rotundus*) en cueva “El Nacimiento Río Huichihuayan” San Luis Potosí. Fotografía: Ángel Rodríguez Moreno.

EL CASO DE LA RABIA BOVINA Y LAS ACCIONES DE CONTENCIÓN QUE SE REALIZAN

Los datos del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2022) indican que la enfermedad se encuentra activa en 26 estados del país y, en promedio, se registran anualmente, alrededor de 300 casos confirmados de rabia paralítica bovina. En este sentido, se realizan esfuerzos de control de las poblaciones de murciélago vampiro, de acuerdo con la NOM-067-ZOO-2007, en localidades que reportan mordedura o signos neurodegenerativos en el ganado (pupilas dilatadas, pelo erizado, salivación profusa, parálisis ascendente progresiva, entre otras; Ilescas *et al.*, 2022). Se realizan controles de la población de esta especie de murciélago mediante la captura de individuos con redes de niebla, las cuales se ubican principalmente en los corrales de ganado en el que se han observado mordeduras. Sin embargo, también se puede realizar en refugios donde se han observado individuos del vampiro común o sus excrementos (deposiciones negras y con olor similar al amoníaco). Asimismo, se les solicita a los ganaderos, que encierren a su ganado durante, al menos dos noches, antes del operativo de captura, y que limpien la zona donde se colocará la red de niebla (SENASICA, 2022; SAGARPA, 2014).



Una vez que se han capturado individuos en la red, se deja libre a los murciélagos de otras especies. Algunos individuos de vampiro común pueden ser retenidos en una jaula para ser enviados, posteriormente, a un diagnóstico para determinar presencia de rabia, en laboratorios que cuenten con la infraestructura y protocolos adecuados. A los demás individuos capturados, se les aplica una pomada tópica sobre la piel conocida como vampiricida, para posteriormente a la aplicación ser liberados. El control de la población ocurre cuando estos individuos que regresan a su colonia se acicalan y lamen con otros individuos y, de esta manera, se pasan el vampiricida. Los individuos que lamen el tratamiento y lo consumen, mueren entre 3 y 6 días a partir de la ingesta. Otra opción de control es aplicar el anticoagulante sobre las heridas de los animales mordidos, debido a que los vampiros regresan a alimentarse de la misma presa. No obstante, el primer método es el más usado, debido a que el control actúa sobre la población y no solo individuos en específico. Anteriormente, también se usaban productos inyectables, pero su uso ha sido descontinuado (NOM-067-ZOO-2007, SAGARPA, 2014).

La realización de operativos de control se lleva a cabo por personal especializado y capacitado de los organismos auxiliares de salud animal del SENASICA (Comités Estatales de Fomento y Protección Pecuaría), por lo que la población general no debe manipular murciélagos o cualquier otro ejemplar de fauna silvestre bajo ninguna circunstancia, ni tampoco realizar perturbación de cuevas donde habiten murciélagos ya que esto, lejos de beneficiar a los ganaderos por la disminución de mordeduras, puede afectar a otras especies benéficas que pueden cohabitar con el vampiro común en la misma cueva. Aunque el control de poblaciones de murciélagos vampiro es sin lugar a duda controvertido por la muerte de ejemplares de esta especie a través del envenenamiento, es una estrategia de uso generalizado en México; algunos investigadores consideran que esta medida de contención, lejos de contribuir a la disminución de casos de rabia, los ha aumentado (Johnson *et al.*, 2014). Esta idea ha sido evaluada en otros países, donde la evidencia muestra que, a mediano plazo, la disminución poblacional, no necesariamente resuelve el problema de la rabia, debido a que puede llevar a una mayor prevalencia de este virus en una menor cantidad de individuos (Viana *et al.*, 2023).

Es recomendable que antes, durante y después de una campaña de control de murciélagos vampiro, se incremente la estandarización de la toma de datos por los órganos auxiliares del SENASICA que realizan las campañas de control. Así como diseñar investigaciones que permitan el seguimiento a corto, mediano y largo plazo de las poblaciones de vampiro común. Asimismo, se requiere de estrategias de mitigación efectivas en la prevención de la rabia que se adecuen a los diferentes contextos de los ganaderos de las regiones afectadas, con la colaboración de biólogos, veterinarios y médicos de salud humana. No es lo mismo tratar con ganaderos con hatos grandes que tienen un calendario de vacunación actualizado, que se sigue rigurosamente, y que tienen los recursos económicos para modificar las condiciones en que duermen sus animales, que con ganaderos con pocas cabezas de ganado que no siguen un calendario de vacunación y que sus animales duermen en el monte o en pequeños establos.

¿QUÉ SUCEDE CON LA RABIA HUMANA EN MÉXICO?

Es importante señalar que los murciélagos no son los únicos que pueden transmitir la rabia. Hay otras especies de mamíferos silvestres y domésticos como zorros, zorrillos, mapaches, perros y gatos no vacunados que lo pueden hacer. Aunque en nuestro país, desde 2005, no se habían registrado casos de rabia en humanos por fauna urbana (perro), fue en 2020 cuando se registraron 2 casos transmitidos por perro, dos en 2022 (uno por gato y otro por perro) y, tres más en el mismo año, transmitido por murciélagos (SENASICA, 2022; CONAVE, 2023). Lo anterior, ha generado preocupación social por la rabia y en particular hacia los murciélagos, aun cuando no son los únicos a los que se les atribuyen casos en México. La presencia del murciélagos vampiro común está asociada, principalmente, a zonas donde la presencia del ganado facilita su alimentación, por lo que las ciudades no son hábitats con alta presencia de individuos de esta especie. Sin embargo, en caso de encontrarse con individuos de murciélagos, se debe evitar tocarlo y manipularlo sin protección (puede consultar SECEMU, 2020), (Figura 4).

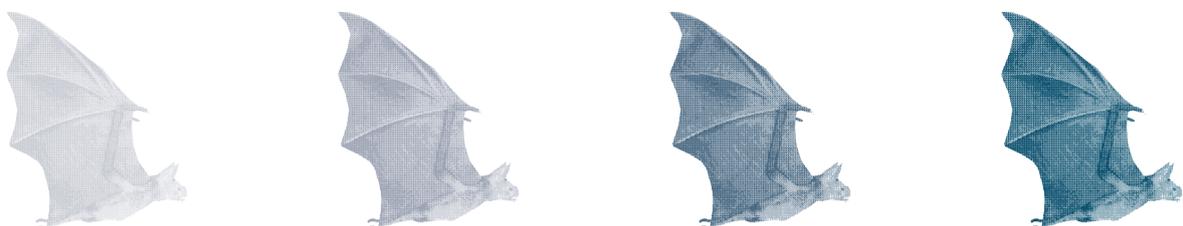




Figura 4. Manipulación de Murciélago vampiro común (*Desmodus rotundus*) Fotografía: Ángel Rodríguez Moreno.

¿QUÉ PODEMOS HACER PARA REDUCIR LA TRANSMISIÓN DE RABIA EN EL GANADO Y DISMINUIR LA MORDEDURA POR MURCIÉLAGO VAMPIRO?

1. Seguir el esquema de vacunación indicado por un veterinario. Existen en el mercado, opciones de vacunas a precios accesibles para prevenir la rabia.
2. Estabulación. Es decir, mantener al ganado en establos con buena iluminación para disminuir la incidencia de mordedura (los vampiros prefieren alimentarse en condiciones de poca luz).
3. Reporte a las instancias correspondientes para la realización de operativos de control de hematófagos por personal capacitado.
4. Mendoza-Saenz y colaboradores (2023) a partir de una revisión de literatura relacionada con los conflictos entre la producción ganadera y el vampiro común, concluyeron que una estrategia efectiva podría ser el establecimiento de zonas de amortiguamiento (áreas que rodean las zonas donde viven los hematófagos). Esto sirve para separar lo más posible al ganado de las características del ambiente (vegetación, ríos y cuevas principalmente) que le son favorables al vampiro.

CONCLUSIÓN

Es importante recordar que todas las especies tienen una función en los ecosistemas y, el murciélago vampiro común, no es la excepción, debido a que con su hábito alimenticio actúa como depredador, controlando el crecimiento de poblaciones de sus presas. Antes de la introducción de ganado en América su alimentación estaba concentrada en la fauna silvestre (Delpietro et al., 1992; Brown y Escobar, 2023). Posterior a esta introducción, la disponibilidad de presas (ganado) y su cercanía con los lugares donde este habita, lleva a que sus poblaciones aumenten de manera importante y se vuelvan un problema. Por lo que se debe buscar estrategias para disminuir la incidencia de mordeduras, sin la aplicación de sustancias tóxicas (vampiricidas), esto para reducir el daño colateral a las poblaciones de otras especies de murciélagos que cohabitan en los refugios. Igualmente, es necesario estudiar en detalle, los posibles efectos en el ambiente del uso de vampiricidas en los alrededores de las zonas donde esta sustancia se aplica.

AGRADECIMIENTOS

MG-L agradece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores por el apoyo otorgado y al CONAHCYT por la beca posdoctoral CVU 390032.



LITERATURA CITADA

- Ancillotto, L., M. Borrello, F. Caracciolo, F. Dartora, M. Ruberto, R. Rummo, C. Scaramella, A. Odore, A. P. Garonna, D. Russo. 2024. A bat a day keeps the pest away: Bats provide valuable protection from pests in organic apple orchards. *Journal for Nature Conservation*. 78: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126558>
- Brown, N., L. E., Escobar. 2023. A review of the diet of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) in the context of anthropogenic change. *Mammalian biology = Zeitschrift fur Säugetierkunde*. 12:1-21. DOI.org/10.1007/s42991-023-00358-3
- Ceballos, G. y G. Oliva. 2002. *Los mamíferos silvestres de México*. Fondo de Cultura Económica, EE. UU, 986 pp.
- CONAVE. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. 2023. Aviso Epidemiológico CONAVE/01/2023/Rabia Humana. En: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/796476/Aviso_Epidemiologico_Rabia_2023.pdf (consultado el 04/03/2024).
- Delpietro, H. A., N. Marchevsky, E. Simonetti. 1992. Relative population densities and predation of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) in natural and cattle-raising areas in north-east Argentina. *Preventive Veterinary Medicine*. 14(1-2): 13-20. [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(92\)90080-Y](https://doi.org/10.1016/0167-5877(92)90080-Y).
- Gándara, G., A. N. Correa, C. A. Hernández. 2023. Ecological Service Offered by *Tadarida brasiliensis* Bats as Natural Plague Controllers in Northern Mexico and Their Economic Valuation. *Open Access Library Journal*. 10(11):1-16. DOI:10.4236/oalib.1110701
- Greenhall, A. M., G. Joermann, U. Schmidt. 1983. Mammalian species *Desmodus rotundus*. *The American Society of Mammalogist*. 8:1-6.
- Ilescas C., A. A., F. G. Cerón, J. P. V. Ibarra. 2022. Los murciélagos vampiro y un falso juego de "las traes" y "encantadas". *Therya ixmana*. 1(3): 86-88.
- Johnson, N., N. Aréchiga-Ceballos, A. Aguilar-Setien. 2014. Vampire bat rabies: ecology, epidemiology and control. *Viruses*. 6(5): 1911-1928. DOI: 10.3390/v6051911
- Mendoza-Sáenz, V. H., R. A. Saldaña-Vázquez, D. Navarrete-Gutiérrez, C. Kraker-Castañeda, R. Ávila-Flores, G. Jiménez-Ferrer. 2023. Reducing conflict between the common vampire bat *Desmodus rotundus* and cattle ranching in Neotropical landscapes. *Mammal Review*. 53(2): 72-83. <https://doi.org/10.1111/mam.12313>
- Montón, L. 2022. Transilvania y la verdad sobre la leyenda del Conde Drácula. En: <https://www.rtve.es/television/20220118/saber-ganar-dracula-transilvania-leyenda/2258500.shtml> (consultado el 01/03/2024).
- Ramírez-Fráncel, L. A., L. V. García-Herrera, S. Losada-Prado, G. Reinoso-Flórez, A. Sánchez-Hernández, S. Estrada-Villegas, B. K. Lim, G. Guevara 2022. Bats and their vital ecosystem services: a global review. *Integrative Zoology*. 17: 2-23. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12552>
- Ramírez-Pulido, J., N. González-Ruiz, A. L. Gardner, J. Arroyo-Cabrales. 2014. List of recent land mammals of Mexico. *Special Publications of the Museum of Texas Tech University*. 63: 1-76.
- Sánchez-Cordero, V., F. Botello, J. J. F. Martínez, R. A. Gómez-Rodríguez, L. Guevara, G. Gutiérrez-Granados, A. Rodríguez-Moreno. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 496-504. DOI: 10.7550/rmb.31688
- SECEMU. 2020. Consejos SECEMU. En: <https://www.facebook.com/Secemu/photos/a.171898516328884/1368943449957712/?type=3> (consultado el 27/02/2024).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2014. Norma Oficial Mexicana NOM-067-Z00-2007. Campaña nacional para la prevención y control de la rabia en bovinos y especies ganaderas. En: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5190251&fecha=20/05/2011 (consultado el 29/02/2024).
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2022. En: <https://dj.senasica.gob.mx/AtlasSanitario/storymaps/rpb.html> (consultado el 26/02/2024).
- Stoker, B. 2018. *Drácula*. Editorial Porrúa, México, 432 pp.
- Viana, M., J. A. Benavides, A. Broos, D. Ibañez L., R. Niño, J. Bone, A. da Silva F., R. Orton, W. Valderrama B., J. Matthiopoulos, D. G. Streicker. 2023. Effects of culling vampire bats on the spatial spread and spillover of rabies virus. *Science Advances*. 9(10): 1-12. DOI: 10.1126/sciadv.add743
- Villa R., B. Sin año. Biología de los murciélagos hematófagos. *Revista Ciencia Veterinaria*. 85-101.
- Villa, B. 1968. Ethology and ecology of vampire bats. International Union for Conservation of Nature Publications. *New serie Morges*. 13: 104-110.
- Zarza, H., E. Martínez-Meyer, G. Suzán, G. Ceballos. 2017. Geographic distribution of *Desmodus rotundus* in Mexico under current and future climate change scenarios: Implications for bovine paralytic rabies infection. *Veterinaria México OA*. 4(3):10-25. DOI: 10.21753/vmoa.4.3.390.

WHITE-NOSE SYNDROME: AN EMERGING DISEASE AND A POTENTIAL THREAT TO MEXICAN BATS

/// A. NAYELLI RIVERA-VILLANUEVA¹, ANTONIO GUZMAN-VELASCO^{1*}, JOSÉ IGNACIO GONZALEZ-ROJAS¹, TANIA C. CARRIZALES-GONZALEZ¹, IRAM P. RODRIGUEZ-SANCHEZ²

¹ 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.

² 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.

*Autor para correspondencia: anguve@gmail.com

ABSTRACT

Currently, in North America, several hibernating bat species are threatened by the disease White-Nose Syndrome (WNS), caused by the fungus *Pseudogymnoascus destructans*. This disease proliferates during the winter season as it infects bats during hibernation, affecting bat populations in the U.S. and Canada. Since its detection in 2006, it has caused an estimated number of more than 6 million deaths. Mexico shares several hibernating bat species with the U.S. and Canada, many of which have tested positive for the fungus. *Eptesicus fuscus*, *Myotis sodalis*, *Myotis lucifugus*, and *Perimyotis subflavus* have experienced dramatic population declines because of WNS. For example, *Myotis velifer*, *Myotis evotis*, *Corynorhinus* sp., get infected, but the effects on their populations have not been widely studied. Efforts to estimate the impact of WNS in the United States and Canada have shown alarming trends, with declines of up to 90% in some species. No equivalent studies have been conducted in Mexico, leaving the country vulnerable to the potential spread of WNS. Here we show that proactive monitoring and mitigation strategies are crucial to prevent the introduction and spread of WNS in Mexican bat populations. Our goal is to make an urgent call for research on the WNS and understand the environmental conditions within hibernacula and the vulnerability of local bat species. Without effective interventions, Mexican bat populations could face catastrophic declines. Understanding local populations could help species that are already affected. It is necessary to begin monitoring in Mexico to detect its presence before it spreads to other areas.

RESUMEN

Actualmente, en Norteamérica, algunas especies de murciélagos hibernantes se encuentran amenazados por la enfermedad Síndrome de la Nariz Blanca (SNB), causada por el hongo *Pseudogymnoascus destructans*. Esta enfermedad prolifera durante la estación invernal, infectando a los murciélagos durante la hibernación, lo que afecta a las poblaciones de murciélagos hibernantes en Estados Unidos de América y Canadá. Desde su detección en 2006, ha causado la muerte de más de 6 millones de murciélagos. México comparte varias especies de murciélagos hibernantes con Estados Unidos y Canadá, muchas de las cuales ya han dado positivo al hongo. *Eptesicus fuscus*, *Myotis sodalis*, *Myotis lucifugus* y *Perimyotis subflavus*, han experimentado una drástica disminución de sus poblaciones a causa del SNB. Por ejemplo, *Myotis velifer*, *Myotis evotis*, *Corynorhinus* sp., se infectan del hongo, pero los efectos en sus poblaciones no han ampliamente estudiados. Los esfuerzos para estimar el impacto del SNB en Estados Unidos y Canadá han mostrado tendencias alarmantes, con descensos de hasta el 90% en algunas especies. En México no se han realizado estudios equivalentes, por lo que el país es vulnerable a la posible propagación del SNB. Aquí mostramos que las estrategias proactivas de monitoreo y mitigación son cruciales para prevenir la introducción y propagación del SNB en las poblaciones de murciélagos mexicanos. Nuestro objetivo es hacer un llamado urgente para la búsqueda del SNB y entender las condiciones ambientales dentro de los hibernáculos y sobre la vulnerabilidad de las especies locales de murciélagos. Sin intervenciones eficaces, las poblaciones mexicanas de murciélagos podrían sufrir declives catastróficos. Entender nuestras poblaciones locales podría ayudar a conservar las especies que ya están siendo afectadas. Es necesario iniciar el monitoreo en México para detectar su presencia antes de que se extienda a otras áreas.



Keywords: Chiroptera, fungus, mycosis, mortal, *Pseudogymnoascus destructans*.

Palabras clave: Chiroptera, hongo, micosis, mortal, *Pseudogymnoascus destructans*.

INTRODUCTION

GENERAL INFORMATION ABOUT BATS

Bats constitute the second-largest order of mammals, with more than 1,470 species worldwide (Simmons and Cirranello, 2024). They belong to the order Chiroptera and are the most widely distributed terrestrial group, representing about 20% of the class Mammalia (Fig. 1). They have evolved the ability to detect, locate, and classify objects for movement, feeding, and communication through echolocation (Metzner, 1991). The great diversity and adaptations that bats possess are mainly reflected in the ecosystem services they provide, such as pollination, seed dispersal, insect control, and in the multiple ecosystems where they are distributed (Fig. 2). Currently, 147 species of bats have been reported in Mexico representing eight families (Simmons and Cirranello, 2024). In the case of Mexico, diversity of bats can be listed as insectivorous, fruit-eating, nectarivorous, omnivorous, carnivorous, and piscivorous species (Kunz et al., 2011). Despite their importance in ecosystems, approximately 80% of bat species worldwide require some degree of conservation actions or research due to threats and information gaps (Frick et al., 2020). Bat assemblages face major threats such as habitat loss, climate change, disturbance of their roosts, and emerging diseases such as White Nose Syndrome (WNS), a deadly disease in bats, that is causing millions of deaths in North America (Hoyt et al., 2021). Undoubtedly, WNS threatens the conservation of bats and the ecosystem services they provide.



Figure 1. Colony of cave bats in the south of Nuevo León, Mexico. This emergence shows a large number of bats that can have the caves in the north of Mexico. Photograph by Ricardo Quirino.



Figure 2. An example of the northern ecosystems in Mexico where cave-dwelling bats forage. Photograph by Ricardo Quirino.

IMPORTANCE OF BATS IN MEXICO

The diversity of ecological niches and different tropic guilds constitute a wide range of ecosystem services. Insectivorous bats play an important role in maintaining the stability of natural ecosystems, controlling insect pest populations, preventing crop loss, and consuming arthropods that may be vectors of medically important diseases (Kunz et al., 2011). Fruit bats contribute to seed dispersal, which increases forest diversity and in disturbed or deforested areas are responsible for introducing new plants, reducing habitat fragmentation (Ghanem and Voigt, 2012). Nectarivorous bats feed mainly on flower nectar, allowing gene flow of several plant species such as agaves (Kunz et al., 2011) (Fig. 3). In addition, bat guano is the main organic matter in some subterranean ecosystems and can be used as a natural fertilizer (Kunz et al., 2011; Ramírez-Fráncel et al., 2022).



The ecosystem services primarily affected by this syndrome are those provided by insectivorous bats (Hoyt et al., 2021). Adequate quantification of the impact on arthropod communities from declines in bat populations affected by WNS in the U.S. and Canada has not been conducted. However, an increase in arthropod vectors of diseases such as mosquitoes and pests that will reduce crop yields including defoliating moths, and beetles, among other species is predicted (Hoyt et al., 2021; O'Keefe et al., 2019).

Furthermore, preliminary data in the U.S. have suggested an increase in pesticide use since the first impacts of WNS were observed and this phenomenon has been linked to an increase in infant mortality (Frank, 2024). In Nuevo León, northern Mexico, a colony of the insectivorous species, *Tadarida brasiliensis*, was evaluated for its economic value in allowing the reduction of agrochemical application by controlling arthropod pests in sorghum, walnut, and corn crops, giving a value between \$6.5 and 16.5 million Mexican pesos per hectare per year (Gándara et al., 2006). Profit from tourism activity has been calculated in multiple bat roosts that host up to millions of individuals of the species *Tadarida brasiliensis* located in the U.S., obtaining around 6.5 million dollars per year (Bagstad and Wiederholt, 2013). The main beneficiaries in these cases are local people who depend on activities such as agriculture, trade, and tourism to generate economic

Figure 3. Example of one of the agaves (*Agave angustifolia*) that bats pollinate. Photograph by Ricardo Quirino.

income. With the threat of WNS, we not only face challenges in bat conservation but also consequences that would affect communities surrounding the refuges and their economic activity.

WHITE-NOSE SYNDROME

It is an invasive mycosis affecting hibernating bats (Fig. 4) and is caused by the fungus *Pseudogymnoascus destructans* (*Pd*) (Blehert et al., 2009; Minnis and Lindner, 2013). The name of the disease comes from the growth of the fungus on the skin surface around the snout, ears, and wing membrane of bats (Chaturvedi et al., 2010). This disease has only affected bats in North America, as *P. destructans*-positive individuals in Eurasia, do not show significant mortality, due to co-evolution (Turner et al., 2011). Through phylogenetic studies, it was determined that the fungus originates from Eurasia, and the genetic characteristics of the fungus indicate that its introduction to America was probably by anthropogenic activities and not by natural spread (Drees et al., 2017; Leopardi et al., 2015). It was first documented in the state of New York in 2006 and has since spread uncontrollably throughout the U.S. and Canada (Blehert et al., 2009; Hoyt et al., 2021). It is estimated that the fungus infection has killed more than 6 million hibernating bats (Wibbelt, 2018). In some cases, it has caused the reduction of bat colonies by 90%, to their complete disappearance (Turner et al., 2011).

P. destructans, infects bats when they enter the roosts to hibernate and invade the integuments altering their natural state of torpor, leading to their death due to lack of energy (Lilley et al., 2016; Reeder et al., 2012). *P. destructans* can be transmitted by direct contact between bats or when a bat arrives where the fungus has become established (Lorch et al., 2012). When spores of the fungus enter a cave (Fig. 5), it becomes highly infectious and can survive for several years even after the bats had gone (Frick et al., 2017). Therefore, positive samples either by biopsies or swabs from bats in a roost are conclusive evidence for the presence of WNS in the entire roost and probably in all of its individuals (Campbell et al., 2020; Frick et al., 2017).

The integuments infected with *P. destructans* gradually deteriorate due to the activity of the fungus that invades and digests the surface of the bat, causing a reduction in the elasticity and width of the skin, and in the final stages, ulcers and tissue loss may occur. Tissue loss compromises proper thermoregulation of the bat and can cause an extensive inflammatory reaction (Cryan et al., 2010; Meteyer et al., 2012). Destruction of dermis components such as sebaceous/sudoriferous glands and blood vessels results in an inflammatory reaction, fluid loss, and vulnerability to microbial infections (Reichard and Kunz, 2009; Warnecke et al., 2013). An infection caused by the fungus could cause fever in the bat and promote premature fat depletion (Mayberry et al., 2018). These alterations lead to several responses



Figure 4. *Corynorhinus* sp. in torpor. As a scale of the body size, the measurement of the forearm was 43 mm. Photograph by Ricardo Quirino.



Figure 5. Set of caves, home to bats in Nuevo León state in the Chihuahuan Desert. Photograph by A. Nayelli Rivera-Villanueva.

at the physiological level such as the disruption of blood pH autoregulation in the wing membrane (Davis, 1988), as well as the secretion of endopeptidases that degrade collagen, leading to greater tissue ulceration and elevated CO₂ concentrations (O' Donoghue et al., 2015). Both responses may result in metabolic acidosis, and when combined with fluid loss-induced hypotonic dehydration, can lead to an early awakening of the bat from hibernation (Cryan et al., 2013; Magnino et al., 2021). The imbalance in bat blood homeostasis affects the duration of hibernation, increasing the frequency at which the individual awakens (Magnino et al., 2021).

MORTALITY FROM WHITE-NOSE SYNDROME

Bats that awaken during the hibernation season due to WNS are more likely to exhibit higher mortality rates as compared to those bats that awaken less (Lilley et al., 2016). Increased short torpor periods due to frequent awakenings induces bats to consume their energy reserves more rapidly (Reeder et al., 2012). During these active periods, the bat attempts to obtain water, and food or find other shelter, but the degraded state of the wings makes this task more difficult, coupled with the low availability of food during the winter, creating a deadly situation for the individual (Cryan et al., 2010). The few bats that manage to survive WNS often experience considerable damage that persists even after several months, such as deteriorated wings and extremely low body fat, which decreases their success during foraging and future reproductive success (Hallam and Federico, 2012; Reichard and Kunz, 2009).

Since the emergence of WNS, multiple studies have estimated the impact it has had on bat populations. For example, mortality studies of some species since the first detection of the fungus in 2006 show how populations of *Eptesicus fuscus* (Big brown bat) have declined by 35%, *Myotis sodalis* (Indiana bat) populations have declined by 84%, while *Myotis septentrionalis*, *Perimyotis subflavus* (Tricolored bat) (Solari, 2019) and *Myotis lucifugus* (Little brown bat) have shown declines by up to >90%, (Cheng et al., 2021). A maternity roost of *M. lucifugus* was studied to determine the impact of the disease on its population. It was found that before the arrival of *P. destructans*, the bat colony was growing steadily, but after 4 years of being affected by WNS the colony had lost up to 90% of its population. Furthermore, it has been projected that, if conditions continue, in 16 years, *M. lucifugus* could be extinct (Frick et al., 2010). In a study where 42 hibernation sites were monitored, a drastic decrease in the number of hibernating bats was reported after WNS, going from 412,340 to 49,579 individuals of six species, representing a decrease of 88% (Turner et al., 2011). At least eight North American bat species are expected to experience an impact on their populations strong enough to categorize them as threatened in the following years because of WNS (Alves et al., 2014).

There have been multiple efforts to estimate the impact of WNS in the U.S., Canada, and other countries, but none have been carried out in Mexico. Since the presence of *P. destructans* and WNS was recorded in North America, a clear deterioration of hibernating insectivorous bat populations has been seen even though measures to mitigate the disease have already



Figure 6. *Corynorhinus townsendii* is one of the species of the genus (*Corynorhinus*) that have tested positive to the WNS. Photograph by Ricardo Quirino.

been implemented (Frick et al., 2010). Caves are the main roost option for hibernating bats because they provide a suitable microclimate and stable protection during low ambient temperatures (Humphrey, 1975). Due to the high interaction between members of a bat colony within a cave, 100% of these individuals tend to become infected with *P. destructans* during the hibernation season, then survivors may visit other caves and spread the fungus spores stored in their fur (Frick et al., 2017). This situation raises alarms about how populations in Mexico could be affected by this disease when it arrives or if it is already present in the country.

BATS WITH POTENTIAL RISK TO THE WNS

Bats vulnerable to WNS are those that hibernate, whether migratory or resident. Bats serve as connectors between localities separated by their ability to travel hundreds of kilometers each year in search of roosts, as well as by migration in some species. This phenomenon can be recorded in certain bat populations between the U.S. and Mexico (Wiederholt et al., 2013). These interactions play a key role in the rapid and widespread spread of *P. destructans* making Mexico highly susceptible (Gómez-Rodríguez et al., 2022).

Endothermic mammals such as bats can enter a state of torpor and hibernation, which results in decreased body temperature, reduced heart rate, slowed metabolism, and other physiological effects to maximize energy conservation during low energy seasons such as winter. Torpor is characterized by occurring over short periods, whereas hibernation involves multiple periods of torpor followed by an amplification of these physiological effects

(Fritz, 2013). Also, during torpor, the immune system decreases its activity to save energy, leaving the bat vulnerable to infections such as WNS (Bouma et al., 2010).

Mexico shares with the U.S. and Canada some species of hibernating bats that have tested positive for the disease. The species in which WNS have been diagnosed with distribution in northeastern and northwestern Mexico are *Myotis evotis*, *Eptesicus fuscus*, *Myotis thysanodes*, *Myotis velifer*, *Myotis volans*, and *Myotis yumanensis*, which are at Least Concern (LC). While *Perimyotis subflavus* is vulnerable according to the IUCN (International Union for Conservation of Nature) and has distribution in the east of Mexico. The IUCN sets a list of threatened species in different categories according to their vulnerability to extinction; thus, an LC category shows that the species are not going to be extinct in the short term. On the other hand, the species positive for *P. destructans* that have been detected and that also have distribution in northeastern and northwestern Mexico are *Corynorhinus townsendii*, *Lasiurus borealis*, *Lasionycteris noctivagans*, *Myotis ciliolabrum*, *Tadarida brasiliensis*, *Parastrellus hesperus* (Gómez-Rodríguez et al., 2022; National Wildlife Health Center, 2022; White-Nose Syndrome Response Team, 2025; IUCN, 2024). In the case of *Tadarida brasiliensis*, although it seems that they are not clinically affected, they could serve as a bridge for the dissemination of *P. destructans* (National Wildlife Health Center, 2022). In addition, it is suspected that *Corynorhinus mexicanus* (Near Threatened according to the IUCN) and *Corynorhinus leonpaniaguae* (recently described), a species endemic to northeastern Mexico, could be vulnerable to the disease. This is because *P. destructans* has been detected in members of the same genus that also hibernate (Fig. 6).

Three species have been the main point of study due to the great affectations that the WNS has on their populations, *Myotis septentrionalis* (Near Threatened), *Myotis lucifugus* (Endangered), and *Perimyotis subflavus* (Vulnerable) according to the IUCN (Cheng et al., 2021). Of these three species, only *P. subflavus* is distributed in Mexico, ranging from southeastern Canada, extending through eastern Mexico to Honduras. A progressive decline in their populations has been detected since the detection of *P. destructans*. The first estimates in 2011 showed a 70% decline in its population (Turner et al., 2011), to a 90% decline by 2021 (Cheng et al., 2021). Predictions for *P. subflavus* showed that the impact would be limited to the northern U.S. and southern Canada. Still, the fatalities observed in the southeastern U.S. are comparable to those of *Myotis lucifugus* in the northeastern U.S. due to WNS (Loeb and Winters, 2022). In addition, for *M. lucifugus*, due to the high mortality because of WNS, projections estimate that in the next 16 years, it will be regionally extinct by up to 99% (Frick et al., 2010). In addition, it has not been recorded that populations are recovering in WNS-positive areas since the emergence of the disease (Perea et al., 2022). This indicates that the same possible outcome is expected for *P. subflavus* (Turner, 2011). This is aggravated by the rapid and progressive spread of the disease to the south of the U.S. Currently, the fungus already covers more than half of the distribution of *P. subflavus*, and continues to increase year after year (Cheng et al., 2021). With this information, we can predict the danger that the populations of this species are in Mexico, especially in the north of the country, a region that should be under special observation due to its proximity to areas with positive cases of WNS in the U.S. In addition, underground roosts are highly available in the region. The populations of *P. subflavus* that are most at risk are those that occupy underground roosts (Loeb and Winters, 2022). Thus, is worth mentioning that the highest number of fatalities has been found to occur in the first two years after the detection of the disease (Perea et al., 2022), which raises alarms of the great need for constant monitoring equipment if the disease is to be detected before it is too late.

It has been described that individuals of *P. subflavus* are beginning to prefer colder microclimate roots for hibernation. This may result in a strategy to survive WNS, as it helps to lower their metabolism during winter (Loeb and Winters, 2022; Turner et al., 2022). The possibility of migration of this species to new areas in search of roosts where it can survive is even suggested (Perea et al., 2022). If the *P. destructans* affects areas further south, such as Mexico, it could affect the distribution of this species, since its roosts in the country are warmer, increasing the probability of fatalities. However, there is a lack of information on where the vulnerable roosts

in Mexico are located and their climatic characteristics (Krisko, 2020). Therefore, it is necessary to initiate strategies to locate and evaluate these refuges before the spread of the fungus is too late.

UNDERGROUND ROOST ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND THE GROWTH OF *PSEUDOGYMNOASCUS DESTRUCTANS*

Environmental conditions within hibernacula (sites where bats enter torpor and hibernation) need to be evaluated because they can modulate the prevalence and impact of *P. destructans* on bats (Langwig et al., 2012). *P. destructans* is a psychrophilic fungus (Gargas et al., 2009). The main factors for the growth of the fungus are high humidity and temperate temperature (Langwig et al., 2012). The fungus prefers a relative humidity >90%. Its optimum temperature is between 12.5 °C and 15.8 °C, where it can grow and function normally. The decline of its colonies begins when the environment reaches its upper critical temperature between 19.0 °C and 19.8 °C. As the temperature increases, the morphology of the fungus changes, deforms, and is destroyed rapidly (Verant et al., 2012). The normal microscopic morphology of this fungus consists of curved conidia with a thick wall and an erect, hyaline, smooth, narrow, and thin wall (Chaturvedi et al., 2010; Blehert and Lankau, 2022). The temperature and humidity parameters preferred by the fungus are similar to those found in the roosts used during bat hibernation, moreover, such conditions are similar to those of the bat body during torpor (Cryan et al., 2010).

SPREAD OF WHITE-NOSE SYNDROME

Since its first record in 2006, the disease began to spread rapidly. In the first five years, its presence was reported in northern Maine, southern Alabama, and western Oklahoma (Maher et al., 2012). Just 3 years later, in 2010, it had also been detected in Vermont, Massachusetts, New Jersey, Connecticut, Pennsylvania, New Hampshire, Delaware, Virginia, West Virginia, Tennessee, Missouri, Oklahoma, Ontario, and Quebec (Foley et al., 2011). By 2014 it had advanced more than two thousand kilometers from its epicenter (Alves et al., 2014). Currently, WNS has been confirmed in 40 U.S.A. states and eight Canadian provinces, and new detections of *P. destructans* and WNS are reported each year (White-Nose Syndrome Response Team, 2025). The spread of WNS has exceeded all predictions made. States that were thought to be infected within decades have already been confirmed. The spread of the fungus is approximately 200-900 km per year, and it is expected that in the next few years, WNS will reach all or nearly all hibernacula in the U.S. and Canada (Hoyt et al.,



Figure 7. Sierra Madre Oriental: mountain range with high availability of subway refuges. Photograph by Ricardo Quirino.

2021). With such a wide and alarming spread it is difficult to think of a scenario in which Mexico would not be vulnerable to WNS if it borders the U.S.A. and shares some of the species already confirmed (Escobar et al., 2014).

To predict where WNS will be distributed in the future the climate outside and inside the roosts must be taken into account. The microclimate of the underground roosts (i.e., caves, mines, or lava tubes) depends on factors such as the depth of the roost, topographic elements, airflow patterns, and water infiltration, which can only be assessed *in situ*, limiting the possibility of making reliable projections (Perry, 2013). However, projections show that Mexico, due to climatic factors, has potential areas to host the WNS (Gómez-Rodríguez et al., 2022). Areas considered at risk can be monitored around the highlands including the Baja California Peninsula, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental (Fig. 7), and the Trans-Mexican Volcanic Belt. This is because those regions maintain temperatures low enough for the proliferation and dissemination of *P. destructans* (Gómez-Rodríguez et al., 2022).

It was believed that bat colonies in more temperate regions such as Mexico would never develop the fungus, but cases such as those in South Carolina, Tennessee, Georgia, Alabama, and Texas, which have already been affected by WNS contradict this idea (Krisko, 2020). One reason is that *P. destructans* can survive in the skin of bats at temperatures up to 37°C for long periods. This allows *P. destructans* to spread in areas with temperate and even warm temperatures (Campbell et al., 2020).

In addition, it has been hypothesized that karst areas may serve as bridges for the spread of WNS. Most likely, *P. destructans* will be introduced to the karst regions of Mexico soon by migratory colonies of *Tadarida brasiliensis* (Krisko, 2020). Another way to predict the likely spread of WNS to Mexico is by examining the bat species shared with the U.S. that have tested positive for the disease. Although ecological niche modeling may be one way that could

help predict the dispersal route of the fungus, it does not allow verification of presence, and fieldwork is necessary (Gómez-Rodríguez et al., 2022).

FINAL CONSIDERATIONS

Today, Mexico continues without any positive records for *P. destructans* or WNS. There are a large number of caves in Mexico with similar climatic characteristics and with the same species that have been recorded as positive for WNS in the U.S. and Canada. It is therefore crucial to carry out monitoring to record its probable arrival, record its presence, and mitigate its spread before it can reach other roosts (Langwig et al., 2015; Bernard and McCracken, 2017; Campbell et al., 2020). We are currently facing a major problem due to the lack of information on the whereabouts of vulnerable hibernacula in Mexico for WNS. We show that proactive monitoring and mitigation strategies are crucial to prevent the introduction and spread of WNS in Mexican bat populations. We make an urgent call to search for the WNS and understand the environmental conditions within hibernacula and the vulnerability of local bat species. Without effective interventions, Mexico's bat populations could face catastrophic declines. It is necessary to start monitoring in Mexico to detect its presence before it spreads to other roosts.

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to the institutions that have financed our cave and bat research (Fundación RIISA, Comunidad H.E.B), to Hábitats Resilientes A.C. (project CNI 002) for their support and for providing the facilities to work in the field with bats and caves. Also, to all the people who have supported us in the field: R. Quirino, O. Sol., H. Gallardo, and J. Rosas. To the communities of southern Nuevo León and to the Asociación Coahuilense de Espeleología A.C., who have allowed us to talk about the importance of caring for caves and bats.

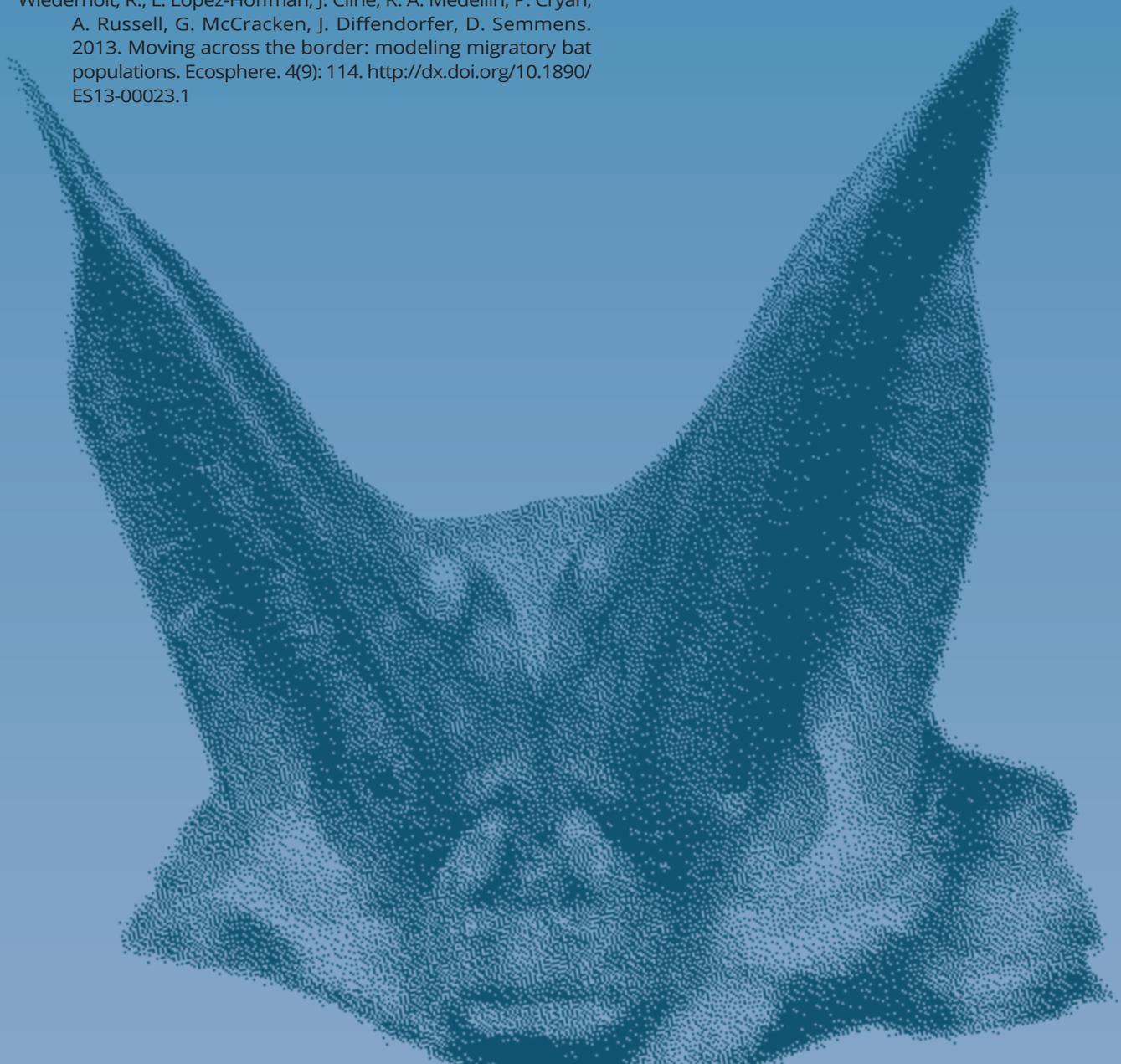


LITERATURE CITED

- Alves, D.M.C.C., L.C. Terribile, D. Brito. 2014. The Potential Impact of White-Nose Syndrome on the Conservation Status of North American Bats. *PLoS ONE*. 9(9): e107395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107395>
- Bagstad, K.J., R. Wiederholt. 2013. Tourism Values for Mexican Free-Tailed Bat Viewing. *Human Dimensions of Wildlife: An International Journal*. 18(4): 307-311. <http://dx.doi.org/10.1080/10871209.2013.789573>
- Bernard, R.F., G.F. McCracken. 2017. Winter behavior of bats and the progression of white-nose syndrome in the southeastern United States. *Ecology and evolution*. 7(5): 1487-1496. <https://doi.org/10.1002/ece3.2772>
- Bleher, D., E. Lankau. 2022. *Pseudogymnoascus destructans* (white-nose syndrome fungus). *CABI Compendium*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.119002>
- Bleher, D.S., A.C. Hicks, M. Behr, C.U. Meteyer, B.M. Berlowski-Zier, E.L. Buckles, J.T. Coleman, S.R. Darling, A. Gargas, R. Niver, J.C. Okoniewski, R.J. Rudd, W.B. Stone. 2009. Bat white-nose syndrome: an emerging fungal pathogen?. *Science*. 323(5911): 227. <https://doi.org/10.1126/science.1163874>
- Bouma, H.R., H.V. Carey, F.G. Kroese. 2010. Hibernation: the immune system at rest?. *Journal of leukocyte biology*. 88(4): 619-624. <https://doi.org/10.1189/jlb.0310174>
- Campbell, L.J., D.P. Walsh, D.S. Bleher, J.M. Lorch. 2020. Long-term survival of *Pseudogymnoascus destructans* at elevated temperatures. *Journal of wildlife diseases*. 56(2): 278-287. <https://www.jwildlifedis.org/doi/abs/10.7589/2019-04-106>
- Chaturvedi, V., D.J. Springer, M.J. Behr, R. Ramani, X. Li, M.K. Peck, P. Ren, D.J. Bopp, B. Wood, W.A. Samsonoff, C.M. Butchkoski, A.C. Hicks, W.B. Stone, R.J. Rudd, S. Chaturvedi. 2010. Morphological and molecular characterizations of psychrophilic fungus *Geomyces destructans* from New York bats with White Nose Syndrome (WNS). *PloS one*. 5(5): e10783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010783>
- Cheng, T.L., J.D. Reichard, J.T.H. Coleman, T.J. Weller, W.E. Thogmartin, B.E. Reichert, A.B. Bennett, H.G. Broders, J. Campbell, K. Etchison, D.J. Feller, R. Geboy, T. Hemberger, C. Herzog, A.C. Hicks, S. Houghton, J. Humber, J.A. Kath, R.A. King, S.C. Loeb, A. Massé, K.M. Morris, H. Niederriter, G. Nordquist, R.W. Perry, R.J. Reynolds, D.B. Sasse, M.R. Scafani, R.C. Stark, C.W. Stihler, S.C. Thomas, G.G. Turner, S. Webb, B.J. Westrich, W.F. Frick. 2021. The scope and severity of white-nose syndrome on hibernating bats in North America. *Conservation Biology*. 35(5): 1586-1597. <https://doi.org/10.1111/cobi.13739>
- Cryan, P.M., C.U. Meteyer, J.G. Boyles, D.S. Bleher. 2010. Wing pathology of white-nose syndrome in bats suggests life-threatening disruption of physiology. *BMC Biol*. 8(135). <https://doi.org/10.1186/1741-7007-8-135>
- Cryan, P.M., C.U. Meteyer, J.G. Boyles, D.S. Bleher. 2013. White-nose syndrome in bats: illuminating the darkness. *BMC biology*. 11(47): 1-4. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-11-47>
- Davis, M.J. 1988. Control of bat wing capillary pressure and blood flow during reduced perfusion pressure. *The American journal of physiology*. 255(5): H1114-H1129. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1988.255.5.H1114>
- Drees, K.P., J.M. Lorch, S.J. Puechmaille, K.L. Parise, G. Wibbelt, J.R. Hoyt, K. Sun, A. Jargalsaikhan, M. Dalannast, J.M. Palmer, D.L. Lindner, A. Marm Kilpatrick, T. Pearson, P.S. Keim, D.S. Bleher, J.T. Foster. 2017. Phylogenetics of a fungal invasion: origins and widespread dispersal of white-nose syndrome. *mBio* 8(6): e01941-17. <https://doi.org/10.1128/mBio.01941-17>
- Escobar, L.E., A. Lira-Noriega, G. Medina-Vogel, P.A. Townsend. 2014. Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial health*. 9(1): 221-229. <https://doi.org/10.4081/gh.2014.19>
- Foley, J., D. Clifford, K. Castle, P. Cryan, R.S. Ostfeld. 2011. Investigating and managing the rapid emergence of white-nose syndrome, a novel, fatal, infectious disease of hibernating bats. *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology*. 25(2): 223-231. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01638.x>
- Frank, E. G. 2024. The economic impacts of ecosystem disruptions: Costs from substituting biological pest control. *Science*. 385(6713): eadg0344. <https://doi.org/10.1126/science.adg0344>
- Frick, W. F., T.L. Cheng, K.E. Langwig, J.R. Hoyt, A.F. Janicki, K.L. Parise, J.T. Foster, A.M. Kilpatrick. 2017. Pathogen dynamics during invasion and establishment of white-nose syndrome explain mechanisms of host persistence. *Ecology*. 98(3): 624-631. <https://doi.org/10.1002/ecy.1706>
- Frick, W.F., J.F. Pollock, A.C. Hicks, K.E. Langwig, D.S. Reynolds, G.G. Turner, C.M. Butchkoski, T.H. Kunz. 2010. An emerging disease causes regional population collapse of a common North American bat species. *Science*. 329(5992): 679-682. <https://doi.org/10.1126/science.1188594>
- Frick, W.F., T. Kingston, J. Flanders. 2020. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1469(1): 5-25. <https://doi.org/10.1111/nyas.14045>

- Fritz, G. 2013. Hibernation. *Current Biology*. 23(5): 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.01.062>
- Gándara, G., A.N. Correa-Sandoval, C.A. Hernández-Cienfuegos. 2006. Valoración económica de los servicios ecológicos que prestan los murciélagos "*Tadarida brasiliensis*" como controladores de plagas en el norte de México. Working Papers 20065, Escuela de Graduados en Administración Pública y Políticas Públicas, Campus Monterrey.
- Gargas, A., T.M. Trest, M. Christensen, T.J. Volk, D.S. Blehert. 2009. *Geomyces destructans* sp. nov. associated with bat white-nose syndrome. *Mycotaxon*. 108: 147–154. <https://doi.org/10.5248/108.147>
- Ghanem, S.J., C.C. Voigt. 2012. Increasing Awareness of Ecosystem Services Provided by Bats. In: Brockmann H.J., T.J. Roper, M. Naguib, J.C. Mitani, L.W. Simmons (Eds.). *Advances in the Study of Behavior*. Academic Press. 44: 279–302.
- Gómez-Rodríguez, R.A., V. Sánchez-Cordero, D. Boyer, J.E. Schondube, A. Rodríguez Moreno, G. Gutiérrez-Granados. 2022. Risk of infection of white-nose syndrome in North American vespertilionid bats in Mexico. *Ecological Informatics*. 72: 101869. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101869>
- Hallam, T.G., P. Federico. 2012. The panzootic white-nose syndrome: an environmentally constrained disease?. *Transboundary and emerging diseases*. 59(3): 269–278. <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2011.01268.x>
- Hoyt, J.R., A.M. Kilpatrick, K.E. Langwig. 2021. Ecology and impacts of white-nose syndrome on bats. *Nature reviews. Microbiology*. 19(3): 196–210. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00493-5>
- Humphrey, S.R. 1975. Nursery Roosts and Community Diversity of Nearctic Bats. *Journal of Mammalogy*. 56(2): 321–346.
- IUCN. 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-2. In: <https://www.iucnredlist.org> (Accessed on 10/01/2024).
- Krisko, W.L. 2020. Modeling The Spread Of *Pseudogymnoascus Destructans* In Texas And Mexican Karst Regions. Master of science. Texas A&M University. 55pp
- Kunz, T.H., E. Braun de Torrez, D. Bauer, T. Lobo, T.H. Fleming. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1223: 1–38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>
- Langwig, K.E., W.F. Frick, J.T. Bried, A.C. Hicks, T.H. Kunz, A.M. Kilpatrick. 2012. Sociality, density-dependence and microclimates determine the persistence of populations suffering from a novel fungal disease, white-nose syndrome. *Ecology letters*. 15(9): 1050–1057. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01829.x>
- Langwig, K.E., W.F. Frick, R. Reynolds, K.L. Parise, K.P. Drees, J.R. Hoyt, T.L. Cheng, T.H. Kunz, J.T. Foster, A.M. Kilpatrick. 2015. Host and pathogen ecology drive the seasonal dynamics of a fungal disease, white-nose syndrome. *Proceedings. Biological sciences*. 282(1799): 20142335. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2335>
- Leopardi, S., D. Blake, S.J. Puechmaile. 2015. White-Nose Syndrome fungus introduced from Europe to North America. *Current biology*. 25(6): R217–R219. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.01.047>
- Lilley, T.M., J.S. Johnson, L. Ruokolainen, E.J. Rogers, C.A. Wilson, S.M. Schell, K.A. Field, D.M. Reeder. 2016. White-nose syndrome survivors do not exhibit frequent arousals associated with *Pseudogymnoascus destructans* infection. *Frontiers in Zoology*. 13(12). <https://doi.org/10.1186/s12983-016-0143-3>
- Loeb, S.C., E.A. Winters. 2022. Changes in hibernating tricolored bat (*Perimyotis subflavus*) roosting behavior in response to white-nose syndrome. *Ecology and Evolution*. 12(7): e9045. <https://doi.org/10.1002/ece3.9045>
- Lorch, J.M., L.K. Muller, R.E. Russell, M. O'Connor, D.L. Lindner, D.S. Blehert. 2012. Distribution and environmental persistence of the causative agent of white-nose syndrome, *Geomyces destructans*, in bat hibernacula of the eastern United States. *Applied and environmental microbiology*. 79(4): 1293–1301.
- Magnino, M.Z., K.A Holder, S.A Norton. 2021. White-nose syndrome: A novel dermatomycosis of biologic interest and epidemiologic consequence. *Clinics in dermatology*. 39(2): 299–303. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2020.07.005>
- Maher, S.P., A.M. Kramer, J.T. Pulliam, M.A. Zokan, S.E. Bowden, H.D. Barton, K. Magori, J.M. Drake. 2012. Spread of white-nose syndrome on a network regulated by geography and climate. *Nature communications*. 3: 1306. <https://doi.org/10.1038/ncomms2301>
- Mayberry, H.W., L.P. McGuire, C.K.R. Willis. 2018. Body temperatures of hibernating little brown bats reveal pronounced behavioural activity during deep torpor and suggest a fever response during white-nose syndrome. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology*. 188(2): 333–343. <https://doi.org/10.1007/s00360-017-1119-0>
- Meteyer, C.U., D. Barber, J.N. Mandl. 2012. Pathology in euthermic bats with white nose syndrome suggests a natural manifestation of immune reconstitution inflammatory syndrome. *Virulence*. 3(7): 583–588. <https://doi.org/10.4161/viru.22330>
- Metzner, W. 1991. Echolocation behaviour in bats. *Science Progress (1933-)*. 75(298): 453–65. <http://www.jstor.org/stable/43421284>
- Minnis, A.M., D.L Lindner. 2013. Phylogenetic evaluation of *Geomyces* and allies reveals no close relatives of *Pseudogymnoascus destructans*, comb. nov., in bat hibernacula of eastern North America. *Fungal Biology*. 117(9): 638–649. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2013.07.001>
- National Wildlife Health Center. 2022. Bat White-Nose Syndrome (WNS)/Pd Surveillance Submission Guidelines Winter 2022/2023 (November – May). USGS-National Wildlife Health Center.
- O'Keefe, J.M., J.L. Pettit, S.C. Loeb, W.H. Stiver. 2019. White-nose syndrome dramatically altered the summer bat assemblage in a temperate Southern Appalachian forest. *Mammalian Biology*. 98: 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2019.09.005>
- O'Donoghue, A.J., G.M. Knudsen, C. Beekman, J.A. Perry, A.D. Johnson, J.L. DeRisi, C.S. Craik, R.J. Bennett. 2015. Destructin-1 is a collagen-degrading endopeptidase secreted by *Pseudogymnoascus destructans*, the causative agent of white-nose syndrome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 112(24): 7478–7483. <https://doi.org/10.1073/pnas.1507082112>
- Perea, S., J.A. Yearout, E.A. Ferrall, K.M. Morris, J.T. Pynne, S.B. Castleberry. 2022. Seven-year impact of white-nose syndrome on tri-colored bat (*Perimyotis subflavus*) populations in Georgia, USA. *Endang Species Res*. 48:99–106. <https://doi.org/10.3354/esr01189>
- Perry, R.W. 2013. A review of factors affecting cave climates for hibernating bats in temperate North America. *Environmental Reviews*. 21: 28–39. <https://doi.org/10.1139/er.2012-0042>
- Ramírez-Francel, L.A., L.V. García-Herrera, S. Losada-Prado, G. Reinoso-Flórez, A. Sánchez-Hernández, S. Estrada-Villegas, B.K. Lim, G. Guevara. 2022. Bats and their vital ecosystem services: a global review. *Integrative zoology*. 17(1): 2–23. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12552>
- Reeder, D.M., C.L. Frank, G.G. Turner, C.U. Meteyer, A. Kurta, E.R. Britzke, M.E. Vodzak, S.R. Darling, C.W. Stihler, A.C. Hicks, R. Jacob, L.E. Grieneisen, S.A. Brownlee, L.K. Muller, D.S. Blehert. 2012. Frequent Arousal from Hibernation Linked to Severity of Infection and Mortality in Bats with White-Nose Syndrome. *PLoS ONE*. 7(6): e38920. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038920>
- Reichard, J.D., T.H. Kunz. 2009. White-Nose Syndrome Inflicts Lasting Injuries to the Wings of Little Brown Myotis (*Myotis lucifugus*). *Acta Chiropterologica*. 11(2): 457–464. <https://doi.org/10.3161/150811009X485684>
- Simmons, N.B., A.L. Cirranello. 2024. Bat Species of the World: A taxonomic and geographic database. Version 1.5. In: <https://batnames.org> (consultado el 09/05/2024).

- Solari, S. 2019. *Myotis yumanensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T14213A22068335. In: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T14213A22068335> (Accessed on 10/01/2025).
- Turner, G.G., B.J. Sewall, M.R. Scafani, T.M. Lilley, D. Bitz, J.S. Johnson. 2022. Cooling of bat hibernacula to mitigate white-nose syndrome. *Conservation biology: the journal of the Society for Conservation Biology*. 36(2): e13803. <https://doi.org/10.1111/cobi.13803>
- Turner, G.G., D.M. Reeder, J.T.H. Coleman. 2011. A five-year assessment of mortality and geographic spread of white-nose syndrome in North America bats and a look to the future. *Bat Research News*. 52(2): 13–27.
- Verant, M.L., J.G. Boyles, W. Jr. Waldrep, G. Wibbelt, D.S. Blehert. 2012. Temperature Dependent Growth of *Geomyces destructans*, the Fungus That Causes Bat White-Nose Syndrome. *PLoS ONE*. 7(9): e46280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046280>
- Warnecke, L., J.M. Turner, T.K. Bollinger, V. Misra, P.M. Cryan, D.S. Blehert, G. Wibbelt, C.K.R. Willis. 2013. Pathophysiology of white-nose syndrome in bats: a mechanistic model linking wing damage to mortality. *Biol Lett*. 9(4): 20130177. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2013.0177>
- White-Nose Syndrome Response Team. 2025. Where is WNS Now?. In: <https://www.whitenosesyndrome.org/where-is-wns> (Accessed on 10/01/2025)
- Wibbelt, G. 2018. White-Nose Syndrome in Hibernating Bats. In: Seyedmousavi, S., G. de Hoog, J. Guillot, P. Verweij (Eds). *Emerging and Epizootic Fungal Infections in Animals*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72093-7_13
- Wiederholt, R., L. López-Hoffman, J. Cline, R. A. Medellín, P. Cryan, A. Russell, G. McCracken, J. Diffendorfer, D. Semmens. 2013. Moving across the border: modeling migratory bat populations. *Ecosphere*. 4(9): 114. <http://dx.doi.org/10.1890/ES13-00023.1>





DENGUE, ZIKA Y CHIKUNGUNYA:

ARBOVIRUS TRANSMITIDOS POR MOSQUITOS *Aedes* SP. CON IMPORTANCIA PARA LA SALUD PÚBLICA EN MÉXICO

CLAUDIA FERNANDA CARRILLO-CHAN¹, ANTONIO RIVERO-JUÁREZ², HENRY PUERTA-GUARDO^{3,4}, PABLO MANRIQUE-SAIDE⁴, MARCO ANTONIO TORRES-CASTRO^{1*}



¹Laboratorio de Zoonosis y otras Enfermedades Transmitidas por Vector, Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

²Grupo de Virología Clínica y Zoonosis, Unidad de Enfermedades Infecciosas, Instituto Maimónides de Investigación Biomédica de Córdoba, Hospital Reina Sofía, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

³Laboratorio de Virología, Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

⁴Unidad Colaborativa para Bioensayos Entomológicos, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México

*antonio.torres@correo.uady.mx



Figura 1: Mosquito hembra *Aedes aegypti*. Imagen de libre acceso (<https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=26049>). Crédito: Lauren Bishop

RESUMEN

En el presente artículo se exponen las principales características de los Arbovirus (Dengue, Zika y Chikungunya) más importantes a nivel mundial debido a que han generado brotes y epidemias. Estos virus tienen una amplia distribución en varios países de América, incluyendo México, donde son transmitidos en zonas urbanizadas y rurales por mosquitos *Aedes* sp. que se distribuyen principalmente en áreas con climas tropicales y subtropicales.

ABSTRACT

This article presents several characteristics of the most important Arboviruses (dengue, Zika, and chikungunya) worldwide because they have generated outbreaks and epidemics. These viruses have a wide distribution in several countries in America, including Mexico, where they are transmitted in urbanized and rural areas by *Aedes* sp mosquitoes, which are mainly distributed in regions with tropical and subtropical climates.



Palabras clave: Arbovirus, enfermedades transmitidas por mosquitos, salud pública, vectores biológicos, virus.

Key words: Arboviruses, biological vectors, mosquito-borne diseases, public health, viruses.

INTRODUCCIÓN

Los Arbovirus (abreviación del inglés ‘*arthropod-borne viruses*’, es decir, ‘virus transmitidos por artrópodos’) son un grupo de virus que causan enfermedades, conocidas como arbovirosis, en humanos y animales domésticos y silvestres. Estos virus se transmiten por picaduras de artrópodos hematófagos como mosquitos, garrapatas y flebotomos (Young, 2018), aunque para el Virus Zika (ZIKV), también ha sido reportada la transmisión vía sexual de persona a persona (Moreira *et al.*, 2017). En los últimos años, la importancia de este grupo de virus se debe a epidemias que han llevado a declaraciones de emergencia para la salud pública y alertas epidemiológicas a nivel internacional, incluyendo las Américas y México (Betancourt-Cravioto y Falcón-Lezama, 2020).

Existen aproximadamente 600 Arbovirus distribuidos en cinco familias (*Flaviviridae*, *Togaviridae*, *Reoviridae*, *Peribunyaviridae* y *Rhabdoviridae*) y cinco géneros (*Flavivirus*, *Alphavirus*, *Orbivirus*, *Orthobunyavirus* y *Vesiculovirus*) virales (Young, 2018; Viglietta *et al.*, 2021). De todos ellos, alrededor de 150 han sido identificados como causantes de arbovirosis en humanos y 50 en animales (Madewell, 2020).

El 5 de diciembre del 2023, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) emitieron una alerta epidemiológica contra el Virus Dengue (DENV) en las Américas por 1) la alta actividad del virus en la subregión del Istmo Centroamericano (formado por Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) y México, 2) el inicio de la temporada de mayor circulación del virus en el hemisferio sur del continente, y 3) la identificación de serotipos, principalmente DENV-3, que no circularon en años anteriores en algunas áreas (OPS, OMS, 2023). El 16 de febrero de ese mismo año, ambas organizaciones reiteraron la alerta sanitaria para reforzar las acciones de control del mosquito *Aedes aegypti* (principal vector) (Fig. 1) y continuar con la vigilancia, el diagnóstico y tratamiento de los pacientes, considerando el incremento de los casos en las primeras semanas del 2024 en casi todos los países afectados (OPS, OMS, 2024).

El objetivo es describir los aspectos y características generales, como son los vectores biológicos y sus medidas de control, el ciclo de transmisión y su importancia para la salud pública, de los principales Arbovirus, DENV, ZIKV y Virus Chikungunya (CHIKV), transmitidos por mosquitos *Aedes sp.* en México.

PRINCIPALES ARBOVIRUS TRANSMITIDOS POR MOSQUITOS *Aedes sp.*

Los Arbovirus con la distribución más extensa en el mundo son DENV, ZIKV y CHIKV. La mayor cantidad de casos se reportan en habitantes de zonas tropicales y subtropicales de países de América, Asia y África, donde su circulación es endémica porque las condiciones ecológicas, ambientales y sociodemográficas favorecen la proliferación de los mosquitos vectores y la transmisión de los virus durante todo el año (Madewell, 2020; Segura *et al.*, 2021; Manrique-Saide, 2023). Además de los vectores biológicos, estos virus comparten otros elementos de su epidemiología como las vías (vectorial) y los mecanismos de transmisión (picadura) (Segura *et al.*, 2021), y su capacidad de generar casos sin síntomas evidentes y coinfecciones en habitantes de lugares endémicos (Eligio-García *et al.*, 2020).

En las personas afectadas, las infecciones con estos Arbovirus provocan, en casi todos los casos, dolor muscular, fiebre y malestar general (Guerbois *et al.*, 2016; Torres-Castro y Puerto, 2016; Ananth *et al.*, 2020). Sin embargo, los casos complicados pueden ser letales como el dengue hemorrágico y, algunas veces, chikungunya (Ananth *et al.*, 2020; Madewell, 2020; de Souza *et al.*, 2024).

Virus Dengue, ZIKV y CHIKV han ocasionado brotes y epidemias en varias partes de México (Guerbois *et al.*, 2016; Lubinda *et al.*, 2019; Manrique-Saide, 2023), por lo que son reconocidos por causar las tres enfermedades transmitidas por vector (ETV) con la distribución más amplia y el mayor número de casos registrados cada año (Lubinda *et al.*, 2019; Torres-Castro *et al.*, 2020; Manrique-Saide, 2023), sobre todo, en áreas urbanas en estados del sur y sureste donde zonas con una transmisión alta y prolongada de estos virus han sido identificadas como *hotspots* (“puntos calientes”) (Dzul-Manzanilla *et al.*, 2021). Las enfermedades se conocen coloquialmente como fiebre por dengue (o simplemente dengue), zika o chikungunya, respectivamente.

En la región tropical de México, que incluye la península de Yucatán, ocurren cambios en el entorno por acción del humano que han generado la fragmentación del hábitat natural, junto con un aumento del riesgo para la transmisión de distintas ETV (Canché-Pool *et al.*, 2022), incluidos estas arbovirosis. De igual manera, muchos aspectos sociodemográficos, como la pobreza, hacinamiento y las malas medidas y prácticas de higiene comunitaria de algunas zonas urbanas han ayudado al aumento de las poblaciones de mosquitos *Aedes sp.*, lo que ha propiciado mayores tasas de contagio en habitantes de la región (Manrique-Saide, 2023).

Para el caso de dengue, en el 2020, la OPS notificó 2,331,840 casos en América, de los cuales 120,639 se reportaron en México que en ese año fue declarado como uno de los países con el mayor número de casos, solo por debajo de Brasil y Paraguay, y donde se identificó la circulación conjunta de los cuatro serotipos de DENV (DENV-1, -2, -3 y -4) (Dzul-Manzanilla *et al.*, 2021; OPS, 2024). En el 2023, se identificó en México un brote de dengue con altas tasas de incidencia (448.47 casos/100 mil habitantes) que ocasionó más de 50,000 casos en el país, de los cuales más del 50% (30,624 casos) ocurrieron en Veracruz (10,480 casos), Yucatán (10,460 casos), Quintana Roo (5,163 casos), Tabasco (2,589 casos) y Campeche (1,932 casos). En este brote también se detectó la circulación de los cuatro serotipos de DENV, así como un aumento en las infecciones severas con tasa de letalidad del 0.79% (SSA, 2024a).

Por otro lado, desde que el primer caso autóctono, es decir, caso de origen local, de chikungunya fue reportado en diciembre del 2013 en América, específicamente en las islas de San Martín, este virus se extendió rápidamente por la mayor parte de la región (Vargas *et al.*, 2018) con casi 3.7 millones de casos confirmados en 50 países y territorios del continente, incluidos Norteamérica y México (de Souza *et al.*, 2024). En este sentido, en el 2020, fueron notificados 103,046 casos de CHIKV en América (OPS, 2024). Particularmente en Norteamérica, se reportaron 12,172 casos, y en México 12,304 casos, principalmente en Yucatán, Quintana Roo, Coahuila, Durango, Morelos, Nayarit y Oaxaca (Cortes-Escamilla *et al.*, 2018; Red CELAC, 2020; de Souza *et al.*, 2024).

Actualmente, se ha identificado la presencia de anticuerpos IgG contra CHIKV en adultos y niños de México, con una tasa estimada de infecciones sintomáticas del 51%, por lo que se concluye que la fiebre por chikungunya sigue presente en el país (Méndez *et al.*, 2017).

Por su parte, ZIKV se identificó por primera vez en 1947 en el bosque de Zika (Uganda, África). Se descubrió accidentalmente en un mono *Rhesus* sp. en un estudio sobre fiebre amarilla (Dick *et al.*, 1952; Torres-Castro y Puerto, 2016). Antes de llegar a América, este virus causó epidemias en las islas de Micronesia, seguidas de distintas islas del Pacífico, incluyendo las Polinesias Francesas, Nueva Caledonia, Islas Cook, Tahití e Isla de Pascua (Faria *et al.*, 2016).

El ZIKV impactó a América en 2015, con un primer caso de transmisión autóctona identificado a finales de 2014 en Chile (Isla de Pascua) (PAHO, 2015; Faria *et al.*, 2016), seguido de un aumento considerable de casos que inició en Brasil (2015) y se extendió por todo el continente, donde impactó significativamente en

mujeres embarazadas (causando daños importantes en recién nacidos) y adultos mayores (Zhang *et al.*, 2017). En el 2020, 17 países de América notificaron un total de 22,978 casos de ZIKV, de los cuales 2,749 fueron confirmados por laboratorio (OPS, 2024). En México, en el 2021, se notificaron 35 casos en Morelos y Sinaloa (SSA, 2022), desde entonces los reportes de casos han disminuido, por lo que, en 2023 se registraron 29 casos en Guerrero, Morelos y Quintana Roo, y hasta principios de marzo de 2024, no había reportes (SSA, 2024b). En Yucatán, se han identificado casos en mujeres embarazadas (Romer *et al.*, 2019), así como defectos en recién nacidos de madres que contrajeron el virus durante el embarazo (Contreras-Capetillo *et al.*, 2018).

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES ARBOVIRUS CON IMPORTANCIA PARA LA SALUD PÚBLICA. CICLO DE TRANSMISIÓN

El ciclo de transmisión de estos Arbovirus comienza cuando 1) el mosquito hembra se infecta con algún virus cuando consume sangre de un hospedero vertebrado infectado, en el momento preciso en que el virus está en su sistema circulatorio (fase aguda virémica o febril). 2) El virus ingresa al organismo del mosquito e inicia el periodo extrínseco de la transmisión donde primero afecta el intestino medio y el aparato digestivo de donde sale a la hemolinfa y 3) se propaga hacia otros tejidos y órganos, incluidas las glándulas salivales donde el virus se reproduce en un proceso conocido como amplificación o replicación que es cuando el mosquito no puede transmitir el virus a otro hospedero. Después de la amplificación, el virus es transmitido hacia un nuevo hospedero por la misma vía (vectorial) y mecanismo (picadura con saliva), iniciando nuevamente el ciclo (Viglietta *et al.*, 2021).

VIRUS DENGUE

El DENV pertenece al serocomplejo dengue, género *Flavivirus* de la familia *Flaviviridae*. Tiene forma esférica (icosaédrica) con un diámetro aproximado de 40 a 60 nanómetros (nm) y está formado por una membrana lipídica, que obtiene de las células del hospedero infectado, en la que se insertan las proteínas de membrana y envoltura (es un virus envuelto) (Fig. 2). Su genoma es de ácido ribonucleico (ARN) de polaridad positiva (+) y cadena o hebra sencilla de aproximadamente 10.7 a 11 kilobases (kb) que contiene las tres proteínas estructurales: cápside (C), membrana (M) (que tiene un precursor de membrana o PrM) y envoltura (E), y siete proteínas no estructurales (NS1, NS2A, NS2B, NS3, NS4A, NS4B y NS5) (Velandina y Castellanos, 2011; Roy y Bhattacharjee, 2021).

Tradicionalmente, existen cuatro serotipos denominados DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DENV-4 que están basados en sus propiedades antigénicas (Quintero-Gil *et al.*, 2010) y han sido identificados alrededor del mundo (Roy y Bhattacharjee, 2021). Estos serotipos generan en la persona afectada una respuesta inmune contra únicamente el serotipo infeccioso, por lo que no existe protección inmunológica cruzada (Laredo-Tiscareño *et al.*, 2012). Todos los serotipos de DENV son infecciosos para las personas; la infección puede ser desde asintomática hasta ocasionar cuadros severos o graves que acaban en la muerte del paciente por hemorragias y shock (Roy y Bhattacharjee, 2021).

El DENV es el Arbovirus más distribuido, prevalente y de rápida propagación del mundo. Se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales de aproximadamente 128 países, siendo endémico en más de 100 países de África, América y el Mediterráneo Oriental; por lo que se estima que 3.6 billones de personas están en riesgo de infectarse con DENV, donde ocasionará más de 400 millones de infecciones por año con 500,000 casos hemorrágicos graves y 22,000 muertes (Madewell, 2020; Roy y Bhattacharjee, 2021). En México, los primeros casos se identificaron en 1828 en Veracruz. Años más tarde, se creyó que se había erradicado, pero en 1967 se presentaron casos nuevos por la emergencia del mosquito vector (Arredondo-García *et al.*, 2016).

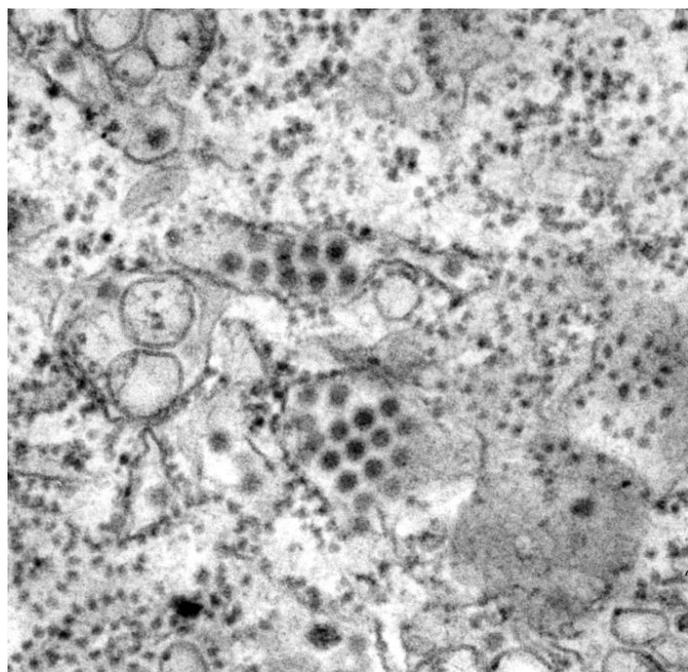


Figura 2: Imagen de microscopía electrónica de transmisión que muestra varias partículas redondas del DENV en esta muestra de tejido infectado. Imagen de libre acceso (<https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=12493>). Créditos: CDC/ Frederick Murphy

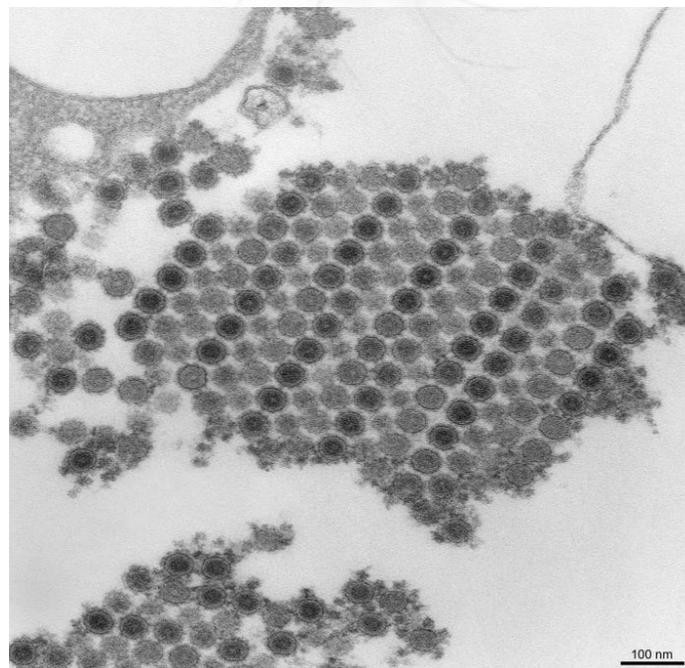


Figura 3: Imagen de microscopio electrónico de transmisión que muestra numerosas partículas del CHIKV compuestas por un núcleo denso central rodeado por una envoltura. Imagen de libre acceso (<https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=17369>). Créditos: CDC/ Cynthia Goldsmith, James A. Comer y Barbara Johnson

VIRUS CHIKUNGUNYA

El CHIKV pertenece al complejo antigénico del virus del bosque Semliki del género *Alphavirus*, grupo del Viejo Mundo, de la familia *Togaviridae*. Tiene un tamaño de genoma de 11.8 kb, es ARN de polaridad + que codifica para tres proteínas estructurales (C, E1 y E2) y cuatro proteínas no estructurales (nsP1-4). Mide de 60 a 70 nm de diámetro, tiene forma de ostra (icosaédrico) y posee dos glicoproteínas (E1 y E2) (Caglioti *et al.*, 2013), además de una bicapa lipídica (es virus envuelto) derivada de la membrana plasmática de la célula infectada del hospedero (Fig. 3) (Cervantes-Acosta y Sanjuán-Vergara, 2016). El CHIKV es sensible a la desecación y a las temperaturas mayores de 58° C (Madariaga *et al.*, 2016).

Este virus tiene un único serotipo, aunque existen variaciones, identificadas con herramientas moleculares y bioinformáticas, que se han dividido en tres genotipos o linajes virales nombrados según su origen geográfico: 1. El del oeste de África; 2. El del este/centro/sur africano (ECSA), y 3. Los genotipos epidémicos asiáticos (Restrepo-Jaramillo, 2014; Madariaga *et al.*, 2016).

El CHIKV es un virus artrítogénico (produce dolor en las articulaciones y músculos en las personas afectadas) que fue aislado por primera vez en Tailandia en 1958, aunque el primer brote fue en la República de Tanganica (hoy Tanzania) en 1953, que se caracterizó por dolores articulares incapacitantes y fiebre elevada, por lo que se le denominó en la lengua local Kimakonde: "*Chexinkonguya*"

que significa “hombre encorvado o retorcido”. A finales del 2013, se registraron los primeros casos y brotes en el continente americano, específicamente en la Isla de San Martín y rápidamente se estableció en la región del Caribe, Centroamérica y Sudamérica. En Norteamérica, la transmisión del CHIKV únicamente se ha reportado en Florida, EUA (Vu *et al.*, 2017). Actualmente, se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales de más de 60 países de Asia, África, Europa y América (Calvo *et al.*, 2021), incluido México (Torres-Castro *et al.*, 2020). En México, el primer caso de CHIKV se descubrió a finales del 2014 en el estado de Chiapas (SSA, 2015).

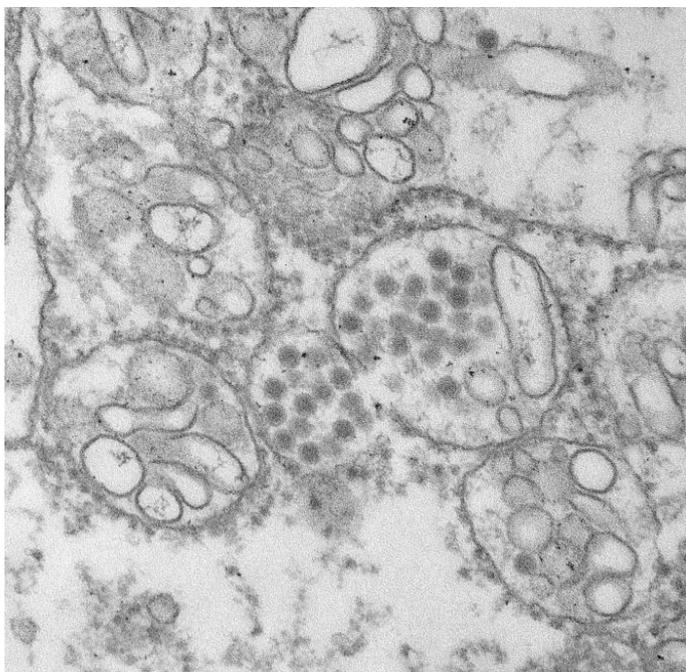


Figura 4: Imagen de microscopio electrónico que muestra numerosas partículas del ZIKV. Imagen de libre acceso (<https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=26103>). Crédito: CDC/ Cynthia Goldsmith, Rosecelis Brasil Martines

VIRUS ZIKA

El ZIKV pertenece al género *Flavivirus* de la familia *Flaviviridae*. Es un virus neurotrópico envuelto con un tamaño de genoma de 10.794 kb que comprende una molécula de ARN monocatenario (cadena sencilla) de polaridad + con dos regiones no codificantes (3' y 5' NCR) y un marco largo de lectura abierto que codifica para una poliproteína, conocida como 59-C-prM-E-NS1-NS2A-NS2BNS3-NS4A-NS4BNS5-3', además de tres proteínas estructurales (C, E y prM) y siete proteínas no estructurales (NS1, NS2A, NS2B, NS3, NS4A, NS4B y NS5) (Kazmi *et al.*, 2020).

ZIKV tiene forma esférica con un diámetro aproximado de 40 nm (Fig. 4). Hasta el momento, por medio de análisis filogenéticos, se han identificado tres linajes, dos de origen africano y uno de Asia que está presente en distintas regiones del mundo, incluido el continente

americano (Kazmi *et al.*, 2020). El ZIKV es inactivado por el permanganato de potasio, el éter y temperaturas mayores a 60° C, pero no es neutralizado con eficacia en etanol al 10% (Sánchez-González *et al.*, 2016).

Aunque se aisló por primera vez en 1947 en Uganda, África, fue hasta 1954 cuando se reportaron los tres primeros casos de infección en habitantes de Nigeria. En este mismo país, se logró aislar el virus en 1968. A partir de entonces, se registraron pocos casos en habitantes de África y Asia. En junio de 2007 se descubrieron los primeros casos fuera de estos continentes, en la isla de Yap, Estados Federados de Micronesia, ubicada en el Océano Pacífico. En febrero - mayo de 2015 llegó a América, específicamente a Brasil, desde donde se ha distribuido en 31 países como Barbados, Bolivia, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guadalupe, Guatemala, Guyana, Guayana Francesa, Haití, Honduras, Martinica, Panamá, Paraguay, Puerto Rico, la isla de San Martín, Surinam y Venezuela, entre otros. En México, existe evidencia de la circulación del ZIKV desde principios del 2015 (Díaz-Quíñonez *et al.*, 2016), aunque el primer caso confirmado por laboratorio fue hasta octubre de ese mismo año (Sánchez-González *et al.*, 2016).

Una de las características más importantes del ZIKV es que, además de la vía vectorial de transmisión, también se ha reportado contagio por prácticas sexuales sin protección, transfusiones sanguíneas y la vía vertical, es decir, de la madre infectada al feto que tiene graves consecuencias para el bebé (Sharma *et al.*, 2020).

VECTORES BIOLÓGICOS, LOS MOSQUITOS *Aedes* SP.

Se conoce como vector biológico a aquel organismo vivo capaz de transmitir o propagar microorganismos (virus, parásitos, bacterias y hongos) que ocasionan enfermedades en los hospederos susceptibles, incluyendo humanos y animales (OMS, 2024). Los más relevantes para los Arbovirus son los mosquitos *Aedes* sp., debido a varias características como la elevada cantidad de virus que pueden transmitir, su extensa distribución, riqueza (número de especies) y abundancia, y porque toleran tanto ambientes modificados por el humano, como ambientes naturales o conservados, entre otras características de adaptación (Espinoza-Gómez *et al.*, 2013).

El género *Aedes* (clase Insecta, orden Diptera, familia Culicidae y subfamilia Culicinae) es el de mayor interés para la salud pública (OMS, 2024). Dentro del género, las especies *Ae. aegypti* (conocido como “mosquito de la fiebre amarilla” o “mosquito del dengue”) y *Ae. albopictus* (conocido como “mosquito tigre asiático”) son las más importantes. En México, *Ae. aegypti* es el vector principal en la transmisión de DENV, ZIKV y CHIKV a los humanos (Díaz-

González *et al.*, 2015; Flores-Suarez *et al.*, 2016; Guerbois *et al.*, 2016; Dzul-Manzanilla *et al.*, 2016; Huerta *et al.*, 2017; Zardini *et al.*, 2024). Para *Ae. albopictus* la evidencia que apoya su papel en la transmisión es poca (García-Luna *et al.*, 2018; Huerta *et al.*, 2017), aunque se ha encontrado infectado naturalmente con DENV y ZIKV (Ibáñez-Bernal *et al.*, 1997; Huerta *et al.*, 2017; Correa-Morales *et al.*, 2019; Izquierdo-Suzán *et al.*, 2024). En México, ambos mosquitos están distribuidos en casi todo el territorio y coexisten en muchas áreas (Díaz-González *et al.*, 2015; Huerta *et al.*, 2017; Kuri-Morales *et al.*, 2017; Kirstein *et al.*, 2021; Ortega-Morales *et al.*, 2022; Izquierdo-Suzán *et al.*, 2024).

Otros Arbovirus que pueden transmitir los mosquitos *Aedes* sp. con potencial de generar brotes en México son el virus de la fiebre amarilla (YFV por sus siglas en inglés) (Torres-Castro *et al.*, 2020), el virus Mayaro (MAYV) (García-Rejon *et al.*, 2023) y el virus de la encefalitis equina venezolana (VEEV) (Torres-Castro *et al.*, 2021). Debido a esto, en el país se realiza vigilancia epidemiológica activa en estos mosquitos para evitar el ingreso y la transmisión de estos virus en las zonas más vulnerables (Kirstein *et al.*, 2021).

CONTROL DE MOSQUITOS VECTORES

En el sureste de México, mosquitos adultos de *Ae. aegypti* han sido capturados en barrios y fraccionamientos ubicados en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Mérida y sus alrededores, así como en zonas costeras de Chiapas (ej. Mazatán) y Veracruz (ej. Coatzacoalcos) (Contreras-Perera *et al.*, 2019; González-Olvera *et al.*, 2021; Navarrete-Carballo *et al.*, 2022). No obstante, el comportamiento de estos mosquitos depende de la especie; por ejemplo, *Ae. aegypti* prefiere descansar dentro de las casas, mientras que, *Ae. albopictus* prefiere descansar fuera de ellas (González-Olvera *et al.*, 2021). Este mosquito, para reproducirse, prefiere lugares con vegetación secundaria (hierba y arbustos) y desechos inorgánicos (Contreras-Perera *et al.*, 2019).

La estrecha asociación de *Ae. aegypti* con los humanos facilita su reproducción en los entornos que comparten (Morrison *et al.*, 2008; Scott y Takken, 2012). La hembra de *Ae. aegypti* tiene un comportamiento de "oviposición saltada"; es decir, no pone todos sus huevos en un solo lugar, sino que pone lotes de huevos en múltiples contenedores (Harrington y Edman, 2001). Las formas inmaduras (huevos, larvas y pupas) de los mosquitos se desarrollan en recipientes artificiales con agua, dentro y alrededor de las viviendas. Las hembras adultas son altamente antropofílicas, endófilas y endófagas. Pican durante el día y se alimentan sobre todo de sangre humana (Scott y Takken, 2012).

El control de *Aedes* (en su mayoría enfocado a *Ae. aegypti*) es clave para prevenir y controlar el dengue, chikungunya y

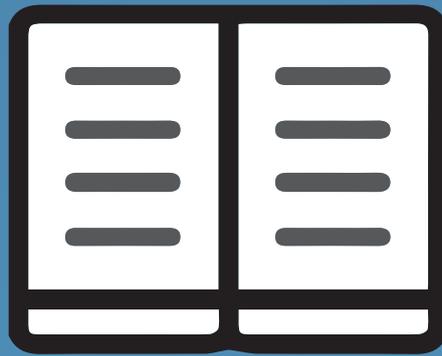
Zika, ante la falta de tratamientos y vacunas de alta eficacia y acceso universal. El control se basa en varios métodos como 1) la aplicación de larvicidas, 2) el manejo ambiental comunitario para la reducción de criaderos y 3) la fumigación espacial (desde la calle) o aplicación residual de adulticidas. El conocimiento del vector y el uso de métodos de manera preventiva, oportuna y en sinergia son pilares para el éxito del control vectorial (Perich *et al.*, 2000; Dzul-Manzanilla *et al.*, 2017).

Cuando se aplican medidas para el control de mosquitos hay que identificar los criaderos más productivos ("criaderos clave") para realizar el control enfocado, orientado y adecuado de estos y tener un mayor impacto, no sólo en poblaciones de individuos inmaduros (larvas y pupas), sino también en poblaciones de mosquitos hembra adultas, y así reducir su abundancia y el riesgo de picadura a las personas (OMS, 2011). Por ejemplo, se ha identificado que en Yucatán el control enfocado sobre "botes y cubetas" puede reducir >50% las poblaciones de pupas de *Ae. aegypti* (Manrique-Saide *et al.*, 2008; Barrera-Pérez *et al.*, 2015). Asimismo, para la aplicación eficaz de adulticidas, debe considerarse el comportamiento de los mosquitos, particularmente de descanso, dispersión en vuelo y patrones de alimentación, en el contexto del entorno local (Roiz *et al.*, 2018; Ritchie *et al.*, 2021). Recientemente, se ha propuesto complementar las acciones de control de mosquitos adultos con el rociado residual intradomiciliario (TIRS = *Targeted Indoor Residual Spraying*) porque dentro de las viviendas, *Ae. aegypti* descansa en áreas oscuras y sombreadas, sobre objetos de menos de 1.5 m de altura como armarios, camas, mesas y muebles que son atractivos para machos y hembras (Perich *et al.*, 2000; Dzul-Manzanilla *et al.*, 2017).

Finalmente, la vigilancia de *Ae. albopictus* en México (y en América Latina) ha sido insignificante en comparación con lo que se hace con *Ae. aegypti*; por lo tanto, que queda mucho por conocer de esta especie.

CONCLUSIONES

Desde su aparición en México, DENV, ZIKV y CHIKV han representado importantes problemas de salud pública, principalmente en los habitantes de estados del sureste. Estos virus ocasionan el mayor número de reportes de casos de ETV en el país. Sus vectores son mosquitos del género *Aedes*, sobre todo *Ae. aegypti* y de manera secundaria *Ae. albopictus*, por lo que se necesita más investigación en esta especie. Ambos mosquitos circulan en grandes áreas de México. Con la carencia de medidas de profilaxis (ej. vacunas) y/o terapéutico (ej. drogas antivirales) es importante conocer las características de los mosquitos para generar y aplicar medidas de prevención y control de las enfermedades que ocasionan; sin embargo, la mayor parte de las medidas están orientadas al control de *Ae. aegypti*.



LITERATURA CITADA

- Ananth, S., Shrestha, N., Treviño, C. J.A., Nguyen, U.S., Haque, U., Angulo-Molina, A., Lopez-Lemus, U.A., Lubinda, J., Sharif, R.M., Zaki, R.A., Sánchez-Casas, R.M., Cervantes, D., Nandy, R. 2020. Clinical symptoms of Arboviruses in Mexico. *Pathogens*. 9(11):964. <https://doi.org/10.3390/pathogens9110964>
- Arredondo-García, J.L., Méndez-Herrera, A., Medina-Cortina, H. 2016. Arbovirus en Latinoamérica. *Acta Pediátrica de México*. 37(2):111–131. <https://www.scielo.org.mx/pdf/apm/v37n2/2395-8235-apm-37-02-00111.pdf>
- Barrera-Pérez, M., Pavía-Ruz, N., Mendoza-Mézquita, J.E., Torres-Arcila, N., Hernández-Hernández, R., Castro-Gamboa, F., Geded-Moreno, E., Cohuo-Rodríguez, A., Medina-Barreiro, A., Koyoc-Cardena, E., Gómez-Dantés, H., Kroeger, A., Vázquez-Prokopec, G., Manrique-Saide, P. 2015. Control de criaderos de *Aedes aegypti* con el programa Recicla por tu Bienestar en Mérida Yucatán México. *Salud Pública de México*. 57(3):201-210. <https://doi.org/10.21149/spm.v57i3.7556>
- Betancourt-Cravioto, M., Falcón-Lezama, J.A. 2020. Arbovirus y salud pública. *Ciencia* 71(1):8–15. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71_1/PDF/04_71_1_1202_Arbovirus.pdf
- Caglioti, C., Lalle, E., Castilletti, C., Carletti, F., Capobianchi, M.R., Bordi, L. 2013. Chikungunya virus infection: an overview. *New Microbiologica*. 36(3):211–227. https://www.newmicrobiologica.org/PUB/allegati_pdf/2013/3/211.pdf
- Calvo, E.P., Archila, E.D., López, L., Castellanos, J.E. 2021. Rediscovering the Chikungunya virus. *Biomedica*. 41(2):353–373. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5797>
- Canché-Pool, E.B., Panti-May, J.A., Ruiz-Piña, H.A., Torres-Castro, M., Escobedo-Ortegón, F.J., Tamay-Segovia, P., Blum-Domínguez, S., Torres-Castro, J.R., Reyes-Novelo, E. 2022. Cutaneous leishmaniasis emergence in southeastern Mexico: the case of the state of Yucatan. *Tropical Medicine and Infectious Disease*. 7(12):444. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed7120444>
- Cervantes-Acosta, G., Sanjuán-Vergara, H. 2016. Virus chikungunya: Características virales y evolución genética. *Revista Salud Uninorte*. 32(2):292–301. <https://doi.org/10.14482/sun.32.2.8834>
- Cortes-Escamilla, A., López-Gatell, H., Sánchez-Alemán, M.Á., Hegevisch-Taylor, J., Hernández-Ávila, M., Alpuche-Aranda, C.M. 2018. The hidden burden of Chikungunya in central Mexico: results of a small-scale serosurvey. *Salud Pública de México*. 60(1):63–70. <https://doi.org/10.21149/9149>
- Contreras-Capetillo, S.N., Valadéz-González, N., Manrique-Saide, P., Carcaño-Castillo, R.E., Pacheco-Tugores, F., Barrera-Pérez, H.A.M., Pinto-Escalante, D., Lliteras-Cardín, M., Hoil-Parra, J.A., Cáceres-Solís, J.L., Pavía-Ruz, N. 2018. Birth defects associated with congenital Zika Virus infection in Mexico. *Clinical Pediatrics*. 57(8):927–936. <https://doi.org/10.1177/0009922817738341>
- Contreras-Perera, Y.J., Briceño-Mendez, M., Flores-Suárez, A.E., Manrique-Saide, P., Palacio-Vargas, J.A., Huerta-Jimenez, H., Martin-Park, A. 2019. New record of *Aedes albopictus* in a suburban area of Merida, Yucatan, Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 35(3):210–213. <https://doi.org/10.2987/18-6797.1>
- Correa-Morales, F., González-Acosta, C., Mejía-Zúñiga, D., Huerta, H., Pérez-Rentería, C., Vazquez-Pichardo, M., Ortega-Morales, A.I., Hernández-Triana, L.M., Salazar-Bueyes, V.M., Moreno-García, M. 2019. Surveillance for Zika in Mexico: naturally infected mosquitoes in urban and semi-urban areas. *Pathogens and Global Health*. 113(7):309–314. <https://doi.org/10.1080/20477724.2019.1706291>
- de Souza, W.M., Ribeiro, G.S., de Lima, S.T.S., de Jesus, R., Moreira, F.R.R., Whittaker, C., Sallum, M.A.M., Carrington, C.V.F., Sabino, E.C., Kitron, U., Faria, N.R., Weaver, S.C. 2024. Chikungunya: a decade of burden in the Americas. *The Lancet Regional Health – Americas*. 30:100673. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100673>
- Díaz-González, E.E., Kautz, T.F., Dorantes-Delgado, A., Malo-García, I.R., Laguna-Aguilar, M., Langsjoen, R.M., Chen, R., Auguste, D.I., Sánchez-Casas, R.M., Danis-Lozano, R., Weaver, S.C., Fernández-Salas, I. 2015. First report of *Aedes aegypti* transmission of Chikungunya Virus in the Americas. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 93(6):1325–1329. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0450>
- Díaz-Quirón, J.A., López-Martínez, I., Torres-Longoria, B., Vázquez-Pichardo, M., Cruz-Ramírez, E., Ramírez-González, J.E., Ruiz-Matus, C., Kuri-Morales, P. 2016. Evidence of the presence of the Zika virus in Mexico since early 2015. *Virus Genes*. 52(6):855–857. <https://doi.org/10.1007/s11262-016-1384-0>
- Dick, G.W., Kitchen, S.F., Haddow, A.J. 1952. Zika virus. I. Isolations and serological specificity. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 46(5):509–520. [https://doi.org/10.1016/0035-9203\(52\)90042-4](https://doi.org/10.1016/0035-9203(52)90042-4)
- Dzul-Manzanilla, F., Martínez, N.E., Cruz-Nolasco, M., Gutiérrez-Castro, C., López-Damián, L., Ibarra-López, J., Martini-Jaimes, A., Bibiano-Marín, W., Tornez-Benitez, C.,

- Vazquez-Prokopec, G.M., Manrique-Saide, P. 2016. Evidence of vertical transmission and co-circulation of chikungunya and dengue viruses in field populations of *Aedes aegypti* (L.) from Guerrero, Mexico. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 110(2):141–144. <https://doi.org/10.1093/trstmh/trv106>
- Dzul-Manzanilla, F., Ibarra-López, J., Bibiano-Marín, W., Martini-Jaimes, A., Leyva, J.T., Correa-Morales, F., Huerta, H., Manrique-Saide, P., Vazquez-Prokopec, G.M. 2017. Indoor resting behavior of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Acapulco, Mexico. *Journal of Medical Entomology*. 54(2):501–504. <https://doi.org/10.1093/jme/tjw203>
- Dzul-Manzanilla, F., Correa-Morales, F., Che-Mendoza, A., Palacio-Vargas, J., Sánchez-Tejeda, G., González-Roldán, J.F., López-Gatell, H., Flores-Suárez, A.E., Gómez-Dantes, H., Coelho, G.E., da Silva-Bezerra, H.S., Pavia-Ruz, N., Lenhart, A., Manrique-Saide, P., Vazquez-Prokopec, G.M. 2021. Identifying urban hotspots of dengue, chikungunya, and Zika transmission in Mexico to support risk stratification efforts: a spatial analysis. *The Lancet Planetary Health*. 5(5):e277–e285. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00030-9)
- Eligio-García, L., Crisóstomo-Vázquez, M.D.P., Caballero-García, M.L., Soria-Guerrero, M., Méndez-Galván, J.F., López-Cancino, S.A., Jiménez-Cardoso, E. 2020. Co-infection of Dengue, Zika and Chikungunya in a group of pregnant women from Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Preliminary data. 2019. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 14(12):e0008880. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008880>
- Espinoza-Gómez, F., Arredondo-Jiménez, J.I., Maldonado-Rodríguez, A., Pérez-Rentería, C., Newton-Sánchez, Ó.A., Chávez-Flores, E., Gómez-Ibarra, E. 2013. Distribución geográfica de mosquitos adultos (Diptera: Culicidae) en áreas selváticas de Colima, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84(2):685–689. <https://doi.org/10.7550/rmb.27184>
- Faria, N.R., Azevedo, R.D.S.D.S., Kraemer, M.U.G., Souza, R., Cunha, M.S., Hill, S.C., Thézé, J., Bonsall, M.B., Bowden, T.A., Rissanen, I., Rocco, I.M., Nogueira, J.S., Maeda, A.Y., Vasami, F.G.D.S., Macedo, F.L.L., Suzuki, A., Rodrigues, S.G., Cruz, A.C.R., Nunes, B.T., Medeiros, D.B.A., Rodrigues, D.S.G., Queiroz, A.L.N., da Silva, E.V.P., Henriques, D.F., da Rosa, E.S.T., de Oliveira, C.S., Martins, L.C., Vasconcelos, H.B., Casseb, L.M.N., Simith, D.B., Messina, J.P., Abade, L., Lourenço, J., Alcantara, L.C.J., de Lima, M.M., Giovanetti, M., Hay, S.I., de Oliveira, R.S., Lemos, P.D.S., de Oliveira, L.F., de Lima, C.P.S., da Silva, S.P., de Vasconcelos, J.M., Franco, L., Cardoso, J.F., Vianez-Júnior, J.L.D.S.G., Mir, D., Bello, G., Delatorre, E., Khan, K., Creatore, M., Coelho, G.E., de Oliveira, W.K., Tesh, R., Pybus, O.G., Nunes, M.R.T., Vasconcelos, P.F.C. 2016. Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. *Science*. 352(6283):345–349. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5036>
- Flores-Suarez, A.E., Ponce-García, G., Lopez-Monroy, B., Villanueva-Segura, O.K., Rodríguez-Sánchez, I.P., Arredondo-Jiménez, J.I., Manrique-Saide, P. 2016. Current status of the insecticide resistance in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) from Mexico. *Insecticides resistance*. 2016:99-109. <https://doi.org/10.5772/61526>
- García-Luna, S.M., Weger-Lucarelli, J., Rückert, C., Murrieta, R.A., Young, M.C., Byas, A.D., Fauver, J.R., Perera, R., Flores-Suarez, A.E., Ponce-García, G., Rodríguez, A.D., Ebel, G.D., Black, W.C. 4th. 2018. Variation in competence for ZIKV transmission by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Mexico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 12(7):e0006599. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006599>
- García-Rejón, J.E., Tzuc-Dzul, J.C., Lopez-Carrillo, K.Y., Cigarroa-Tolledo, N., Cetina-Trejo, R.C., Chi-Chim, W.A., Talavera-Aguilar, L.G., Lopez-Apodaca, L.I., Baak-Baak, C.M. 2023. Mosquito fauna in the mangroves of Yucatan, Mexico, and identification of Alphavirus RNA. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 39(2)134–137. <https://doi.org/10.2987/22-7102>
- González-Olvera, G., Morales-Rodríguez, M., Bibiano-Marín, W., Palacio-Vargas, J., Contreras-Perera, Y., Martín-Park, A., Che-Mendoza, A., Torres-Castro, M., Correa-Morales, F., Huerta-Jiménez, H., Mis-Ávila, P., Vazquez-Prokopec, G., Manrique-Saide, P. 2021. Detection of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse) in ovitraps of Mérida city, México. *Biomedica*. 41(1):153–160. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5525>
- Guerbois M., Fernandez-Salas, I., Azar, S.R., Danis-Lozano, R., Alpuche-Aranda, C.M., Leal, G., Garcia-Malo, I.R., Diaz-Gonzalez, E.E., Casas-Martinez, M., Rossi, S.L., Del Río-Galván, S.L., Sanchez-Casas, R.M., Roundy, C.M., Wood, T.G., Widen, S.G., Vasilakis, N., Weaver, S.C. 2016. Outbreak of Zika Virus infection, Chiapas state, Mexico, 2015, and first confirmed transmission by *Aedes aegypti* mosquitoes in the Americas. *Journal of Infectious Diseases*. 214(9):1349-1356. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiw302>
- Harrington, L.C., Edman, J.D. 2001. Indirect evidence against delayed “skip-oviposition” behavior by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *Journal of Medical Entomology*. 38(5):641–645. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.5.641>
- Huerta, H., González-Roldán, J.F., Sánchez-Tejeda, G., Correa-Morales, F., Romero-Contreras, F.E., Cárdenas-Flores, R., Rangel-Martínez, M.L., Mata-Rivera, J.M., Siller-Martínez, J.J., Vazquez-Prokopec, G.M., Manrique-Saide, P., Dzul-Manzanilla, F., Vázquez-Pichardo, M., Rosales-Jiménez, C., Torres-Rodríguez, M.L., Núñez-León, A., Torres-Longoria, B., López-Martínez, I., Ruíz-Matus, C., Kuri-Morales, P.A., Díaz-Quiñónez, J.A. 2017. Detection of Zika virus in *Aedes* mosquitoes from Mexico. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 111(7):328–331. <https://doi.org/10.1093/trstmh/trx056>
- Ibáñez-Bernal, S., Briseño, B., Mutebi, J.P., Argot, E., Rodríguez, G., Martínez-Campos, C., Paz, R., de la Fuente-San Román, P., Tapia-Conyer, R., Flisser, A. 1997. First record in America of *Aedes albopictus* naturally infected with dengue virus during the 1995 outbreak at Reynosa, Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*. 11(4):305–309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.1997.tb00413.x>
- Izquierdo-Suzán, M., Zavala-Guerrero, P.B., Mendoza, H., Portela-Salomão, R., Vázquez-Pichardo, M., Von-Thaden, J.J., Medellín, R.A. 2024. Mosquito (Diptera: Culicidae) diversity and arbovirus detection across an urban and agricultural landscape. *Acta Tropica*. 257:107321. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2024.107321>
- Kazmi, S.S., Ali, W., Bibi, N., Nouroz, F. 2020. A review on Zika virus outbreak, epidemiology, transmission and infection dynamics. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*. 27:5. <https://doi.org/10.1186/s40709-020-00115-4>
- Kirstein, O.D., Ayora-Talavera, G., Koyoc-Cardena, E., Chan-Espinoza, D., Che-Mendoza, A., Cohuo-Rodríguez, A., Granja-Pérez, P., Puerta-Guardo, H., Pavia-Ruz, N., Dunbar, M.W., Manrique-Saide, P., Vazquez-Prokopec, G.M. 2021. Natural Arbovirus infection rate and detectability of indoor female *Aedes aegypti* from Mérida, Yucatán, Mexico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 15(1):e0008972. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008972>
- Kuri-Morales, P., Correa-Morales, F., González-Acosta, C., Sánchez-Tejeda, G., Dávalos-Becerril, E., Juárez-Franco, M.G., Díaz-Quiñónez, A., Huerta-Jiménez, H., Mejía-Guevara, M.D., Moreno-García, M., González-Roldán, J.F. 2017. First report of *Stegomyia aegypti* (= *Aedes aegypti*) in Mexico City, Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*. 31(2):240–242. <https://doi.org/10.1111/mve.12225>
- Laredo-Tiscareño, S.V., Guo, X., Bocanegra-García, V. 2012. Virus del dengue: estructura de serotipos y epidemiología molecular. *CienciaUAT*. 6(3):27–33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441942927002>
- Lubinda, J., Treviño, C.J.A., Walsh, M.R., Moore, A.J., Hanafi-Bojd, A.A., Akgun, S., Zhao, B., Barro, A.S., Begum, M.M., Jamal, H., Angulo-Molina, A., Haque, U. 2019. Environmental suitability for *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* and the

- spatial distribution of major arboviral infections in Mexico. *Parasite Epidemiology and Control*. 6:e00116. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2019.e00116>
- Madariaga, M., Ticona, E., Resurrecion, C. 2016. Chikungunya: bending over the Americas and the rest of the world. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*. 20(2):91–98. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2015.10.004>
- Madewell, Z.J. 2020. Arboviruses and their vectors. *Southern Medical Journal*. 113(10):520–523. <https://doi.org/10.14423/SMJ.0000000000001152>
- Manrique-Saide, P., Davies, C.R., Coleman, P.G., Rebollar-Tellez, E., Che-Medoza, A., Dzul-Manzanilla, F., Zapata-Peniche, A. 2008. Pupal surveys for *Aedes aegypti* surveillance and potential targeted control in residential areas of Mérida, México. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 24(2):289–298. <https://doi.org/10.2987/5578.1>
- Manrique-Saide, P. 2023. Hacia el abordaje integral de las enfermedades transmitidas por vectores en el sur de México. *Salud Pública de México*. 65(2 mar-abr):109–111. <https://doi.org/10.21149/14706>
- Méndez, N., Baeza-Herrera, L., Ojeda-Baranda, L., Huchim-Lara, O., Gómez-Carro, S. 2017. Perfil clinicoepidemiológico de la infección por Chikungunya en casos hospitalarios atendidos en 2015 en Mérida, México. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 41:e91. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2017.91>
- Moreira, J., Peixoto, T.M., Siquiera, A.M., Lamas, C.C. 2017. Sexually acquired Zika virus: a systematic review. *Clinical Microbiology and Infection*. 23(5):296–305. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2016.12.027>
- Morrison, A.C., Zielinski-Gutierrez, E., Scott, T.W., Rosenberg R. 2008. Defining challenges and proposing solutions for control of the virus vector *Aedes aegypti*. *PLoS Medicine*. 5(3):e68. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050068>
- Navarrete-Carballo, J., Bibiano-Marín, W., Palacio-Vargas, J., Huerta-Jiménez, H., Torres-Castro, M., Arisqueta-Chable, C., Medina-Barreiro, A., Puerta-Guardo, H., Che-Mendoza, A., Martin-Park, A., Manrique-Saide, P. 2022. Mosquito species (Diptera: culicidae) collected after tropical storm cristobal in Merida, Yucatan, South-east Mexico. *International Journal of Tropical Insect Science*. 42(2):2007–2012. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00679-1>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2011. Operational guide for assessing the productivity of *Aedes aegypti* breeding sites. En: <https://tdr.who.int/publications/m/item/2011-10-31-operational-guide-for-assessing-the-productivity-of-aedes-aegypti-breeding-sites> (consultado el 02/03/2024).
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2024. Enfermedades transmitidas por vectores. En: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases> (consultado 26/09/2024).
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2024. Actualización epidemiológica anual para dengue, chikunguña y zika en 2020. En: <https://www3.paho.org/data/index.php/es/temas/indicadores-dengue/boletin-anual-arbovirosis-2020.html#:~:text=La%20incidencia%20regional%20acumulada%20de,fueron%20en%20la%20SE%2019> (consultado 15/02/2024).
- Organización Panamericana de la Salud (OPS)/Organización Mundial de la Salud (OMS). 2023. Alerta Epidemiológica - Circulación sostenida de dengue en la Región de las Américas - 5 de diciembre del 2023. En: <https://www.paho.org/es/documentos/alerta-epidemiologica-circulacion-sostenida-dengue-region-americas-5-diciembre-2023> (consultado 13/03/2024).
- Organización Panamericana de la Salud (OPS)/Organización Mundial de la Salud (OMS). 2024. Alerta Epidemiológica - Aumento de casos de dengue en la Región de las Américas - 16 de febrero del 2024. En: <https://www.paho.org/es/documentos/alerta-epidemiologica-aumento-casos-dengue-region-americas-16-febrero-2024> (consultado 13/03/2024).
- Ortega-Morales, A.I., Pérez-Rentería, C., Ordóñez-Álvarez, J., Salazar, J.A., Dzul-Manzanilla, F., Correa-Morales, F., Huerta-Jiménez, H. 2022. Update on the dispersal of *Aedes albopictus* in Mexico: 1988–2021. *Frontiers in Tropical Diseases*. 2(2021):72. <https://doi.org/10.3389/fitd.2021.814205>
- Pan American Health Organization (PAHO). 2015. Timeline – Emergence of the Zika virus in the Americas. En: <https://www.paho.org/en/timeline-emergence-zika-virus-americas> (consultado 06/03/2024).
- Perich, M.J., Davila, G., Turner, A., Garcia, A., Nelson, M. 2000. Behavior of resting *Aedes aegypti* (Culicidae: Diptera) and its relation to ultra-low volume adulticide efficacy in Panama City, Panama. *Journal of Medical Entomology*. 37(4):541–546. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-37.4.541>
- Quintero-Gil, D.C., Osorio-Benítez, J.E., Martínez-Gutiérrez, M. 2010. Competencia vectorial: consideraciones entomológicas y su influencia sobre la epidemiología del Dengue. *latreia*. 23(2):146–156. <http://www.scielo.org.co/pdf/iat/v23n2/v23n2a6.pdf>
- Red CELAC. 2020. Chikungunya. En: <https://portales.sre.gob.mx/redcelac/enfermedades-provocadas-por-virus/9-virus/21-chikungunya> (consultado 19/02/2024).
- Restrepo-Jaramillo, B.N. 2014. Infección por el virus del Chikungunya. *CES Medicina* 28(2):313–323. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/medicina/article/view/3067>
- Ritchie, S.A., Devine, G.J., Vazquez-Prokopec, G.M., Lenhart, A.E., Manrique-Saide, P., Scott, T.W. 2021. Insecticide-based approaches for dengue vector control. En: Constantianus, J.M., Koenraadt, J.S., Willem T (Eds.) *Ecology and Control of Vector-borne Diseases*. Wageningen Academic Publishers. pp. 380–390.
- Roiz, D., Wilson, A.L., Scott, T.W., Fonseca, D.M., Jourdain, F., Müller, P., Velayudhan, R., Corbel V. 2018. Integrated *Aedes* management for the control of *Aedes*-borne diseases. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 12(12):e0006845. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006845>
- Romer, Y., Valadez-Gonzalez, N., Contreras-Capetillo, S., Manrique-Saide, P., Vazquez-Prokopec, G., Pavia-Ruz, N. 2019. Zika Virus infection in pregnant women, Yucatan, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*. 25(8):1452–1460. <https://doi.org/10.3201/eid2508.180915>
- Roy, S.K., Bhattacharjee, S. 2021. Dengue virus: epidemiology, biology, and disease etiology. *Canadian Journal of Microbiology*. 67(10):687–702. <https://doi.org/10.1139/cjm-2020-0572>
- Sánchez-González, J.M., Ramos-Remus, C., Jácome-Sánchez, B., García-Ortiz, R., Flores-Ramos, J., Santoscoy-Hernández, F. 2016. Virus Zika en México. *Revista Latinoamericana de Patología Clínica*. 63(1):4–12. <https://www.medigraphic.com/pdfs/patol/pt-2016/pt161a.pdf>
- Scott, T.W., Takken, W. 2012. Feeding strategies of anthropophilic mosquitoes result in increased risk of pathogen transmission. *Trends in Parasitology*. 28(3):114–121. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2012.01.001>
- Secretaría de Salud (SSA). 2015. El virus chikungunya llegó para quedarse. En: <https://www.gob.mx/salud/articulos/el-virus-chikungunya-llego-para-quedarse#:~:text=El%20primer%20caso%20en%20nuestro,por%20fiebre%20chikungunya%20en%20M%C3%A9xico> (consultado 15/02/2024).
- Secretaría de Salud (SSA). 2022. Casos confirmados autóctonos de enfermedad por virus del Zika por Entidad Federativa. En: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/691598/CuadroCasosZikayEmbsem52_2021.pdf (consultado 19/02/2024).
- Secretaría de Salud (SSA). 2024a. Panorama epidemiológico de Dengue 2023. En: <https://www.gob.mx/salud/documentos/panorama-epidemiologico-de-dengue-2023> (consultado 06/03/2024).
- Secretaría de Salud (SSA). 2024b. Casos Confirmados de Infección por Virus Zika 2024. En: <https://www.gob.mx/salud/documentos/casos-confirmados-de-infeccion-por-virus-zika-2024> (consultado 13/03/2024).
- Segura, N.A., Muñoz, A.L., Losada-Barragán, M., Torres, O.,

- Rodríguez, A.K., Rangel, H., Bello, F. 2021. Minireview: Epidemiological impact of arboviral diseases in Latin American countries, Arbovirus-vector interactions and control strategies. *Pathogens and Disease*. 79(7):ftab043. <https://doi.org/10.1093/femspd/ftab043>
- Sharma, V., Sharma, M., Dhull, D., Sharma, Y., Kaushik, S., Kaushik, S. 2020. Zika virus: an emerging challenge to public health worldwide. *Canadian Journal of Microbiology*. 66(2):87–98. <https://doi.org/10.1139/cjm-2019-0331>
- Torres-Castro, M.A., Puerto, F.I. 2016. Virus Zika, una nueva epidemia en puerta. *Revista Biomédica*. 27(1):1–2. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v27i1.11>
- Torres-Castro, M.A., Noh-Pech, H.R., Lugo-Caballero, C.I., Dzul-Rosado, K.R., Puerto F.I. 2020. Las enfermedades transmitidas por vector: importancia y aspectos epidemiológicos. *Bioagrobiencias*. 13(1):31–41. <https://dx.doi.org/10.56369/BAC.3446>
- Torres-Castro, M.A., Suárez-Galaz, A.R., Yeh-Gorocica, A.B. 2021. Virus de la Encefalitis Equina Venezolana en México. *Bioagrobiencias*. 14(2):69–77. <https://dx.doi.org/10.56369/BAC.4080>
- Vargas, S.L., Céspedes, D.C., Vergel, J.D., Ruiz, E.P., Luna, M.C. 2018. Co-infección por los virus del dengue y chikungunya. Revisión narrativa. *Revista Chilena de Infectología*. 35(6):658–668. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182018000600658>
- Velandina, M.L., Castellanos, J.E. 2011. Virus del dengue: estructura y ciclo viral. *Infectio*. 15(1):33–43. [https://doi.org/10.1016/S0123-9392\(11\)70074-1](https://doi.org/10.1016/S0123-9392(11)70074-1)
- Viglietta, M., Bellone, R., Blisnick, A.A., Failloux, A.B. 2021. Vector specificity of Arbovirus transmission. *Frontiers in Microbiology*. 12:773211. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.773211>
- Vu, D.M., Jungkind, D., Angelle Desiree LaBeaud. 2017. Chikungunya Virus. *Clinics in Laboratory Medicine*. 37(2):371–382. <https://doi.org/10.1016/j.cl.2017.01.008>
- Young, P.R. 2018. Arboviruses: A Family on the move. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 1062:1–10. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8727-1_1
- Zardini, A., Menegale, F., Gobbi, A., Manica, M., Guzzetta, G., d'Andrea, V., Marziano, V., Trentini, F., Montarsi, F., Caputo, B., Solimini, A., Marques-Toledo, C., Wilke, A.B.B., Rosà, R., Marini, G., Arnoldi, D., Pastore, Y., Piontti, A., Pugliese, A., Capelli, G., Della-Torre, A., Teixeira, M.M., Beier, J.C., Rizzoli, A., Vespignani, A., Ajelli, M., Merler, S., Poletti, P. 2024. Estimating the potential risk of transmission of Arboviruses in the Americas and Europe: a modelling study. *Lancet Planetary Health*. 8(1):e30–e40. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00252-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00252-8)
- Zhang, Q., Sun, K., Chinazzi, M., Pastore, Y., Piontti, A., Dean, N.E., Rojas, D.P., Merler, S., Mistry, D., Poletti, P., Rossi, L., Bray, M., Halloran, M.E., Longini, I.M.Jr., Vespignani, A. 2017. Spread of Zika virus in the Americas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 114(22):E4334–E434. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620161114>



ÁCAROS ACUÁTICOS CENTINELAS DE COLORES EN EL AGUA

/// LUCIA MONTES-ORTIZ

Tecnológico Nacional de
México-I. T. Chetumal., Av.
Insurgentes 330, Quintana Roo
77013, México.
e-mail:
lucia.mon@chetumal.tecnm.mx

RESUMEN

Los ácaros acuáticos son los arácnidos más diversos y abundantes en los cuerpos de agua dulce, sin embargo, se trata de organismos desapercibidos y subestimados tanto en la sociedad como en los campos de investigación. Este escrito tiene como objetivo principal brindar generalidades en la morfología, ciclo de vida, reproducción e importancia de los ácaros acuáticos en el ecosistema que habitan, así como su potencial en la conservación de los cuerpos de agua. Asimismo, se detalla el estado de conocimiento de estos organismos en el país.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes de agua dulce como ríos, lagos, estanques, arroyos, humedales y presas, ocupan menos del 1% de la superficie de la Tierra, sin embargo, albergan una biodiversidad extraordinaria, al menos 126,000 especies habitan en estos ecosistemas (Balian et al., 2008). Desde enormes mamíferos y reptiles como manatíes, cocodrilos y tortugas hasta pequeños y coloridos peces. Sin embargo, existen algunos animales que pasan desapercibidos la mayor parte del tiempo, muy probablemente debido a su diminuto tamaño, hablamos de seres vivos que miden milímetros o a veces menos, y que para observarlos detalladamente siempre será necesario un microscopio. Si tomáramos una muestra de agua y prestáramos suficiente atención, en breve observaríamos diminutos seres moviéndose vertiginosamente a través del agua. La mayoría de estos organismos poseen cuerpos casi transparentes y debido a eso sería muy sencillo reconocer en la muestra de agua a los protagonistas de este texto, ya que una de sus principales características son sus colores brillantes.

Los ácaros acuáticos son parientes de las arañas, de hecho, constituyen el grupo de arácnidos más diverso y abundante en los cuerpos de agua. ¡Un momento! ¿Arañas en el agua? ¿Me pueden lastimar? ¿De qué tamaño son? ¿Qué comen? No te preocupes, a lo largo de este escrito aprenderemos acerca de este maravilloso grupo y de la importancia que tienen en el ecosistema y para el ser humano.



Palabras clave: Arácnidos; acuáticos; bioindicadores; diversidad; México.

¿ARAÑAS EN EL AGUA?

Los ácaros acuáticos pertenecen al grupo de los arácnidos, sin embargo, se trata de arácnidos diminutos, su tamaño varía entre 1 – 3 mm, aunque podemos encontrar algunos más pequeños que un milímetro y algunos que alcanzan hasta los 7, esto significa que en la punta de un alfiler podríamos acomodar hasta cuatro o cinco. Como ya mencionamos, están relacionados con las arañas y los escorpiones y al igual que ellos tienen cuatro pares de patas o apéndices locomotores, hablando técnicamente. Sin embargo, a diferencia de otros arácnidos, en los ácaros la mayor parte del cuerpo está constituida por una gran región llamada idiosoma (Fig. 1a). Unido al idiosoma, en la parte anterior, se encuentra toda la región bucal, llamada gnatosoma compuesto por una base en la cual se insertan un par de quelíceros y pedipalpos, ambas estructuras se usan durante la alimentación, y en general para atrapar presas. Los pedipalpos de los ácaros acuáticos son muy diferentes para cada grupo dependiendo de su alimentación y observándolos podemos saber si pertenece a una especie u otra (Fig. 2).

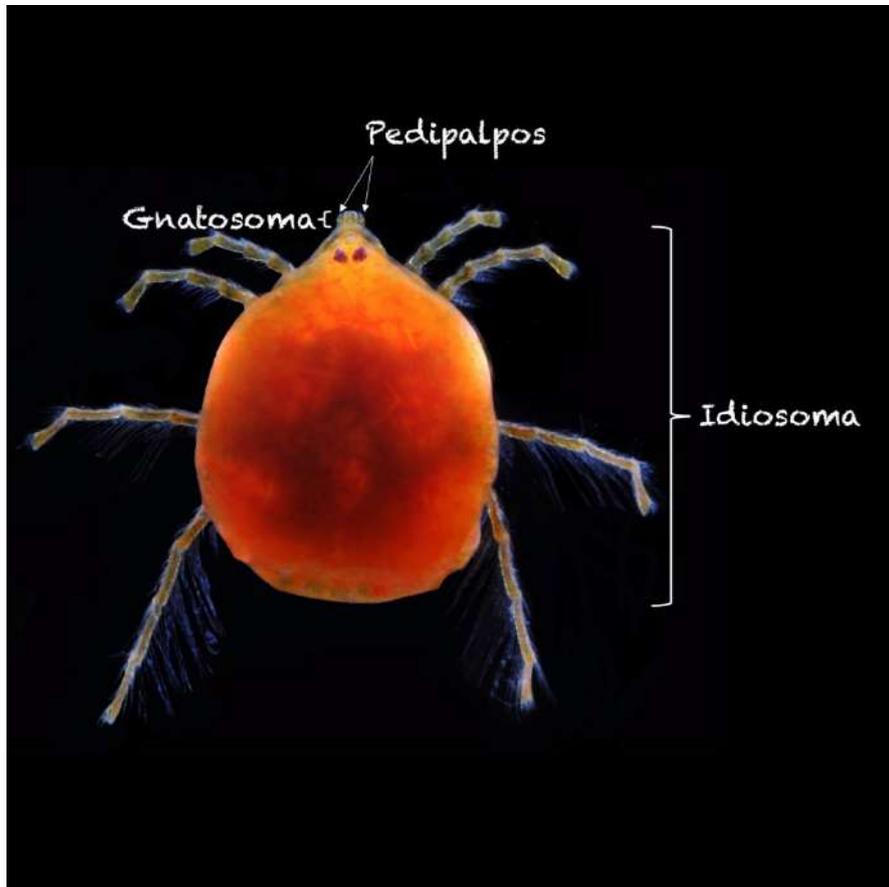


Figura 1. Ácaro acuático *Limnochares* sp.

El idiosoma o cuerpo es sorprendentemente variable en forma, colores y textura. Los grupos basales, es decir, los primeros que invadieron el agua hace millones de años y aún encontramos en la actualidad, tienen generalmente un cuerpo suave, redondeado u ovoide y presentan colores brillantes como rojos y anaranjados (Fig. 1). Mientras que los grupos derivados, es decir, los que le precedieron a los basales, presentan cuerpos con diferentes grados de dureza y colores que pueden ir desde los rojos y anaranjados hasta los azules y violetas (Fig. 3).

La forma del cuerpo y las patas pueden variar dependiendo del ecosistema acuático que habitan, por ejemplo, aquellos que viven en ríos y arroyos han desarrollado un cuerpo aplanado dorsoventralmente, parecido a una moneda (Fig.4_a), patas con espinas y garras, y por supuesto músculos ventrales (coxa) fuertes que le dan sostén a esas patas que requieren moverse en espacios confinados como rocas o gravas, además de evitar ser llevados por la corriente. Los ácaros acuáticos que habitan lagunas y lagos poseen cuerpos más ovoides y patas con filamentos o pelos

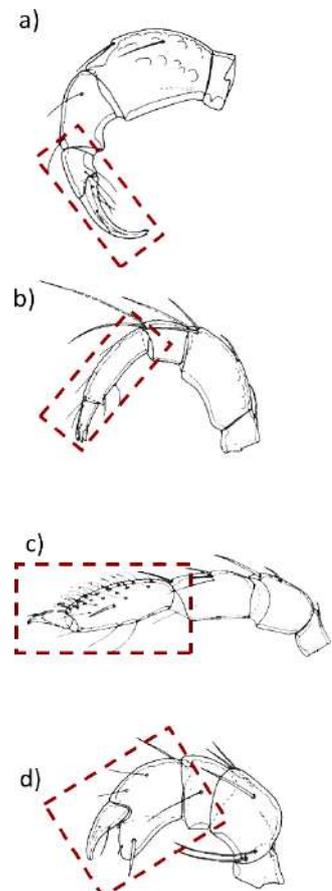


Figura 2. Distintos tipos de pedipalpos, se señala la diferencia en los últimos dos segmentos a) *Koenikea noyara* b) *Neumania conroyi* c) *Atractides guatemaltecus* d) *Krendowskia moyara*. Imágenes tomadas de Cook, 1980°.

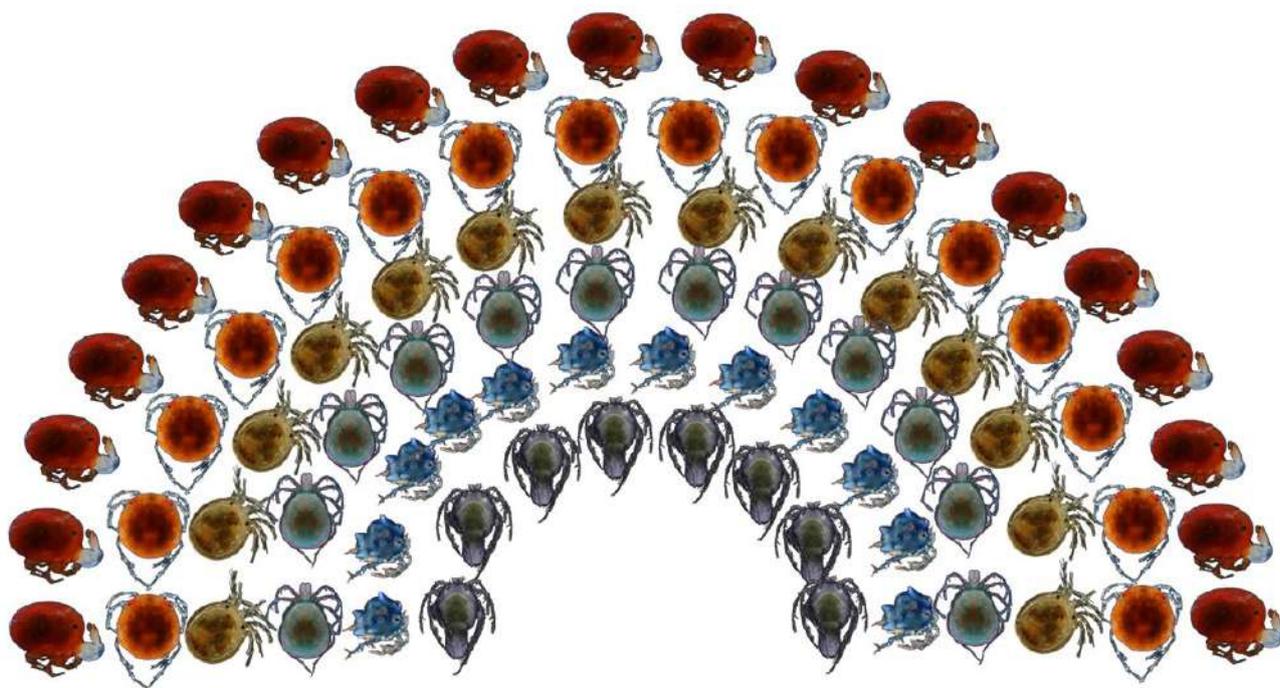


Figura 3. Colores en ácaros acuáticos. En rojo *Geayia* sp. En anaranjado *Hydrodroma* sp. En amarillo *Mideopsis* sp. En verde *Mamersellides* sp. En azul *Arrenurus* sp. En violeta *Arrenurus* sp.

que sirven de remos para moverse en el agua, a estos filamentos los llamamos setas natatorias (Fig. 4_c). Los grupos especializados en los sedimentos de los ríos y cuerpos de agua debajo de la tierra, como cavernas han tendido a perder los ojos, la pigmentación del cuerpo y presentan idiosomas vermiformes o aplanados lateralmente (Fig. 4_b) (Proctor et al., 2015).

¿EN DÓNDE PUEDO ENCONTRARLOS?

Los ácaros acuáticos son organismos cosmopolitas, lo que significa que se encuentran en casi todos los entornos acuáticos del mundo, a excepción de la Antártida (Di Sabatino, 2008). Por lo tanto, es posible hallarlos en lagos y lagunas, donde se han registrado hasta 2000 individuos por metro cuadrado, así como en ríos y arroyos, donde se ha documentado la presencia de hasta 5000 individuos en la misma unidad de área (Proctor et al., 2015). También se encuentran en manantiales, charcas temporales, ambientes intersticiales, cenotes, acuíferos subterráneos e incluso

en los tanques de agua de plantas epífitas como las bromelias. Por si fuera poco, existe un único grupo de ácaros acuáticos que se han adaptado a vivir en ambientes marinos y estuarinos (Chatterjee et al., 2019).

¿CÓMO SE REPRODUCEN Y CUÁL ES SU CICLO DE VIDA?

En las poblaciones de estos pequeños arácnidos encontramos machos y hembras y se reproducen de manera sexual, en algunos casos es muy fácil reconocer la diferencia de sexos, ya que presentan un elevado dimorfismo sexual (Fig. 5), en otros casos, tanto machos como hembras suelen lucir muy similares y es necesario mirar bajo el microscopio la zona genital para reconocerlos. Sin importar la diferencia entre ambos, siempre será necesario que se unan los gametos femeninos y los masculinos para formar nuevos individuos. Los machos poseen un sistema reproductor complejo que posee un órgano cuya función es ensamblar los espermatozoides en una masa



Figura 4. Variación en el idiosoma a) *Torrenticola* sp. habitante de ríos y arroyos b) *Frontipodopsis* sp. habitante de ambientes intersticiales c) *Geayia* sp. habitante de pozas, lagos y lagunas. a) y b) Tomado de Goldschmidt et al., 2022.

llamada espermatóforo, dicho espermatóforo tiene que ser transferido al sistema reproductor de la hembra a través de un orificio llamado gonoporo (Proctor, 1992).

Las formas en que se produce la transferencia del espermatóforo pueden ser resumidas en 4 categorías basándose en el grado de interacción entre las hembras y los machos durante el apareamiento 1) Los machos depositan el espermatóforo en el sustrato y guiadas por feromonas las hembras lo encuentran e introducen en el gonoporo 2) Los machos depositan el espermatóforo en el sustrato y luego activamente ayudan a la hembra a encontrarlo. Algunos machos guían a las hembras a través de una danza o atrayendo su atención haciendo vibrar sus patas del mismo modo que lo haría una potencial presa 3) El macho toma a una hembra directamente e inserta el espermatóforo utilizando su cuarto par de patas y 4) El espermatóforo es transferido directamente de gonoporo a gonoporo. Algunos machos han desarrollado estructuras especiales para insertar el espermatóforo en el gonoporo (Proctor et al., 2015)

Las hembras de ácaros acuáticos producen entre una docena y hasta varios cientos de huevos, que son depositados en agrupaciones en una matriz gelatinosa sobre plantas, raíces o piedras (Fig. 6_1). Una vez que salen del huevo, las larvas de ácaros acuáticos (que emergen con solo 6 patas) comienzan a buscar activamente a un insecto que les sirva para fijarse a él a través de sus quelíceros y alimentarse (a estos insectos que le sirven a las larvas de ácaros les llamamos hospederos), estableciendo una relación en la que el ácaro se vuelve parásito, ganando comida y transporte mientras los insectos parasitados, pueden verse afectados (Fig. 6_2). Por lo general, los hospederos son insectos acuáticos o etapas larvianas de insectos, por ejemplo, larvas de mosquitos o de chinches, libélulas y escarabajos, entre otros. El hospedero y el sitio en el que se fijan son únicos para cada grupo de ácaros, es decir algunos ácaros solo pueden ser parásitos de libélulas y fijarse en el abdomen de ésta, mientras otros

solo pueden ser parásitos de mosquitos. Una vez que la larva se ha alimentado lo suficiente, se suelta de su hospedero para regresar al ambiente acuático y entrar en una etapa inactiva llamada protoninfa (Fig. 6_5) de la cual emergerá un ácaro acuático que se parece mucho a un adulto maduro, sin embargo, en esta etapa es incapaz de reproducirse aún. La deutoninfa (Fig. 6_6) es un organismo depredador y comerá vorazmente a sus presas, y nuevamente, una vez que haya comido lo suficiente entrará en otra fase inactiva llamada tritoninfa (Fig.6_7), de esta última emerge un ácaro acuático adulto listo para reproducirse (Fig.6_8) y completar otra vez el ciclo de vida (Smith et al., 2001)

¿QUÉ COMEN LOS ÁCAROS ACUÁTICOS?

Como mencionamos anteriormente, los pedipalpos y quelíceros de los ácaros están modificados según su tipo de alimentación, algunos están afilados como agujas para perforar y consumir huevos de insectos acuáticos (Fig. 2_a), mientras otros están diseñados con formas parecidas a un destapador, para abrir pequeños microcrustáceos como cladóceros, copépodos u ostrácodos (Fig. 2_d). Es importante mencionar que son altamente específicos con el tipo de alimento que consumen, un ácaro con pedipalpos diseñados para consumir ostrácodos no podrá consumir huevos de insectos o viceversa (Smith et al., 2002).

¿Y CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LOS ÁCAROS ACUÁTICOS?

A lo largo del texto te he presentado diferentes datos que brindan una idea sobre su importancia, mencionamos que son los arácnidos más abundantes y diversos en los ecosistemas acuáticos, como cualquier otro organismo, éstos son partícipes de la cadena alimenticia (Fig. 7), ¿Recuerdan que algunos autores habían documentado hasta 2000 y 5000 individuos

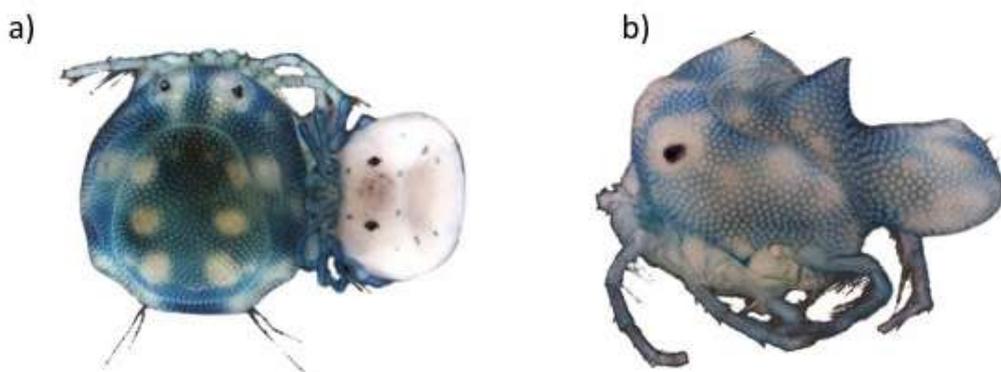


Figura 5. Dimorfismo sexual en *Arrenurus eduardoi*. a) Hembra y deutoninfa (individuo en estado juvenil) b) Macho.

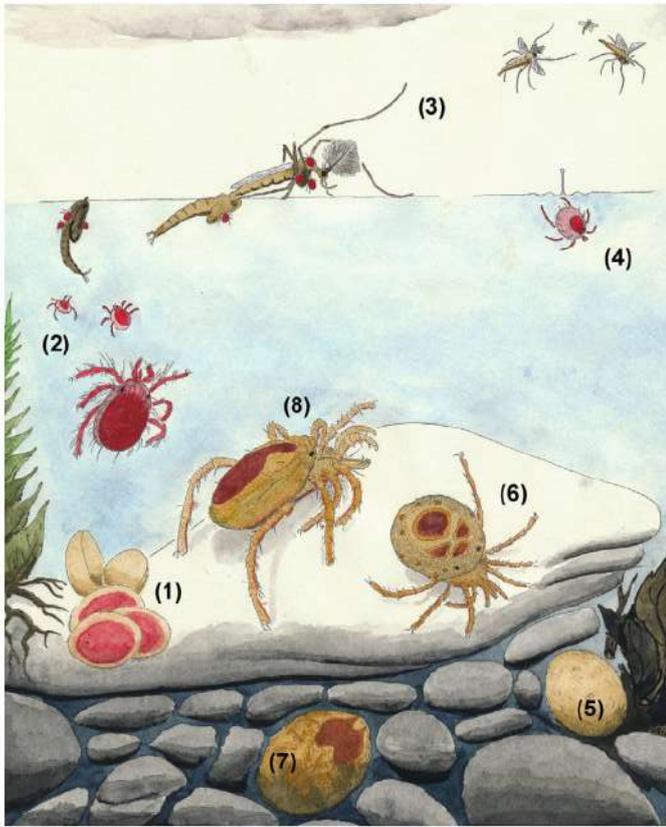


Figura 6. Ciclo de vida de un ácaro acuático. 1) Huevo 2) Larva en busca de hospedero 3) Larva parasítica 4) Larva dejando hospedero 5) Protoninfa 6) Deutoninfa 7) Tritoninfa 8) Adulto Tomado. Ilustración de Martin y Gerecke, 2009.

por metro cuadrado y también que son depredadores voraces? ¡Exacto! Estos organismos como depredadores pueden afectar a las poblaciones de los organismos que consumen y como parásitos en su etapa de vida larvaria también pueden dañar a las poblaciones de sus hospederos (Paterson 1970; Gliwicz y Biesiadka 1975; Cassano et al. 2002; Proctor y Pritchard 1989). Por ejemplo, en Europa los ácaros acuáticos han demostrado mantener controlada a una especie invasora de chinches acuáticas, ya que al parasitar a las mismas reducen su éxito reproductivo y aumentan su mortalidad (Sánchez et al., 2015). En el mismo sentido, también se ha documentado como el parasitismo de larvas de ácaros acuáticos en mosquitos adultos del género *Aedes* (transmisores de virus con importancia en la salud pública como el dengue, chikungunya y zika) ha reducido su fecundidad y esperanza de vida (Manges et al., 2015).

Finalmente, también se mencionó la especificidad de los ácaros acuáticos a sus presas, a sus hospederos y al sitio en el que se fijan cuando son larvas, todo esto sumado a los atributos (temperatura, oxígeno disuelto, pH, vegetación, sustrato etc.) que requieren del ecosistema que habitan,

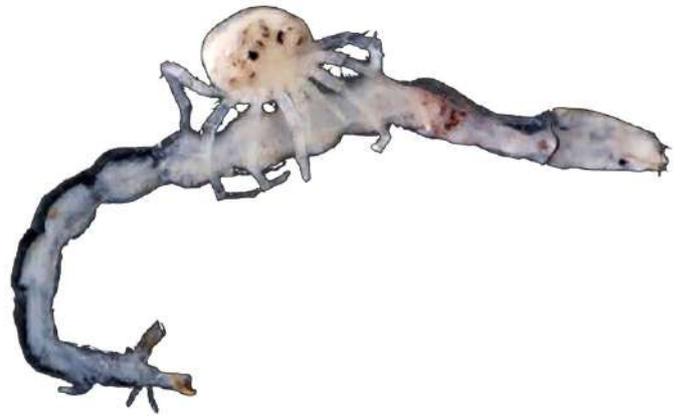


Figura 7. *Hygrobatas* sp. consumiendo larva de mosquito.

los ha convertido en excelentes bioindicadores para casos de contaminación de diferentes tipos como hidrocarburos, metales pesados, contaminantes orgánicos, también indicadores del cambio climático, además de casos exitosos de restauración de un ecosistema (Goldschmidt, 2016). Dicho en otras palabras, los ácaros acuáticos son organismos exigentes, muy exigentes, no comen cualquier cosa, no parasitan a cualquier insecto y el lugar en el que viven tiene que tener ciertas características, de tal forma que si no encuentran lo que necesitan brindan información de que algo no se encuentra bien en su entorno (Fig. 8). A pesar de la gran importancia que tienen en el ecosistema y de la utilidad que podrían representar para los seres humanos, pocas veces son tomados en cuenta por los investigadores o por los organismos encargados de monitorear los cuerpos de agua.



Figura 8. Caricaturización de un ácaro acuático brindando información sobre un cuerpo de agua. Imagen generada mediante una IA (bing.com) y modificada con Adobe Photoshop.

¿CÓMO ESTUDIAMOS A LOS ÁCAROS ACUÁTICOS?

El primer paso para encontrar ácaros es ubicar un cuerpo de agua, es necesario contar con algunos instrumentos, por ejemplo, una red de mano, las redes para muestrear organismos muy pequeños en el agua son muy parecidas a aquellas para colectar mariposas, pero un poco más pequeñas, solo tenemos que asegurarnos que los orificios de la malla de la red sean más pequeños que el cuerpo de un ácaro, son recomendadas aquellas que tienen orificios de entre 150 y 250 micras, para que te des una idea un milímetro equivale a 1000 micras. Posteriormente, las personas que estudiamos ácaros, removemos el sustrato o vegetación y pasamos la red varias veces por el agua, después depositamos lo que quedó en la red en un recipiente con fondo blanco y agregamos un poco de agua. Y así de simple, después de unos minutos veremos a los ácaros acuáticos nadando por todo el recipiente y podemos sacarlos directamente con una pipeta, que es algo parecido a una jeringa. Otros métodos pueden ser el uso de tamices o coladeras de diferentes tamaños para poder separar a los ácaros con mayor facilidad (Smith et al., 2001). Una metodología novedosa son las llamadas trampas de luz, que pueden ser elaboradas con una malla similar a la de una red o incluso una cubeta o recipiente transparente, el funcionamiento de la misma depende de colocar orificios situados a lo largo de la red o cubeta y una fuente de luz al interior, que puede ser una lámpara de buceo o barra de luz química, de esta manera los ácaros son atraídos hacia la luz y colectados en la malla o cubeta (Montes-Ortiz y Elías-Gutiérrez, 2018) (Fig. 9)

Para estudios en los que es importante revisar la forma y estructuras de los ácaros, una vez colectados son almacenados en una solución de Koenike (ácido acético, glicerina y agua), esta solución permite conservar los colores y forma de los ácaros, sin embargo, si se requiere información sobre su ADN es necesario almacenarlos en etanol al 96%. Posteriormente para observarlos a detalle es necesario transparentarlos con hidróxido de potasio, esta sustancia "disuelve" el contenido del cuerpo del ácaro dejando solo el exoesqueleto visible, una vez que está transparente se separan las patas, palpos y quelíceros sobre un portaobjeto en una sustancia parecida a la gelatina (gelatina glicerinada) y se coloca un cubreobjetos en la parte de arriba (Cook, 1980), éstas preparaciones son definitivas y se guardan en colecciones de referencia en instituciones de educación

superior, centros de investigación o museos y sirven para que otros investigadores puedan revisarlas cuando así lo requieran.

En México actualmente tenemos 272 especies (Montes-Ortiz et al., 2024) (Fig. 10), esta lista fue iniciada por especialistas como el Dr. David Cook, el Dr. Malcolm Vidrine y la Dra. Ruth Marshall, y ha sido notablemente enriquecida por acarólogas y acarólogos mexicanos como la Dra. Cristina Cramer, la Dra. Marcía Ramírez Sánchez, el Dr. Otero Colina y el Dr. Gerardo Rivas (Rivas y Hoffmann, 2000). Sin embargo, existen áreas del país de las cuales ignoramos completamente su diversidad de ácaros acuáticos, de los 31 estados solo 19 tienen información sobre ácaros acuáticos, mientras que en los otros 13 ni siquiera se han realizado búsquedas. Algunos investigadores continuamos los estudios de este maravilloso grupo, por ejemplo, en los últimos años se descubrieron 6 nuevas especies en la Península de Yucatán y hemos creado una base de datos pública de información molecular que sirve para integrar a estos organismos en otras áreas de investigación (Montes-Ortiz y Elías-Gutiérrez 2020 y Montes-Ortiz et al., 2022). No obstante, la labor aún es enorme y cada día surgen nuevas preguntas. Estudiar ácaros acuáticos podría coadyuvar a monitorear nuestros cuerpos de agua ante eventos de contaminación y en el contexto del cambio climático, también conocer su utilidad en control de poblaciones de mosquitos transmisores de dengue, chikungunya y zika entre otros.

Si te interesaron los ácaros acuáticos no dudes en buscar apoyo de un investigador o investigadora para orientarte, sería un gusto que nuevas generaciones se sumen al estudio de este maravilloso pero ignorado grupo de pequeños arácnidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la revisión y sugerencias realizadas por la C. a Dra. Itzahí Silva Morales que mejoraron enormemente este escrito, así como a los revisores anónimos. Agradezco también al Dr. Manuel Elías quién hace años me sugirió el estudio de estos maravillosos organismos. Al Tecnológico de Chetumal por permitirme continuar mi investigación, así como por hacerme sentir bienvenida e integrada en la institución. Y finalmente al Conahcyt por la beca posdoctoral otorgada en el marco de la convocatoria 2023-1 "Estancias Posdoctorales por México".

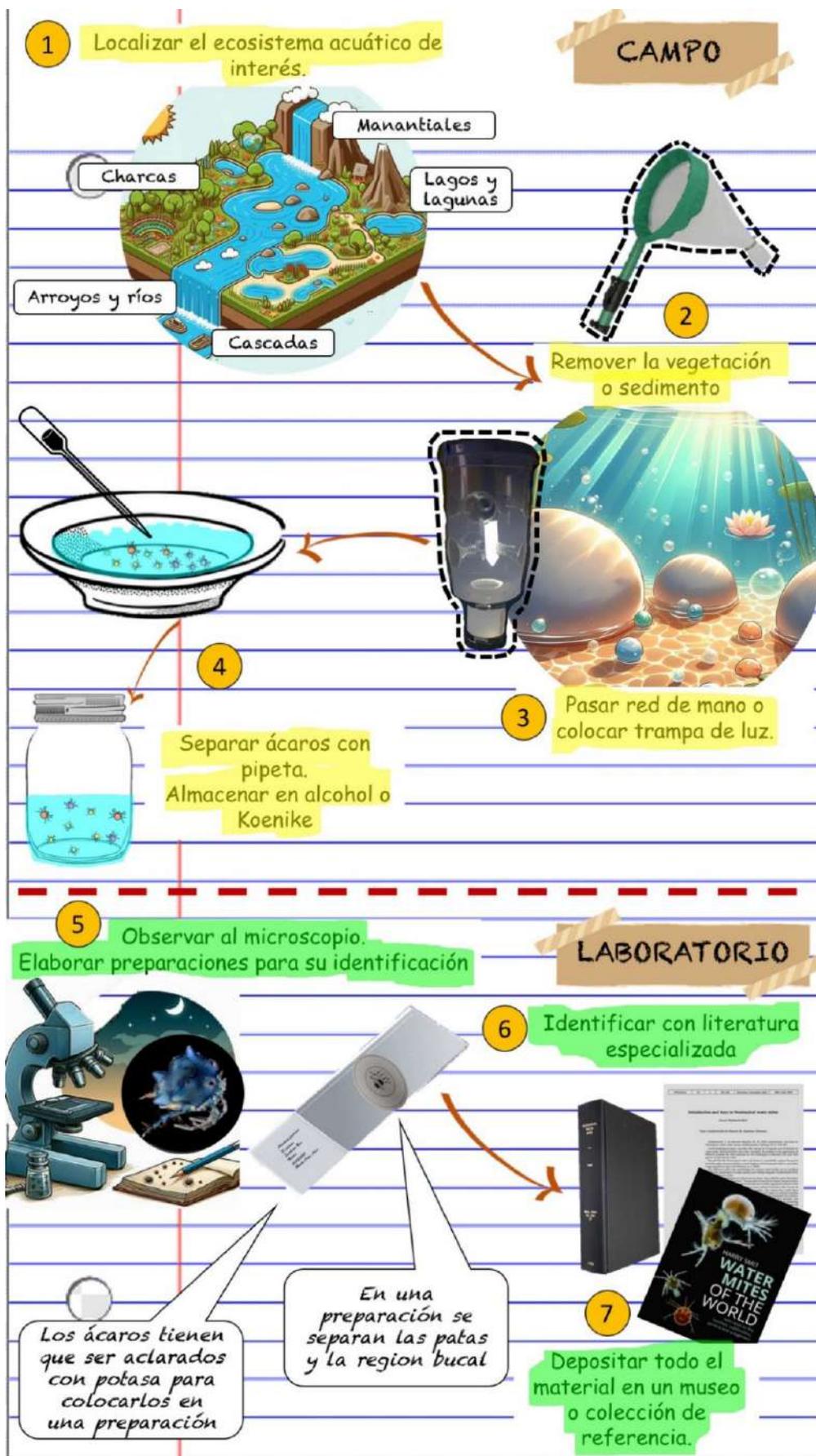


Figura 9. Materiales y métodos para estudiar ácaros acuáticos.



Figura 10. Representación de parte de la diversidad de ácaros acuáticos en México



LITERATURA CITADA

- Balian, E.V., Segers, H., Lévêque, C., Martens, K. 2008. The Freshwater Animal Diversity Assessment: an overview of the results. *Hydrobiologia*. 595:627–637
- Cassano, C.R., M.S.M. Castilho-Noll, M.S. Arcifa. 2002. Water mite predation on zooplankton of a tropical lake. *Brazilian Journal of Biology*. 62(4 A): 565-571.
- Chatterjee, T., Schizas, N., Péšic, V. 2019. A checklist of Pontarachnidae (Acari: Hydrachnidia) and notes on distributional patterns of the species. *Zootaxa*. 3: 527-544.
- Cook, D.R. 1980. Studies on neotropical water mites. *Memoirs of the American Entomological Institute*. p. 645.
- Di Sabatino, A., Smit, H., Gerecke, R., Goldschmidt, T., Matsumoto, N., Cicolani, B. 2008. Global diversity of water mites (Acari, Hydrachnidia, Arachnida) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 303-315.
- Gliwicz, Z.M., E. Biesiadka. 1975. Pelagic water mites (Hydracarina) and their effect on the plankton community in a Neotropical man-made lake. *Arch für Hydrobiologie*. 76:65-88.
- Goldschmidt T. 2016. Water mites (Acari: Hydrachnidia): powerful but widely neglected bioindicators -a review. *Neotropical Biodiversity* 2:12-25
- Goldschmidt T., J. Schmidt, E. Boles. 2022. Hidden treasures – a first study on the unexplored diversity of water mites (Acari; Hydrachnidia) from Belize. *Acarologia* 62(3): 694-720.
- Manges, A. B., T. W., Simmons, M. L., Hutchinson. 2018. First Record of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) and Second Record of *Aedes japonicus* (Diptera: Culicidae) Parasitized by Water Mites (Acari: Hydrachnidia) in North America. *Journal of medical entomology*, 55(6), 1617–1621. <https://doi.org/10.1093/jme/tjy105>
- Martin, P., R. Gerecke R. 2009. Diptera as hosts of water mite larvae—an interesting relationship with many open questions. *Lauterbornia* 68:95–103.
- Montes-Ortiz, L., Elías-Gutiérrez M. 2018. Faunistic survey of the zooplankton community in an oligotrophic sinkhole, Cenote Azul (Quintana Roo, Mexico), using different sampling methods, and documented with DNA barcodes. *Journal of Limnology*. 77(3): 428 - 440.
- Montes-Ortiz, L., M. Elías-Gutiérrez. 2020. Water Mite Diversity (Acariformes: Prostigmata: Parasitengonina: Hydrachnidia) from Karst Ecosystems in Southern Mexico: A Barcoding Approach. *Diversity*, 12 (329), 1-16.
- Montes-Ortiz, L., M. Elías-Gutiérrez, M., M. Ramírez-Sánchez. 2022. Checklist of Arrenurids (Acari: Hydrachnidia: Arrenuridae) of Mexico, with New Records from the Yucatan Peninsula, and the Description of Five New Species of the Subgenera *Megaluracarus* and *Dadayella*. *Diversity*, 14(4), 276. <https://doi.org/10.3390/d14040276>
- Montes-Ortiz, L., Cohuo, S., M. Elías-Gutiérrez. Checklist of water mites in Mexico. Historical background and DNA barcoding perspectives. *Acarologia*, 64 (2), 612- 625. <https://doi.org/10.24349/ah6q-r1rk>
- Paterson, C.G. 1970. Water mites (Hydracarina) as predators of chironomid larvae (Insecta: Diptera). *Canadian Journal of Zoology*. 48:610-14.
- Proctor, H. 1992. Mating and spermatophore morphology of water mites (Acari: Parasitengona). *Zoological Journal of the Linnean Society*. 106: 341-384
- Proctor, H., G. Pritchard. 2008. Neglected predators: water mites (Acari: Parasitengona: Hydrachnellae) in freshwater communities. *Journal of the North American Benthological Society*. 8(1): 100-111.
- Proctor, H.C., I.M Smith, D.R. Cook, B.P. Smith. 2015. Subphylum Chelicerata. Class Arachnida. In: Thorp J, Rogers DC, editors. *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, Academic Press. p. 599-660.
- Rivas, G. y A. Hoffmann. 2000. Los ácaros acuáticos de México. Estado actual de su conocimiento. *Mexicoa*. 2:33-39.
- Sánchez, M.I., Coccia, C., Valdecasas, A.G. et al. Parasitism by water mites in native and exotic Corixidae: Are mites limiting the invasion of the water boatman *Trichocorixa verticalis* (Fieber, 1851). *Journal of Insect Conservation* 19, 433–447 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9764-7>
- Smith, I. M., D. R. Cook, Smith, B. P. 2001. Water mites (Hydrachnida) and other arachnids. In Thorp J. H. & A. P. Covich (eds), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (2nd edition), Academic Press, San Diego, California, 551–659.



PECES DAMISELAS (POMACENTRIDAE): PEQUEÑOS CENTINELAS DE LOS ARRECIFES

ROSALÍA AGUILAR-MEDRANO

Departamento de Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carr. Tijuana-Ensenada 3918, Zona Playitas, Ensenada, Baja California, C.P. 22860, México. rosalia@cicese.mx; liabiol@gmail.com

RESUMEN

Los arrecifes son de los ecosistemas más diversos del planeta sin embargo también son de los más amenazados debido a presiones locales y globales. Las especies centinelas son una herramienta de monitoreo que nos permiten, mediante el estudio de una o unas cuantas especies, determinar el estado del sistema y responder de manera temprana a los cambios ambientales. Las damiselas (Pomacentridae) son peces arrecifales. Quince especies se distribuyen en el Pacífico Mexicano y 15 en el Golfo de México y Caribe Mexicano, todas con diversas características de formas, dietas y comportamientos. Además, todas interactúan con diversos componentes del sistema, de tal forma que su ausencia provocaría importantes cambios. En el presente documento se presenta una revisión de las características que hacen de las damiselas buenos centinelas de ecosistemas arrecifales.

ABSTRACT

Reefs are among the most diverse ecosystems on the planet but are also among the ecosystems most threatened by local and global pressure. Given the complications of studying the status of each species in the ecosystem, sentinel species emerge as a monitoring tool that allows, through the study of one or a few species, to determine the status of the system and respond early to environmental changes. Damsel fishes (Pomacentridae) are reef fishes. Fifteen species are distributed in the Mexican Pacific and 15 in the Gulf of Mexico and the Mexican Caribbean, all with diverse characteristics of shapes, diets and behaviors. In addition, they all interact with various components of the system, so that their absence would cause important changes. This document presents a review of the characteristics that make damselfishes good sentinels of reef ecosystems.



Palabras clave: Especies centinela, Pomacentridae; ecosistemas arrecifales; territorialidad

Key words: Sentinel species, Pomacentridae; reef ecosystems; territoriality



Figura 1. *Stegastes rectifraenum* protegiendo su territorio. Loreto, Baja California Sur, México. Fotografía de Eduardo F. Balart Páez.

INTRODUCCIÓN

La presión antropogénica sobre los sistemas naturales está causando el colapso de comunidades y ecosistemas a escala global (Dirzo et al., 2014). Para prevenir la pérdida de especies y ecosistemas es necesario contar con herramientas de monitoreo que nos permitan responder de manera temprana a los cambios ambientales y las especie centinela pueden ser una solución (Clark-Wolf et al., 2024). Las especies centinela son aquellas que nos sirven para determinar el estado de salud de los ecosistemas, sin necesidad de analizar todas las especies y variables del sistema, por lo que entre algunas de las características deseadas de las especies centinela están aquellas que facilitan el monitoreo como: 1) que sean fácilmente observables, 2) recolectables y 3) cultivables; las características que las conectan con el sistema y nos permiten observar los cambios en el mismo como: 4) que interactúen con numerosos componentes del sistema, 5) que su ausencia o disturbio sobre sus poblaciones cause modificaciones en la estructura y función del sistema, 6) que sean sensibles a cambios en el sistema, 7) fieles al sistema; las características que nos permiten analizar y contrastar el efecto de los disturbios en un sistema versus. otro o a través del tiempo como: 8) amplio y bien conocido rango de distribución, 9) longevidad; y finalmente, 10) conocimiento de la biología de las especies, el cual nos permite entender los rangos biológicos de las especies y aquellas variaciones que son resultado del disturbio en el sistema (Chapman, 2002; Berthet, 2012). Debido a la imperante necesidad de conocer el estado de los ecosistemas, monitorearlos constantemente para

detectar cambios en etapas tempranas y poder desarrollar estrategias de amortiguamiento y manejo, se hace necesario determinar aquellas especies que pueden ser buenas centinela.

La familia Pomacentridae (Damiselas) es un grupo diverso de peces arrecifales con alrededor de 423 especies descritas (Parenti, 2021). Esta familia de peces es una de las más conocidas debido a que se distribuyen en arrecifes tropicales alrededor del mundo, presentan coloraciones llamativas, son peces conspicuos (es decir fácilmente observables), muy abundantes en los arrecifes y acuarios, y presentan un comportamiento muy peculiar, ya que algunos géneros como *Hypsypops*, *Stegastes*, *Microspathodon*, protegen su territorio contra intrusos de todos tamaños (incluidos los buzos; Allen, 1991). En este documento discutiremos la idoneidad de los peces damisela como especies centinela de los ecosistemas arrecifales

DAMISELAS

La importancia ecológica de estos peces va en aumento ya que se descubren cada día más aspectos de su historia de vida y su efecto sobre los sistemas arrecifales. Por ejemplo, hace tiempo se descubrió que, para algunas damiselas bentónicas, como aquellas del género *Stegastes* (Fig. 1), las algas eran de suma importancia en su dieta (Emery, 1973). Tiempo después se encontró que varias de estas especies se comportan como agricultores, ya que cultivan un tapete algal en sus territorios (Brawley y Adey, 1977), después

notaron que el tapete algal que cultivan parece atraer pequeños invertebrados que las damiselas consumen también, por lo que pasaron de ser considerados agricultores a ganaderos (Hata y Kato, 2004). Debido a este comportamiento, los científicos ahora podemos calcular el tamaño de sus territorios y multiplicarlo por el número de damiselas territoriales en el sitio para conocer la dimensión del territorio total manejado por ellas, es decir, el espacio en el cual las damiselas territoriales determinan el tipo de algas que crecen y, por lo tanto, el tipo de invertebrados que son atraídos por dichas algas, el cuál de manera general se calcula ocupa entre un 11 y un 70% de la superficie de los arrecifes (Ceccarelli et al., 2001).

Si bien la mayoría de los trabajos se han centrado en las damiselas bentónicas, las damiselas pelágicas (Fig. 2), es decir las que se encuentran en la columna de agua, son de suma importancia ya que mientras están nadando sobre el arrecife, consumen los organismos de la columna de agua y sus heces caen sobre el sistema, enriqueciéndolo con nutrientes solo disponibles en la columna de agua (Bray et al., 1986; Sale, 1991; Sazima et al., 2003). Inclusive, debido al gran valor nutricional de las heces de los peces pelágicos, se ha observado a peces bentónicos subiendo a la columna de agua para consumirlas

antes de que toquen el bentos (Aburto-Oropeza et al., 2000; Aguilar-Medrano et al., 2011).

ESPECIES EN AGUAS MEXICANAS

En las costas de México se distribuyen 30 especies de damiselas: 15 en el Pacífico y 15 en el Golfo de México y Caribe Mexicano (Tabla 1). Los géneros distribuidos en ambas costas son *Abudefduf* (2 en el Pacífico, 2 Golfo de México y Caribe), *Azurina* (2 Pacífico, 2 Golfo de México y Caribe), *Chromis* (3 Pacífico, 3 Golfo de México y Caribe), *Microspathodon* (2 Pacífico, 1 Golfo de México y Caribe) y *Stegastes* (5 Pacífico, 6 Golfo de México y Caribe). En el Pacífico, además se distribuye *Hypsypops rubicundus*. El género *Hypsypops* es monoespecífico, se distribuye desde la costa sur de California, EUA, hasta la boca del Golfo de California, prefiere los ecosistemas rocosos y bosques de macroalgas (kelp; Fig. 3; Allen 1991; Aguilar-Medrano et al., 2011; Robertson y Van Tassel, 2023; Robertosn y Allen, 2024). Por su parte en el Golfo de México, además está *Neopomacentrus cyanomus*, especie no nativa, de reciente introducción (González-Gándara y de la Cruz-Francisco, 2014) y que presenta densidades altas a través de toda su distribución en el Golfo de México (Simões y Robertson, 2016).



Figura 2. Cardumen de *Azurina atrilobata* nadando sobre el arrecife. Loreto, Baja California Sur, México. Fotografía de Eduardo F. Balart Páez.



Figura 3. *Hypsypops rubicundus* en un bosque de macroalgas. San Diego, California, Estados Unidos de América.

Las especies de damiselas distribuidas en Golfo de México y el Caribe Mexicano presentan amplias distribuciones por lo que no existen especies endémicas a México, y su estatus de conservación de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) es de Preocupación Menor. Mientras que en el Pacífico Mexicano hay cinco especies endémicas, *Azurina hirundo*, *Chromis limbaughi*, *Stegastes leucorus*, *Stegastes rectifraenum* y *Stegastes redemptus*. Para la mayoría de las especies del Pacífico el estatus de conservación es de Preocupación Menor, sin embargo, *Azurina hirundo* tiene la categoría de Casi Amenazada y *Stegastes leucorus* y *S. redemptus* de Vulnerable (IUCN, 2024).

Azurina hirundo es una especie muy particular; su cuerpo es fusiforme, y presenta la forma más alargada de la familia. Esta morfología la compartía únicamente

con *A. eupalama*, la cual se distribuía en Galápagos, pero desde el evento del Niño 1982-83 no se ha vuelto a ver (Monte-Luna et al., 2007). Por lo que *A. hirundo* representa la última especie con este morfotipo y, por lo tanto, con patrones ecológicos y evolutivos específicos que debemos investigar, conocer y proteger. Por su parte, *S. redemptus* se conoce principalmente para las Islas Revillagigedo y algunas veces se ha registrado vagabundo (es decir que se reporta en localidades donde no existen poblaciones establecidas de la especie) en el continente, mientras que *S. leucorus* también se distribuye en Revillagigedo y en las islas cercanas a Baja California, así como al sur del Golfo de California. Un problema muy importante relativo a la pérdida de especies, es que en ocasiones las especies se extinguen sin tener siquiera su información básica, datos del hábitat que ocupan, de la dieta, del desarrollo ontogenético, etc.

Tabla 1. Damiselas distribuidas en aguas mexicanas. Distribución: Pacífico (P); Golfo de México (GM); Caribe (C). Salinidad: marino (M); salobre (S); agua dulce (AD). Rango de profundidad en el que se han registrado las especies. Rango de temperatura calculado de acuerdo al mapa de distribución total de la especie. Dieta: omnívoro béntico (OB); zooplanctívoro pelágico (ZP); omnívoro bentopelágico (OBP); especies que consumen ectoparásitos (CEP). Comportamiento (CM), territorial (T). Talla, longitud máxima (LM). "": especies solo distribuidas en la costa Pacífico de la Península de Baja California; - especie que se vende y consume como alimento; * especie no es nativa; + especie distribuida principalmente en las islas Revillagigedo. Datos obtenidos de Robertson y Van Tassell (2023), Froese y Pauly (2024) y Robertson y Allen (2024).

Especies	Distribución			Salinidad			Profundidad		Temperatura		Dieta				CM	Talla
	P	GM	C	M	S	AD	min	ma•	min	ma•	OB	ZP	OBP	CEP	T	LM
							m		°C							cm
<i>Abudefduf declivifrons</i>	•			•			0	5	24.3	29.1	•					19.5
<i>Abudefduf troschelii</i>	•			•	•	•	0	15	22.3	29.1			•	•		23
<i>Azurina atrilobata</i>	•			•			1	80	21.2	28.5		•				13
<i>Azurina hirundo</i>	•			•			5	30	17.7	28.2		•				17
<i>Chromis alta</i>	•			•			30	200	15.3	21.5		•				17.3
<i>Chromis limbaughi</i>	•			•			5	120	18.9	26.1		•				12
<i>Chromis punctipinnis</i> "	•			•			2	46	12.9	19.2		•				25
<i>Hypsypops rubicundus</i> " -	•			•			1	30	15.3	19.2	•				•	36
<i>Microspathodon bairdii</i>	•			•			1	10	22.9	29.1	•				•	38
<i>Microspathodon dorsalis</i>	•			•			1	25	24.2	29.2	•			•	•	37.8
<i>Stegastes acapulcoensis</i>	•			•	•		1	16	22.3	28.6	•				•	18
<i>Stegastes flavilatus</i>	•			•	•	•	1	38	23.5	28.7	•				•	16
<i>Stegastes leucurus</i>	•			•			0	18	22.3	28.7	•				•	17
<i>Stegastes rectifraenum</i>	•			•			0	12	18.8	25.9	•				•	16
<i>Stegastes redemptus</i> +	•			•			1	20	25.4	26.7	•				•	15
<i>Abudefduf saxatilis</i>		•	•	•			0	41	19.9	28.1			•	•		23
<i>Abudefduf taurus</i>		•	•	•			0	5	26.3	28.2	•					25
<i>Azurina cyanea</i>		•	•	•			3	87	25.6	28.1		•				15
<i>Azurina multilineata</i>		•	•	•			1	130	24.5	28		•				20
<i>Chromis enchrysurus</i>		•	•	•			5	97	18.8	27.3		•				10
<i>Chromis insolata</i>		•	•	•			3	152	20	27.5		•				16
<i>Chromis scotti</i>		•	•	•			2	172	23.9	28		•				10
<i>Microspathodon chrysurus</i>		•	•	•			0	62	26.1	28.2	•			•	•	21
<i>Neopomacentrus cyanomos</i> *		•		•			0	53	25.2	28.5		•				12.5
<i>Stegastes adustus</i>		•	•	•			0	30	26.2	28.3	•				•	10.5
<i>Stegastes diencaeus</i>		•	•	•			0	45	26.1	28.2	•				•	12.5
<i>Stegastes leucostictus</i>		•	•	•	•		0.5	15	26.2	28.2	•				•	12
<i>Stegastes partitus</i>		•	•	•			0	130	24.2	28		•			•	13
<i>Stegastes planifrons</i>		•	•	•			0	43	25.6	28.2			•		•	12.5
<i>Stegastes anthurus</i>		•	•	•	•		0	100	24.2	28	•				•	12

DAMISELAS COMO CENTINELAS DE ECOSISTEMAS ARRECIFALES

A continuación, vamos a revisar si las damiselas cumplen con las características propuestas por Chapman (2002) y Berthet (2012) que en conjunto o la combinaciones de algunas de estas son deseables en la identificación de especies centinela. Para esta revisión se consideran las características de la familia, no únicamente de las damiselas distribuidas en México.

1. Fácilmente observables: las damiselas al ser peces conspicuos y generalmente abundantes son fácilmente observables en los ecosistemas arrecifales. A nivel global las damiselas miden entre ~5.5 cm (algunas especies del género *Chromis*) y ~40 cm (*Hypsypops* and *Microspathodon dorsalis*; Allen, 1991). Además, debido a su comportamiento alimenticio se les puede ver sobre el sustrato o en la columna de agua.

2. Fácilmente recolectables: Si nos interesa recolectar las damiselas y mantenerlas vivas, se pueden recolectar usando algún anestésico que se libera sobre el sustrato y cuando los peces se adormecen se recolectan con redes de mano. También, con mucha práctica, se pueden recolectar sin anestésico, solo con redes de mano, aunque es más complicado ya que rápidamente se resguardan en las oquedades del arrecife, pero es posible. Las damiselas pelágicas se pueden recolectar con atarrayas, ofreciendo carnada para atraerlas. Si no es importante mantenerlas vivas, se pueden recolectar con lanza, hawaiana o tridentes. La selección de una técnica u otra también dependen del tamaño de las especies a recolectar, si son muy pequeñas las redes de mano sería una buena opción, mientras que, para las más grandes las lanzas pueden ayudarnos.

3. Fácilmente cultivables: Las damiselas son un componente importante de los acuarios a nivel global ya que su cultivo en tanques es relativamente sencillo (Allen, 1991) y dada que su talla máxima es aproximadamente 40 cm, son manejables en acuarios domésticos.

4. Interactúan con numerosos componentes del sistema: Las damiselas se han agrupado históricamente en tres gremios tróficos: bénticas herbívoras, pelágicas zooplanctívoras, y bentopelágicas omnívoras (Frédérich et al., 2008; Cooper y Weasnet, 2009; Aguilar-Medrano et al., 2011), sin embargo, la dieta de las damiselas incluye un amplio número de componentes alimentarios que van desde el detritus hasta los pequeños peces o las larvas de peces; además, se sabe que estas especies son altamente oportunistas (Aguilar-Medrano et al., 2011), es decir, aprovechan cualquier recurso trófico disponible en el sistema. Las damiselas territoriales se

alimentan tanto de las algas de su territorio como de los invertebrados atraídos por este, sin embargo, este tapete atrae además peces que tratan de alimentarse de estos territorios, los cuales son ahuyentados por las damiselas. Se ha indicado que este comportamiento de proteger agresivamente su territorio afecta la distribución espacial de especies herbívoras que ramonean en el área (Jones, 2005). Además, las damiselas son componentes de la dieta de peces arrecifales grandes, como el mero y los pargos.

5. Su ausencia o disturbio sobre sus poblaciones causa modificaciones en la estructura y función del sistema: La ausencia o reducción en las poblaciones de damiselas zooplanctívoras implica una reducción de materia orgánica al sistema béntico (Robertson, 1982; Sale, 1991; Sazima et al., 2003). También, se ha indicado que, especialmente las damiselas territoriales, tienen una fuerte influencia en la estructura de las algas, corales, invertebrados y peces en los sistemas que habitan ya que utilizan y manejan una gran proporción del ecosistema (Ceccarelli, 2007). Se ha señalado que los territorios de las damiselas son espacios ricos en biomasa, actúan como trampas de sedimento y detrito y proveen de hábitat y alimento a invertebrados, por lo que existe una mayor diversidad dentro de los territorios de las damiselas que fuera de estos (Brawley y Adey, 1977; Hata y Nishihira, 2002). Además, las damiselas participan de las estaciones de limpieza, las cuales proveen de un servicio de suma importancia para organismo locales y aquellos con amplia distribución, reduciendo significativamente el efecto de los ectoparásitos (Grutter, 1997).

6. Sensibles a cambios en el ecosistema: Las damiselas se distribuyen principalmente en arrecifes coralinos y coralino-rocosos, sin embargo, también se ha indicado su presencia en costas rocosas, lagunas costeras y bosques de kelp (Allen, 1991), por lo que de manera general podemos decir que los cambios en estos ambientes pueden afectar a estas especies. Diferentes estudios han apoyado esta premisa, mostrando importantes declives en abundancia, diversidad y composición de damiselas después de una perturbación en los sistemas que habitan (Halford et al., 2004; Bellwood et al., 2006; 2012). Estos patrones son especialmente ciertos para aquellas especies especialistas o con una fuerte relación a un componente del sistema, como las especies coralívoras (muy pocas damiselas son coralívoras, ejem. *Plectroglyphidodon johnstonianus*) o las de los géneros *Amphiprion* y *Premnas* que muestran una fuerte asociación a anemonas, donde el declive del componente al que se encuentran relacionadas se traduce en un declive en la abundancia, diversidad y/o composición de damiselas. Sin embargo, la sensibilidad de las especies no siempre

significa que éstas disminuyan después de un disturbio. Algunas damiselas generalistas, como las plactívoras y algunas especies bénticas, puede aumentar sus poblaciones después de una perturbación, como cuando aumentan las algas en el sistema por un cambio de fase (Emslie et al., 2012; Pratchett, 2021).

7. Fieles al sistema: Las damiselas son fieles al sistema (Allen, 1991). Especialmente las damiselas territoriales, son altamente fieles al sistema debido a su comportamiento, por lo que se ha indicado que la selección de hábitat durante el reclutamiento de larvas de damiselas es una de las fuerzas más importantes en la distribución de los adultos (Gutiérrez, 1998).

8. Amplio y bien conocido rango de distribución: El rango de distribución de las damiselas se encuentra bien estudiado en el patrón latitudinal y longitudinal ya que son fácilmente identificables. No así en términos de profundidad para aquellas especies que alcanzan más de los 100 m de profundidad, sin embargo, este no es un problema específico a la familia. Específicamente para las damiselas distribuidas en aguas mexicanas se cuenta con recursos en línea para el Golfo de México y Caribe como Peces costeros del Gran Caribe (Robertson y Van Tassel, 2023), mientras que para el Pacífico está Peces Costeros del Pacífico Oriental (Robertson y Allen, 2024).

9. Longevidad: Algunas damiselas alcanzan más de 20 años de vida, sin embargo, la edad difiere de acuerdo al sistema en el que se encuentran, por ejemplo, Meekan et al. (2001) calcularon edades de hasta 32 años para *Stegastes acapulcoensis* en Galápagos, mientras que en Panamá la edad máxima registrada para esta especie fue de 12 años, de igual forma, *S. flavilatus* alcanzo 19 años en Baja California y 4 años en Panamá- Sin embargo, la damisela más longeva (hasta ahora descrita, porque falta mucho que hacer en este tema) es *Hypsypops rubicundus* que se distribuye en el Pacífico mexicano, ya que se calcula puede alcanzar 57 años de edad (Velte, 2004; Robetson y Allen, 2024). Si bien se cuenta con poca información de la longevidad de las damiselas, si comparamos lo que sabemos hasta ahora (4 años en *S. flavilatus* vs. 57 años en *H. rubicundus*) con el rango de longevidad de Acantúridos de 30 a 40 años (Choat y Axe, 1996) o Lábridos de 5 a 20 años (Choat et al., 1996), podemos apreciar que las damiselas son especies longevas.

10. Conocimiento de la biología de las especies: Si bien se cuenta con un amplio conocimiento de la biología de las damiselas, la mayoría de los trabajos se han enfocado en las damiselas del Indo-Pacífico. En México se están haciendo diversos esfuerzos para conocer más de esta familia en temas de anatomía

(Aguilar-Medrano et al., 2015a), dieta (Moreno-Sánchez et al., 2011; Oliver et al., 2019; Acosta-Pachón et al., 2022), distribución (Urbiola-Rangel y Chassin-Noria, 2013; Martínez-Torres et al., 2014; Hernández-Velasco et al., 2016), biogeografía (Aguilar-Medrano et al., 2015b), presencia de damiselas no nativas (Simões y Robertson, 2016), parásitos de damiselas (Mendoza-Franco et al., 2022), ecomorfología evolutiva (Aguilar-Medrano 2017; 2018; Aguilar-Medrano et al., 2011; 2013), entre otros trabajos, no específico a damiselas pero que las incluyen.

Sin embargo, aún existe mucho por hacer como conocer la dieta de más especies, ya que determina el flujo de energía y materia, las interacciones de los organismos y la función de las especies en los sistemas. Desarrollar análisis ontogenéticos, ya que estas especies cambian de forma, de hábitat, de dieta e inclusive de coloración de la fase juvenil a la fase adulta, lo que indica que su función es totalmente diferente entre juveniles y adultos. Entender el proceso reproductivo, desde la selección sexual, la selección del sitio de puesta, la puesta, el cuidado del nido, la multipaternidad, etc. Los patrones de distribución, la inclusión de la especie no nativa, genética poblacional, traslape de nicho, etc., es una lista interminable de conocimiento que podemos obtener de estos pequeños peces y que puede ser de mucha utilidad para entender los ecosistemas que habitan y para hacer esfuerzos más certeros en la conservación de las especies y sus ecosistemas.

CONCLUSIÓN

Las damiselas reúnen características que las hacen perfectos candidatos a centinelas de los ecosistemas arrecifales. Sin embargo, existe una gran cantidad de información de estos peces que desconocemos y que es sumamente importante determinar ya que mientras la degradación de los ecosistemas por fenómenos locales y globales avanza a pasos agigantados, el conocimiento general y particularmente de estos pequeños peces y de los ecosistemas que habitan avanza lentamente.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eduardo Balart Páez por facilitarme imágenes para este manuscrito. Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Proyecto 622179 y al Sistema Nacional de Investigadores, CONAHCYT. Al editor, Dr. Jesús Ángel de León González, y los tres revisores anónimos por su tiempo y excelentes comentarios que contribuyeron ampliamente a la mejora de este trabajo.



LITERATURA CITADA

- Aburto-Oropeza, O., E. Sala, C. Sánchez-Ortiz. 2000. Feeding behavior, habitat use, and abundance of the angelfish *Holocanthus passer* (Pomacanthidae) in the southern Sea of Cortés. *Environmental Biology of Fishes*. 57: 435–442.
- Acosta-Pachón, T.A., J.M. López-Vivas, A. Mazariegos-Villareal, K. León-Cisneros, R.O. Martínez-Rincón, E. Serviere-Zaragoza. 2022. Diet of the Cortez damselfish *Stegastes rectifraenum* (Gill, 1862) in the Gulf of California assessed by stomach content analysis. *Marine Biodiversity*. 52: 58. <https://doi.org/10.1007/s12526-022-01290-4>
- Allen, G.R. 1991. *Damselfishes of the world*. Mergus, Germany, 271 pp.
- Aguilar-Medrano, R. 2017. Ecomorphology and evolution of the pharyngeal apparatus of benthic damselfishes (Pomacentridae, subfamily Stegastinae). *Marine Biology*. 164:21. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-3051-3>
- Aguilar-Medrano, R. 2018. Ecomorphological trajectories of reef fish sister species (Pomacentridae) from both sides of the Isthmus of Panama. *Zoomorphology*. 137:315–327. <https://doi.org/10.1007/s00435-017-0391-6>
- Aguilar-Medrano, R., B. Frédérick, E. De Luna, E.F. Balart. 2011. Patterns of morphological evolution of the cephalic region in damselfishes (Perciformes, Pomacentridae) of the Eastern Pacific. *Biological Journal of the Linnean Society*. 102: 593–613.
- Aguilar-Medrano, R., B. Frédérick, E.F. Balart, E. De Luna. 2013. Diversification of the pectoral fin shape in damselfishes (Perciformes, Pomacentridae) of the Eastern Pacific. *Zoomorphology*. 132:197–213. <https://doi.org/10.1007/s00435-012-0178-8>
- Aguilar-Medrano, R. A. Kobelkowsky, E.F. Balart. 2015a. Anatomical description of the Cortés damselfish *Stegastes rectifraenum* (Perciformes: Pomacentridae). Key structures for omnivore feeding. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86: 934–946.
- Aguilar-Medrano, R., H. Reyes-Bonilla, D. Polly. 2015b. Adaptive radiation of damselfishes (Perciformes, Pomacentridae) in the eastern Pacific. *Marine Biology*. 162:2291–2303. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2759-9>
- Bellwood, D.R., A.S. Hoey, J.L. Ackerman, M. Depczynski. 2006. Coral bleaching, reef fish community phase shifts and the resilience of coral reefs. *Global Change Biology*. 12: 1587–1594.
- Bellwood, D.R., D.H. Baird, M. Depczynski, A. Gonzalez-Cabello, A.S. Hoey, C.D. Lefèvre, J.K. Tanner. 2012. Coral recovery may not herald the return of fishes on damaged coral reefs. *Oceanologia*. 170: 567–573.
- Berthet, B. 2012. Sentinel Species. Pp. 156–180. En: Amiard-Triquet, C., J.C. Amiard & P.S. Rainbow (Eds.) *Ecological Biomarkers*. CRC Press, New York, 464pp.
- Brawley, S.H., W.H. Adey. 1977. Territorial behavior of threespot damselfish (*Eupomacentrus planifrons*) increases reef algal biomass and productivity. *Environmental Biology of Fishes*. 2: 45–51.
- Bray R.N., L.J. Purcell, A.C. Miller. 1986. Ammonium excretion in a temperate-reef community by a planktivorous fish, *Chromis punctipinnis* (Pomacentridae), and potential uptake by young giant kelp, *Macrocystis pyrifera* (Laminariales). *Marine Biology*. 90:327–334.
- Ceccarelli D.M., G.P. Jones, L.J. McCook. 2001. Territorial damselfishes as determinants of the structure of benthic communities on coral reefs. *Oceanography and Marine Biology*. 39: 355–89.
- Ceccarelli, D.M. 2007. Modification of benthic communities by territorial damselfish: a multi-species comparison. *Coral Reefs*. 26: 853–866.
- Chapman, P.M. 2002. Integrating toxicology and ecology: putting the “eco” into ecotoxicology. *Marine Pollution Bulletin*. 44(1): 7–15.
- Choat J.H, L.M. Axe. 1996. Growth and longevity in acanthurid fishes: an analysis of otolith increments. *Marine Ecology Progress Series*. 134: 15–26.
- Choat J.H., L.M. Axe, D.C. Lou. 1996. Growth and longevity in fishes of the family Scaridae. *Marine Ecology Progress Series*. 145: 33–41.
- Clark-Wolf, T.J., K.A. Holt, E. Johansson, A.C. Nisi, K. Rafiq, L. West, P.D. Boersma, E.L. Hazen, S.E. Moore, B. Abrahms. 2024. The capacity of sentinel species to detect changes in environmental conditions and ecosystem structure. *Journal of Applied Ecology*. 61: 1638–1648.
- Cooper, W.J., M.W. Westneat. 2009. Form and function of damselfish skulls: rapid and repeated evolution into a limited number of trophic niches. *BMC Evolutionary Biology*. 9:1–17.
- Dirzo, R., H.S. Young, M. Galetti, G. Ceballos, N.J.B. Isaac, B. Collen. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science*. 345: 401–406.
- Emery, A.R. 1973. Comparative ecology and functional osteology of fourteen species of damselfish (Pisces: Pomacentridae) at Alligator Reef, Florida Keys. *Bulletin of Marine Sciences*. 23: 649–770.
- Emslie, M.J., M. Logan, D.M. Ceccarelli, A.J. Cheal, A.S. Hoey, I. Miller, H.P.A. Sweatman. 2012. Regional-scale variation in the distribution and abundance of farming damselfishes on

- Australia's Great Barrier Reef. *Marine Biology*. 159: 1293-1304.
- Frédérich, B., A. Pilet, E. Parmentier, P. Vandewalle. 2008. Comparative trophic morphology in eight species of damselfishes (Pomacentridae). *Journal of Morphology*. 269: 175-188.
- Froese, R., D. Pauly. 2024. FishBase. En: www.fishbase.org, versión 06/2024 (consultado el 16/12/2024).
- González-Gándara, C., V. de la Cruz-Francisco. 2014. Unusual record of the Indo-Pacific pomacentrid *Neopomacentrus cyanomos* (Bleeker, 1856) on coral reefs of the Gulf of Mexico. *Biological Invasions Records*. 3: 49-52.
- Gutter, A.S. 1997. Effect of the removal of cleaner fish on the abundance and species composition of reef fish. *Oecologia*. 111:137-143.
- Gutiérrez, L. 1998. Habitat selection by recruits establishes local patterns of adult distribution in two species of damselfishes: *Stegastes dorsopunicans* and *S. planifrons*. *Oecologia*. 115:268-77. <https://doi.org/10.1007/s004420050516>
- Halford, A., A.J. Cheal, D. Ryan, D.M. Williams. 2004. Resilience to long scale disturbance in coral and fish assemblages on the Great Barrier Reef. *Ecology*. 85:1892-1905.
- Hata, H., M. Nishihira. 2002. Territorial damselfish enhances multi-specific co-existence of foraminifera mediated by biotic habitat structuring. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 270: 215-240.
- Hata, H., M. Kato. 2004. Monoculture and mixed-species algal farms on a coral reef are maintained through intensive and extensive management by damselfishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 313(2): 285-296.
- Hernández-Velasco, A., F.J. Fernández-Rivera-Melo, S.M. Melo-Merino, J.C. Villaseñor-Derbez. 2016. Occurrence of *Holocanthus clarionensis* (Pomacanthidae), *Stegastes leucorus*, and *Stegastes acapulcoensis* (Pomacentridae) at Magdalena Bay, B.C.S., Mexico. *Marine Biodiversity Records*. 9: 49. <https://doi.org/10.1186/s41200-016-0062-1>
- IUCN. 2024. En: <https://www.iucnredlist.org/es> (consultado el 16/12/2024).
- Jones, K.M.M. 2005. The effect of territorial damselfish (family Pomacentridae) on the space use and behavior of the coral reef fish, *Halichoeres bivittatus* (Bloch, 1791) (family Labridae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 324(2): 99-111.
- Martínez-Torres M, H. Reyes-Bonilla, F.J. Fernández-Rivera-Melo, I. Sánchez-Alcántara, O.T. González-Cuellar, C.D. Morales-Portillo. 2014. Range extension of the blue and yellow damselfish *Chromis limbaughi* (Pomacentridae) to the northern Gulf of California, Mexico. *Marine Biodiversity Records*. 7: e43. doi:10.1017/S1755267214000281
- Meekan, M.G., J.L. Ackerman, G.M. Wellington. 2001. Demography and age structures of coral reef damselfishes in the tropical eastern Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*. 212: 223-232.
- Mendoza-Franco, E.F., N. Simões, V.M. Vidal-Martínez, M.L. Aguirre-Macedo, 2022. Rediscovering Monogenoids (Platyhelminthes) Parasitizing Pomacentrid and Chaetodontid Fishes from Cayo Arcas Reef, Gulf of Mexico. *Diversity*. 14: 985. <https://doi.org/10.3390/d14110985>
- Monte-Luna, P., D. Lluch-Belda, E. Serviere-Zaragoza, R. Carmona, H. Reyes-Bonilla, D. Auriolles-Gamboa, J. Castro-Aguirre, S. Guzmán del Proo, O. Trujillo-Millán, B. Brook. 2007. Marine Extinctions Revisited. *Fish and Fisheries*. 8(2): 107-122.
- Moreno-Sánchez XG, L.A. Abitia-Cárdenas, O. Escobar-Sánchez, D.S. Palacios-Salgado. 2011. Diet of the Cortez damselfish *Stegastes rectifraenum* (Teleostei: Pomacentridae) from the rocky reef at Los Frailes, Baja California Sur, Mexico. *Marine Biodiversity Records*. 4: e98. <https://doi.org/10.1017/S1755267211000996>
- Olivier D., G. Lepoint, R. Aguilar-Medrano, A.H. Ruvalcaba-Díaz, A. Sánchez-González, N. Sturaro. 2019. Ecomorphology, trophic niche, and distribution divergences of two common damselfishes in the Gulf of California. *Comptes Rendus. Biologies*. 342(9-10): 309-321. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2019.11.001>.
- Parenti, P. 2021. An annotated checklist of damselfishes, Family Pomacentridae Bonaparte, 1831. *Journal of Animal Diversity*. 3(1): 37-109.
- Pratchett, M.S., A.S. Hoey, S.K. Wilson, J.P.A. Hobbs, G.R. Allen. 2021. Habitat-use and specialization among coral reef damselfishes. Pp. 84-121. En: Frédéricich, B. & E. Parmentier (Eds.). *Biology of Damselfishes*. CRC Press, New York, 340pp.
- Robertson, D.R. 1982. Fish feces as fish food on a Pacific coral reef. *Marine Ecology Progress Series*. 7: 253-265.
- Robertson, D.R., J. Van Tassell. 2023. Shorefishes of the Greater Caribbean: online information system. Version 3.0 Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá. En: <https://biogeodb.stri.si.edu/caribbean/es/pages> (consultado el 16/12/2024).
- Robertson, D.R., G.R. Allen. 2024. Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific: online information system. Version 3.0 Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá. En: <https://biogeodb.stri.si.edu/sfstep/> (consultado el 16/12/2024).
- Sale, P.F. 1991. The ecology of fishes on coral reefs. *Academy Press, San Diego*, 754 pp.
- Sazima, I., C. Sazima, J.M. Silva Jr. 2003. The cetacean offal connection: feces and vomits of spinner dolphins as a food source for reef fishes. *Bulletin of Marine Sciences*. 72(1): 151-160.
- Simões, N., D.R. Robertson. 2016. An Indo-Pacific damselfish on an oil-platform in the southwest Gulf of Mexico. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.58455>
- Urbiola-Rangel, E., O. Chassin-Noria. 2013. Conectividad genética de *Stegastes acapulcoensis* (Pomacentridae) en el Pacífico central de México. *Hidrobiológica*. 23(3): 415-419.
- Velte, F. 2004. Wie alt werden Riffbarsche?. *Datz*. 57: 26.





BLANQUEAMIENTO CORALINO

¿EXISTE UN FUTURO PARA
LOS ARRECIFES DE CORAL?

/// GUILLERMO HORTA-PUGA



Figura 1. Arrecifes coralinos deteriorados. Arriba: el fondo está cubierto por algas coralinas encostrantes. Siguiendo página: el fondo presenta una alta cobertura de la macroalga carnosa *Lobophora variegata*. Arrecife Anegada de Adentro, Sistema Arrecifal Veracruzano.

RESUMEN

Los arrecifes de coral están seriamente amenazados por el aumento de las temperaturas oceánicas causadas por el calentamiento global. Un aumento de 1-2 °C durante el verano, interfiere en la fotosíntesis de las microalgas endosimbiontes (zooxantelas), que viven en el interior de los corales formadores de arrecifes. Al perder la capacidad de producir compuestos orgánicos, que utilizan los corales como alimento, el coral las expulsa. Este fenómeno se conoce como blanqueamiento, y potencialmente causa la muerte coralina. El 2023 fue declarado el año más cálido en el registro climático reciente, y fue causa del cuarto evento global de blanqueamiento masivo coralino. Desafortunadamente este evento afectó los arrecifes coralinos de México, tanto en el Pacífico como en el Atlántico.

ABSTRACT

Coral reefs are seriously threatened by rising ocean temperatures driven by global warming. A 1-2 °C increase during summer, disturb the photosynthesis performed by the endosymbiotic microalgae (zooxanthellae), that live in reef corals. When their capacity is lost to produce organic compounds, that coral use as food, they are expelled from tissues. This is the process known as bleaching, which potentially cause coral death. The 2023 was declared as the warmest year on the recent climate record, and was the cause of the fourth global coral bleaching event. Unfortunately, this event impacted Mexican corals reefs, both in the Atlantic and in the Pacific.



Palabras clave: Arrecifes de coral, blanqueamiento coralino, México.

Keywords: Coral reefs, coral bleaching, Mexico.



POBLACIÓN HUMANA Y EL USO DE RECURSOS NATURALES

El impacto del hombre en la biosfera ha sido muy amplio y complejo y a menudo ha llevado a cambios irreversibles. El hombre primitivo interfería muy poco y mantenía una relación estable con su entorno. Sin embargo, la capacidad creciente del hombre para alterar su ambiente y controlar algunos procesos naturales para su propio beneficio, ha sido una fuente de cambios drásticos que alteran el balance natural y el flujo de energía en los ecosistemas. Los procesos geológicos y biológicos sobre la superficie de la tierra ocurren a escalas de miles y cientos de miles de años, lo que permite la adecuación de los ecosistemas al cambio (evolución). Pero, los cambios inducidos por la actividad humana se acumulan a escalas de días, meses y años, muy rápidamente, a tal grado que no les han permitido a los ecosistemas adaptarse al cambio y, por lo tanto, se han deteriorado ostensiblemente, como es el caso de los arrecifes de coral (Figura 1).

Las comunidades humanas prehistóricas se sostenían con base en la recolección de plantas como fuente de alimento. Asimismo, desarrollaron artefactos de piedra para la cacería de diversas presas, con la cual complementar su dieta. Estas actividades tenían un bajo impacto en el ambiente. No obstante, con el descubrimiento de la agricultura y la domesticación

de especies animales, el hombre también tuvo la capacidad de modificar drásticamente su entorno. Así, áreas extensas se deforestaron para dar paso a actividades agropecuarias, para el establecimiento de asentamientos urbanos y el nacimiento de las civilizaciones de la antigüedad. Esto implicó un aumento de la población humana de 4 millones hace 10,000 años, a 200 millones en siglo I de nuestra era y mil millones para el año 1800 (Roser & Ritchie, 2023). Lo anterior, aunado a la sobreexplotación de los recursos naturales en las inmediaciones, fue la causa de un fuerte impacto ambiental a escalas local y regional.

A mediados del siglo XVIII, en el inicio de la llamada revolución industrial, se inventó la máquina de vapor, un avance significativo ya que la producción de diversas manufacturas pasó de ser una actividad manual donde los objetos de uso cotidiano se fabricaban de uno en uno, a una actividad industrial con maquinaria sofisticada que requería la quema de grandes cantidades de carbón mineral para su funcionamiento. Posteriormente, ya en el siglo XIX un derivado del petróleo, la gasolina, reemplaza al carbón como el principal combustible, el cual se usa principalmente en los vehículos automotores. La población ahora tiene acceso a medios de transporte eficientes, producción masiva de bienes, y electricidad para el uso doméstico, todo esto gracias a la quema de combustibles fósiles, que siguen siendo hasta nuestros días, la principal fuente de energía. De esta forma la población humana

aumentó drásticamente a 2000 millones en los 1920s, 4000 millones en los 1970s, para finalmente llegar a los 8000 millones en esta década (WOM, 2025) (Figura 2). Ahora la escala de impacto ambiental a dejado de ser local y regional, para convertirse en global, por lo que los efectos de la actividad humana se extienden a todos los rincones y ecosistemas de nuestro planeta.

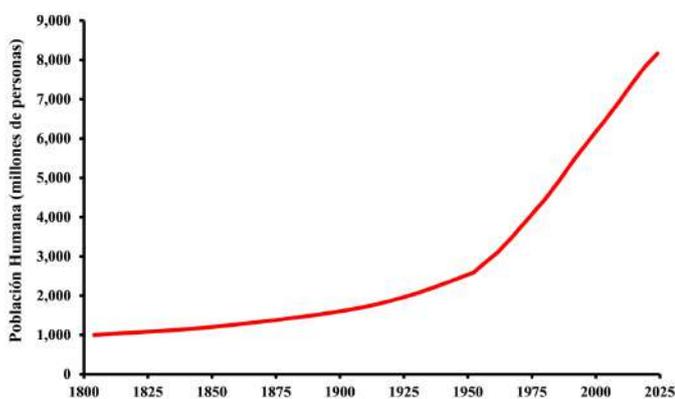


Figura 2. Población humana durante los dos últimos siglos (modificado de WOM 2025).

CALENTAMIENTO GLOBAL

Las emisiones de bióxido de carbono (CO_2), debido a la quema de combustibles fósiles, como son carbón, gas natural y petróleo y sus derivados, han pasado de un promedio anual de 1 GT (1 GT = 1000 millones de toneladas) a inicios del siglo XIX, a 5 GT en promedio hasta mediados del siglo XX (Figura 3). Ya en el 2023 el promedio anual rebasó las 36 GT (OWD, 2025). Así la concentración promedio global de bióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado de 280 ppm en 1800 a 428 ppm en el 2024 (Figura 4), un aumento de más del 50% en los últimos 200 años (NOAA, 2023; CO_2L , 2025). Dado que el CO_2 es un gas de efecto invernadero, lo que significa que absorbe el calor que la tierra irradia, después de calentarse durante el día, el aumento de su concentración también ha sido la causa de un aumento sostenido de la temperatura anual promedio global, lo que ahora conocemos como calentamiento global. Así, la temperatura anual promedio global actual ha aumentado cerca de $1.4\text{ }^\circ\text{C}$ con respecto al promedio en el siglo XIX, y los últimos 10 años han sido los más calurosos considerando los registros históricos (Figura 5) (BE, 2024). De hecho, el 2023 fue declarado el año más cálido, con una temperatura global promedio de $14.98\text{ }^\circ\text{C}$, que fue $1.48\text{ }^\circ\text{C}$ superior al promedio del siglo XIX (Copernicus, 2024; NASA 2024). Y el 2024 es posible que, en cuanto se disponga de todos los registros alrededor del planeta, sea declarado todavía más cálido (WMO, 2024). Dado que la quema de combustibles continúa en aumento, concomitantemente la temperatura global seguirá incrementándose, lo que potencialmente disparará cambios irreversibles como son el deshielo de los polos, glaciares y el permafrost, la ralentización de las corrientes marinas y la desaparición de los arrecifes de coral tropicales (Lenton *et al.*, 2019; Armstrong-McKay *et al.*, 2022).

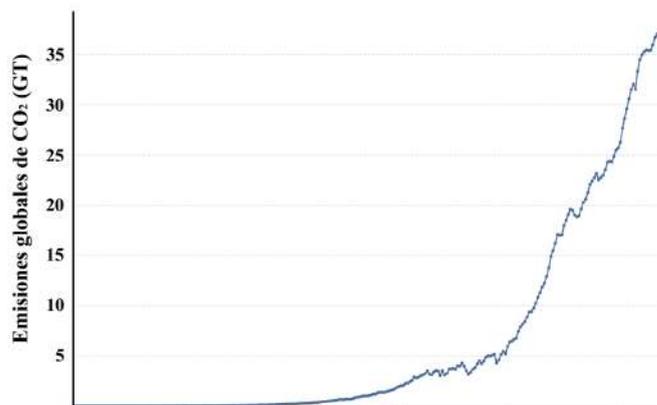


Figura 3. Emisiones globales anuales totales de CO_2 hacia la atmósfera, derivados de la quema de combustibles y de la actividad industrial (modificado de OWD 2025).



Figura 4. Concentración promedio anual de CO_2 en la atmósfera (modificado de CO_2L 2025).

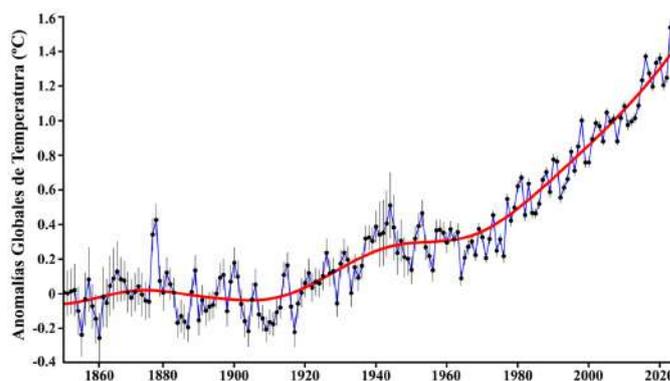


Figura 5. Anomalías anuales globales promedio de temperatura atmosférica en la superficie, con respecto al promedio para el periodo 1850-1900. La línea roja representa la tendencia (modificado de BE 2024).

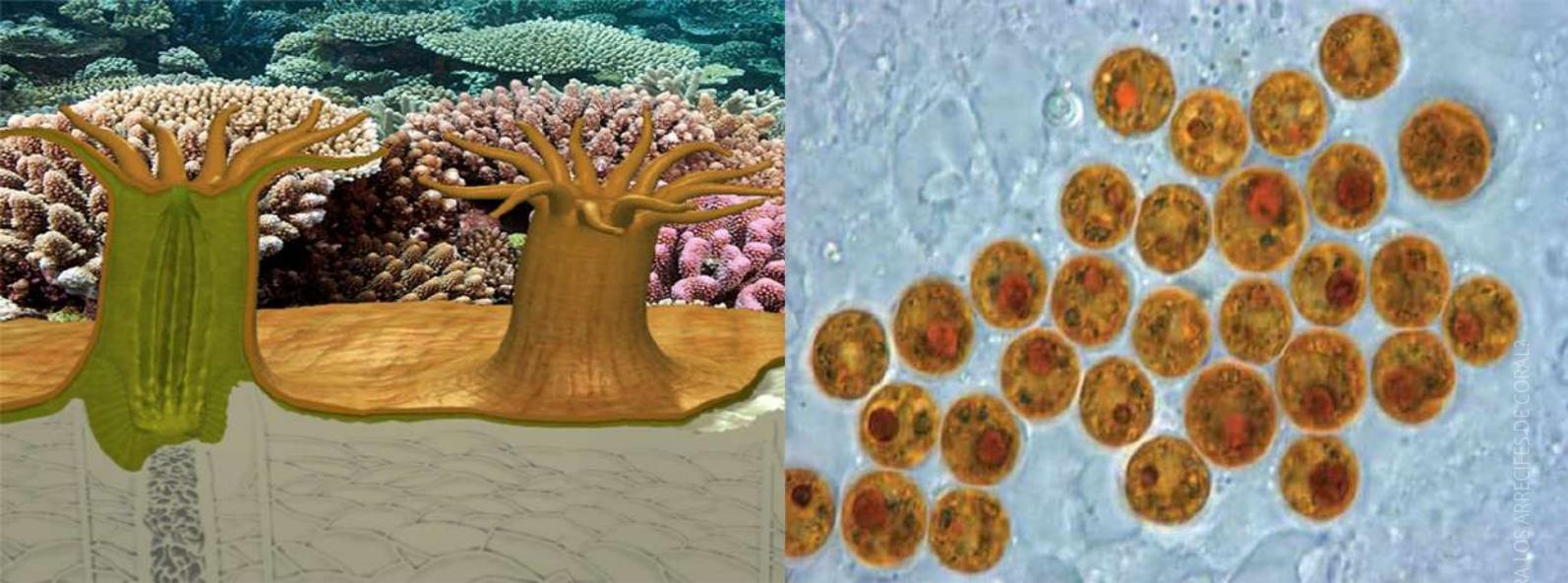


Figura 6. Derecha: anatomía del pólipo coralino (tomado de CAS 2025). Izquierda: micrografía de zooxantelas endosimbiontes (tomado de NW 2023).

LOS CORALES FORMADORES DE ARRECIFES

Los corales formadores de arrecifes, también llamados hermatípicos, son organismos bentónicos marinos que pertenecen al Orden Scleractinia del Filo Cnidaria (Daly *et al.*, 2007). Los corales hermatípicos generalmente son coloniales, formados por cientos a miles de pólipos. Cada pólipo es como un cilindro hueco con la boca en posición superior, la cual está rodeada de tentáculos. La pared del cuerpo está formada por tres capas, epidermis, mesoglea y gastrodermis (Figura 6). Esta última, que está sumamente plegada, recubre la cavidad gastrovascular interna. El cuerpo está cubierto por un exoesqueleto de carbonato de calcio (Wallace, 2019). El ciclo de vida incluye una fase larvaria planctónica, la plánula, que se dispersa por las corrientes hasta encontrar un sustrato adecuado, asentándose y transformándose en un pólipo. Cada pólipo por gemación produce un mayor número de pólipos, todos unidos histológicamente, para formar una colonia (Harrison & Wallace, 1990). Los corales tienen tasas de crecimiento (0.6-1.0 cm/año) y calcificación (0.5-2.0 g/cm²/año) altas, por lo cual pueden crecer hasta alcanzar varios metros de altura y diámetro, y su esqueleto pesar decenas de toneladas (Dullo, 2005; Norzagaray-López *et al.*, 2019). Una característica fundamental de los corales hermatípicos, es que tienen una relación simbiótica con las zooxantelas (Dinoflagellata, Symbiodiniaceae), que son algas unicelulares que se encuentran en el interior de las células de la gastrodermis (LaJeunesse *et al.*, 2018). Las zooxantelas tienen una gran capacidad fotosintética, por lo cual translocan diversos compuestos orgánicos, brindándole al coral hasta el 90% de sus requerimientos alimenticios (Muscatine, 1990; Muscatine & Porter, 1997). Sin embargo, esto ha hecho dependientes a los corales de las zooxantelas, de tal forma que los corales mueren de hambre si se suspende el suministro de fotosintetatos y/o se pierden las zooxantelas (Grottoli *et al.*, 2006).

BLANQUEAMIENTO CORALINO

Los corales hermatípicos usualmente habitan los mares tropicales, con temperaturas anuales promedio de 22-29 °C. Pero, en los meses de verano las temperaturas son más altas, y en ese periodo las zooxantelas endosimbiontes viven en el límite de su tolerancia térmica, de tal forma

que un aumento de 1-2 °C por arriba de la temperatura promedio mensual más alta del año, interrumpe la capacidad de fotosíntesis de la zooxantelas. La respuesta del coral es expulsar las zooxantelas de su cuerpo, ya que éstas ahora no le brindan beneficio alguno. Los corales pierden su coloración característica, tornándose blanquecinos, por lo cual a este fenómeno se le denominó blanqueamiento coralino (Glynn, 1983; Lough & van Oppen, 2018) (Figura 7). Durante el verano del 2023 las temperaturas oceánicas en México rebasaron el umbral térmico de las zooxantelas por hasta 3 °C, por lo cual se registraron eventos de blanqueamiento masivo coralino en Huatulco (López-Pérez *et al.*, 2023), Caribe Mexicano (Gaceta UNAM, 2023), y en Veracruz (Horta-Puga *et al.*, 2023). El impacto fue de tal magnitud, que entre 50-90% de los corales perecieron en diversos arrecifes de Huatulco (López-Pérez *et al.*, 2024), y en Veracruz poco más del 50% de los corales de 27 especies diferentes mostraron signos de blanqueamiento (Horta-Puga *et al.*, 2023) (Figura 8). De hecho, no solo se presentó blanqueamiento coralino masivo en México, también se registró en diversas localidades como son Florida, el Caribe y Brasil en el Atlántico; la Gran Barrera Australiana, Fiji, Vanuatu, Tuvalu, Kiribati, Samoa, la Polinesia Francesa y América tropical desde México hasta Colombia en el Pacífico; y el Mar Rojo, el Golfo Pérsico, las Seychelles, Mauricio y África oriental en el Índico. Lo anterior llevó a la comunidad científica a declarar el 2023 como el cuarto evento de blanqueamiento masivo coralino a nivel global, al igual que en 1998, 2010 y 2015 (ICRI, 2024; NOAA, 2024; Reimer *et al.*, 2024).

EL FUTURO DE LOS ARRECIFES DE CORAL

Es conocido que los arrecifes de coral prestan múltiples servicios ecosistémicos. Los arrecifes son geoestructuras que actúan como un rompeolas, protegiendo la costa del oleaje de tormenta. Los esqueletos coralinos se usan como material de construcción, ya sea como ladrillos o para la fabricación de cal. La arena blanca, producto de la erosión de los esqueletos calcáreos genera playas que son visitadas por millones de turistas, lo que significa una derrama económica de muchos millones en hospedaje, alimentos y servicios turísticos. El ecoturismo y las actividades de educación ambiental, así como ya sea por actividades contemplativas de la fauna arrecifal



Figura 7. Corales hermatípicos sanos y con signos de blanqueamiento. Arriba: *Colpophyllia natans*. Abajo: *Montastraea cavernosa*

por medio del buceo libre y autónomo, también son un servicio que presta el ecosistema arrecifal. A través de la pesca de diversas especies de peces, pulpos, caracoles, almejas y langosta, se obtiene alimento y esto representa una fuente de ingresos para los pescadores (Moberg & Folke, 1999; Horta-Puga, 2007; Moberg & Rönnbäck, 2023).

Los arrecifes de coral, a pesar de que solo representan el 0.1% de la superficie oceánica, se calcula albergan a cerca del 25% de las especies que habitan los mares, por lo que son los ecosistemas más diversos de nuestro planeta (Knowlton *et al.*, 2010; Plaisance *et al.*, 2011). Así, miles de especies de prácticamente todos los grupos biológicos como son virus, bacterias, hongos, protozoos,

algas, plantas, esponjas, cnidarios, platelmintos, nematodos, moluscos, anélidos, crustáceos, briozoos, equinodermos y peces, los podemos encontrar en los arrecifes de coral (Reaka-Kudla, 1997; Small *et al.*, 1998; Idjadi & Edmonds, 2006).

Desafortunadamente las actividades humanas cada vez ejercen un mayor impacto en los arrecifes coralinos. El uso indiscriminado de sus recursos, la sobrepesca, la destrucción de los hábitats asociados como son manglares y pastos marinos, el turismo excesivo, una disminución en la calidad del agua por el aumento de la concentración ambiental de sedimentos terrígenos, nutrientes y otros contaminantes químicos, son una constante en la mayoría de los arrecifes que se ubican en las costas de los

continentes (Halpern *et al.*, 2007; Ban *et al.*, 2014. Y esto ha influido negativamente disminuyendo la cobertura coralina (proporción del área del fondo cubierta por corales vivos y saludables) durante las últimas décadas, de tal forma que ahora difícilmente encontramos coberturas mayores al 10% (Gardner *et al.*, 2003; Bruno & Selig, 2007; Horta-Puga *et al.*, 2019). Otro problema importante, generado por la contaminación y el aumento de nutrientes, es que las macroalgas bentónicas está sustituyendo a los corales, en un proceso que se denomina cambio de fase, y que afecta seriamente la viabilidad del ecosistema (Hughes *et al.*, 2007, Horta-Puga *et al.*, 2020).

Sin embargo, la amenaza más grande para los arrecifes coralinos de todo el planeta son los efectos del calentamiento global, en especial el blanqueamiento coralino masivo (Hoegh-Gulderg *et al.*, 2007; Carpenter *et al.*, 2008; Hoegh-Gulderg, 2011; Hughes *et al.*, 2017). El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), ha convocado a expertos de todas las disciplinas científicas para que analicen las causas, determinen las posibles repercusiones y propongan una estrategia para mitigar los efectos del calentamiento global (IPCC, 2021).

Entre los resultados obtenidos destacan los escenarios de cambio climático considerando para el siglo XXI considerando las emisiones de CO₂ y la evolución socioeconómica de la humanidad. En todos los casos la temperatura global promedio aumentará de 1.4-4.4 °C para finales de siglo. Se prevé una desaceleración de la circulación termohalina oceánica, así como un aumento de las ondas marina de calor, de sequías o lluvias intensas según la ubicación, en el número e intensidad de huracanes, el deshielo de las capas polares y del permafrost, la acidificación del océano, y un incremento en el nivel medio del mar (Lenton *et al.*, 2019; Armstrong-McKay *et al.*, 2022). Pero, lo más importante y desafortunado, es que bajo este conjunto de condiciones adversas también se prevé la desaparición de los arrecifes coralinos antes del 2050. Si la humanidad no hace algo por detener el calentamiento global, muy pronto la existencia de los arrecifes coralinos estará seriamente comprometida. De hecho, en este 2024, nuevamente observamos blanqueamiento coralino en los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (Horta-Puga *et al.*, 2024). Quizás seamos la última generación que tengamos el privilegio de conocer los arrecifes de coral.



Figura 8. Blanqueamiento masivo coralino en el Sistema Arrecifal Veracruz, Golfo de México, en septiembre del 2023. Arriba: arrecife Aneгада de Adentro. En medio: arrecife La Blanquilla. Abajo: arrecife Isla Verde.



LITERATURA CITADA

- Armstrong-McKay, D.I., A. Staal, J.F. Abrams, R. Winkelmann, B. Sakschewski, S. Loriani, Lenton, T.M. 2022. Exceeding 1.5 °C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*. 377(6611). doi:10.1126/science.abn7950
- Ban, S.S., N.A. Graham, S.R. Connolly. 2014. Evidence for multiple stressor interactions and effects on coral reefs. *Global Change Biology*. 20(3), 681-697. doi:10.1111/gcb.12453.
- BE. 2024. Global temperature report for 2023. Berkeley Earth. Available from: <https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2023/> (consultado el 03/01/2025).
- Bruno, J.F., E.R. Selig. 2007. Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: Timing, extent, and subregional comparisons. *PLoS One*. 2(8):e711. doi:10.1371/journal.pone.0000711
- Carpenter, K.E., M. Abrar, G. Aeby, R.B. Aronson, S. Banks, A. Bruckner, E. Wood. 2008. One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science*. 321(5888):560-563. doi:10.1126/science.1159196.
- CAS. 2025. Is a coral a predator, a producer, or both? California Academy of Sciences. <https://www.calacademy.org/educators/is-a-coral-a-predator-a-producer-or-both> (consultado el 03/01/2025).
- CO2L. 2025. Atmospheric CO2 levels graph. CO2Levels. <https://www.co2levels.org/> (consultado el 03/01/2025).
- Copernicus. 2024. The 2023 annual climate summary: Global climate highlights 2023-2024. <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023> (consultado el 03/01/2025).
- Daly, M., M.R. Brugler, P. Cartwright, A.G. Collins, M.N. Dawson, D.G. Fautin, S.C. France, C.S. McFadden, D.M. Oprezko, E. Rodríguez, S.L. Romano, J.L. Stake. 2007. The phylum Cnidaria: A review of phylogenetic patterns and diversity 300 years after Linnaeus. *Zootaxa*. 1668:127-182. doi:10.5281/zenodo.180149
- Dullo, W.C. 2005. Coral growth and reef growth: a brief review. *Facies*. 51:33-48. doi:10.1007/s10347-005-0060-y
- Gaceta UNAM. 2023. Muerte masiva de corales en arrecifes mexicanos. <https://www.gaceta.unam.mx/muerte-masiva-de-corales-en-arrecifes-mexicanos/> (consultado 03/01/2025).
- Gardner, T.A., I.M. Côté, J.A. Gill, A. Grant, A.R. Watkinson. 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*. 301:958-960. doi:10.1126/science.1086050
- Glynn, P.W. 1983. Extensive "bleaching" and death of reef corals on the Pacific coast of Panama. *Environmental Conservation*. 10:149-54. doi:10.1017/s0376892900012248
- Grottoli, A.G., L.J. Rodrigues, J.E. Palardy. 2006. Heterotrophic plasticity and resilience in bleached corals. *Nature*. 440:1186-89. doi:10.1038/nature04565
- Halpern, B.S., K.A. Selkoe, F. Micheli, C.V. Kappel. 2007. Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation Biology*. 21(5):1301-1315. doi:10.1111/j.1523-1739.2007.00752.x
- Harrison, L.P., C.C. Wallace. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. Pp. 133-207. En: Dubinsky Z. (Ed.). *Coral Reefs. Ecosystems of the World* 25. Elsevier, Amsterdam.
- Hoegh-Guldberg, O. 2011. Coral reef ecosystems and anthropogenic climate change. *Regional Environmental Change*. 11:215-227. doi:10.1007/s10113-010-0189-2
- Hoegh-Guldberg, O., P.J. Mumby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, P. Greenfield, E. Gómez, C.D. Harvell, P.F. Sale, A.J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C.M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R.H. Bradbury, A. Dubi, M.E. Hatzilios. 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*. 318:1737-1742. doi:10.1126/science.1152509
- Horta-Puga, G. 2007. Environmental impacts. Pp. 126-142. En: Tunnell, J.W., E.A. Chávez, K. Whithers (eds.). *Coral reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, College Station, TX.
- Horta-Puga, G., L. Álvarez-Filip, R.A. Cabral-Tena, A. López-Pérez, L. Ortiz Lozano, H. Pérez-España, H. Reyes-Bonilla. 2019. Coastal coral reefs in Mexico. Pp. 329-366. En: Botello, A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez (eds.). *Costas y mares mexicanos: Contaminación, impactos, vulnerabilidad y cambio climático*. UNAM, UAC, Campeche.
- Horta-Puga, G., J.L. Tello-Musi, A. Córdova, A. Gutiérrez-Carrillo, J. Gutiérrez-Martínez, Morales-Aranda, A.A. 2020. Spatio-temporal variability of benthic macroalgae in a coral reef system highly influenced by fluvial discharge: Veracruz, Gulf of Mexico. *Marine Ecology* 41(4):e12596. doi:10.1111/maec.12596
- Horta-Puga, G., J. Gutiérrez-Martínez, A.A. Morales-Aranda, M. Victoria-Muguira. 2023. First report of mass bleaching in the Southwestern Gulf of Mexico. *Reef Encounter*. 54:59-64. <https://coralreefs.org/society-publications/reef-encounter/>
- Horta-Puga, G., E. Ramírez-Chávez, J. Bello-Pineda. 2024. Blanqueamiento coralino: ¿El cuarto jinete del apocalipsis para los arrecifes de coral?. *Espacio Profundo*. 188:23-28. <https://www.espacioprofundo.com.mx/revistadigital/188/22/>
- Hughes, T.P., M.J. Rodrigues, D.R. Bellwood, D. Ceccarelli, O. Hoegh-Guldberg, L. McCook, N. Moltschaniwskyj, M.S.

- Pratchett, R.S. Steneck, B. Willis. 2007. Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current Biology*. 17(4):360-365. doi: 10.1016/j.cub.2006.12.049.
- Hughes, T.P., J.T. Kerry, M. Álvarez-Noriega, J.G. Álvarez-Romero, K.D. Anderson, A.H. Baird, R.C. Babcock, M. Beger, D.R. Bellwood, R. Berkelmans, T.C. Bridge, I.R. Butler, M. Byrne, N.E. Cantin, S. Comeau, S.R. Connolly, G.S. Cumming, S.J. Dalton, G. Diaz-Pulido, C.M. Eakin, W.F. Figueira, J.P. Gilmour, H.B. Harrison, S.F. Heron, A.S. Hoey, J.A. Hobbs, M.O. Hoogenboom, E.V. Kennedy, C.Y. Kuo, J.M. Lough, R.J. Lowe, G. Liu, M.T. McCulloch, H.A. Malcolm, M.J. McWilliam, J.M. Pandolfi, R.J. Pears, M.S. Pratchett, V. Schoepf, T. Simpson, W.J. Skirving, B. Sommer, G. Torda, D.R. Wachenfeld, B.L. Willis, S.K. Wilson. 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*. 543:373-377. doi:10.1038/nature21707
- ICRI. 2024. NOAA and ICRI confirm fourth global coral bleaching event. (International Coral Reef Initiative. <https://icriforum.org/4gbe/> (consultado el 03/01/2025).
- Idjadi, J.A., P.J. Edmunds. 2006. Scleractinian corals as facilitators for other invertebrates on a Caribbean reef. *Marine Ecology Progress Series*. 319:117-127. doi:10.3354/meps319117.
- IPCC. 2021. Technical summary. The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK y USA. doi:10.1017/9781009157896.002
- Knowlton, N., R.E. Brainard, R. Fisher, M. Moews, L. Plaisance, M.J. Caley. 2010. Coral reef biodiversity. Pp. 65-74. En: McIntyre, A.D. (ed.). *Life in the world's oceans: diversity distribution and abundance*. Wiley-Blackwell, UK.
- Lajeunesse, T.C., J.E. Parkinson, P.W. Gabrielson, H.J. Jeong, J.D. Reimer, C.R. Voolstra, S.R. Santos. 2018. Systematic revision of Symbiodiniaceae highlights the antiquity and diversity of coral endosymbionts. *Current Biology*. 28:2570-80. doi:10.1016/j.cub.2018.07.008.
- Lenton, T.M., J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen, H.J. Schellnhuber. 2019. Climate tipping points too risky to bet against. *Nature*. 575:592-595. doi: 10.1038/d41586-019-03595-0.
- López-Pérez, A., E. Ramírez-Chávez, R. Granja-Fernández, F.A. Rodríguez-Zaragoza, O. Valencia-Méndez, V. Antonio-Pérez. 2023. El Niño 2023 event in the Southern Mexican Pacific: A preliminary report of an imminent disaster. *Reef Encounter*. 54:64-66. <https://coralreefs.org/society-publications/reef-encounter/>
- López-Pérez, A., R. Granja-Fernández, E. Ramírez-Chávez, O. Valencia-Méndez, F.A. Rodríguez-Zaragoza, T. González-Mendoza, A. Martínez-Castro. 2024. Widespread coral bleaching and mass mortality of reef-building corals in Southern Mexican Pacific reefs due to 2023 El Niño Warming. *Oceans* 2:196-209. <https://doi.org/10.3390/oceans5020012>
- Lough, J.M., M.J.H. van Oppen. 2018. Introduction: coral bleaching-patterns, processes, causes and consequences. Pp.1-8. En: van Oppen, M.J.H., J.M. Lough (eds.). *Coral bleaching, patterns, processes, causes and consequences*. *Ecological Studies* 233. Springer, Australia.
- Moberg, F., C. Folke. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*. 29:215-233. doi:10.1016/S0921-8009(99)00009-9
- Moberg, F., P. Rönnbäck. 2003. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean and Coastal Management*. 46:27-46. doi:10.1016/S0964-5691(02)00119-9
- Muscatine, L. 1990. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in coral reefs. Pp 75-87. En: Dubinsky, Z. (ed.). *Ecosystems of the World*. Elsevier, Amsterdam.
- Muscatine, L., J.W. Porter. 1997. Reef corals mutualistic symbioses adapted to nutrient-poor environments. *Biosciences*. 27:454-460. doi:10.2307/1297526
- NASA. 2024. NASA analysis confirms 2023 as warmest year on record. National Aeronautics and Space Administration. <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-analysis-confirms-2023-as-warmest-year-on-record/> (consultado el 03/01/2025).
- NOAA. 2023. Greenhouse gases continued to increase rapidly in 2022. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.noaa.gov/news-release/greenhouse-gases-continued-to-increase-rapidly-in-2022> (consultado el 03/01/2025).
- NOAA. 2024. NOAA confirms 4th global coral bleaching event. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.noaa.gov/news-release/noaa-confirms-4th-global-coral-bleaching-event>
- Norzagaray-López, C.A., L.E. Calderón-Aguilera, L. Álvarez-Filip, L.M. Barranco-Servin, R.A. Cabral-Tena, J.P. Carricart-Ganivet, A. Cupul-Magaña, G. Horta-Puga, A. López-Pérez, H. Pérez-España, H. Reyes-Bonilla, A.P. Rodríguez-Troncoso, J.J.A. Tortolero-Langarica. 2019. Arrecifes y comunidades coralinas. Pp. 127-149. En: Paz-Pellat, F., J.M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos, A.S. Velázquez-Rodríguez (eds.). *Estado del Ciclo de Carbono: Agenda Azul y Verde*, México. Programa Mexicano del Carbono, CDMX.
- NW. 2023. What are zooxanthellae?. *NatureWeb*. <https://natureweb.co/zooxanthellae/> (consultado el 03/01/2025).
- OWD. 2025. CO₂ emissions by fuel. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel> (consultado el 03/01/2025).
- Plaisance, L., M.J. Caley, R.E. Brainard, N. Knowlton. 2011. The diversity of coral reefs: what are we missing?. *PLoS One*. 6(10):e25026. doi: 10.1371/journal.pone.0025026
- Reaka-Kudla, M.L. 1997. The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests. Pp. 83-108. En: Reaka-Kudla, M.L., D.E. Wilson, E.O. Wilson (eds.). *Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources*. Joseph Henry Press, Washington, DC.
- Reimer, J.D., R.S. Peixoto, S.W. Davies, N. Traylor-Knowles, M.L. Short, R.A. Cabral-Tena, J.A. Burt, I. Pessoa, A.T. Banaszak, R.Scott-Winters, T. Moore, V. Schoepf, D. Kaullising, L.E. Calderón-Aguilera, G. Wörheide, S. Harding, V. Munbodhe, A. Mayfield, T. Ainsworth, T. Vardi, C.M. Eakin, M.S. Pratchett, C.R. Voostra. 2024. The fourth global coral bleaching event: Where do we go from here? *Coral Reefs* 43:1121-1125. <https://doi.org/10.1007/s00338-024-02504-w>
- Roser, M., H. Ritchie. 2023. How has world population growth changed over time?. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/population-growth-over-time> (consultado el 03/01/2025).
- Small, A., W.H. Adey, D. Spoon. 1998. Are current estimates of coral reef biodiversity too low? The view through the window of a microcosm. *Atoll Research Bulletin*. 458:1-20. doi:10.5479/si.00775630.458.1
- Wallace, C.C. 2019. Hexacorals 2: reef-building or hard corals (Scleractinia). Pp. 267-282. En: Hutchings, P.A., M. Kingsford, O. Hoegh-Guldberg (eds.). *The Great Barrier Reef: Biology, environment, and management*. Australian Coral Reef Society, Australia,
- WMO. 2024. 2024 is on track to be hottest year on record as warming temporarily hits 1.5°C. World Meteorological Organization. <https://wmo.int/news/media-centre/2024-track-be-hottest-year-record-warming-temporarily-hits-15deg> (consultado el 03/01/2025).
- WOM. 2025. Current world population. *Worldometer*. <https://www.worldometers.info/world-population/> (consultado el 03/01/2025).

GORRIÓN SERRANO, MONITOREO COMUNITARIO Y JARDINES ETNOBIOLÓGICOS: UN DIÁLOGO DE SABERES ENTRE EL CENTRO Y EL NORTE DE MÉXICO

▮ RUBÉN ORTEGA-ÁLVAREZ^{1,2*}, NORMA LETICIA PIEDRA-LEANDRO³, BRIGADA DE MONITOREO BIOLÓGICO MILPA ALTA⁴, CARLOS ENRIQUE AGUIRRE-CALDERÓN⁵, OLIVIA ROJAS FLORES⁶, ARTURO CASTRO CASTRO^{3,7}, EMANUEL RUIZ VILLARREAL², RAFAEL CALDERÓN-PARRA⁸, JAQUELINE GARCÍA HERNÁNDEZ^{2,9}, HERIBERTO ÁVILA GONZÁLEZ³



¹Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud (CIAD-CEIBAAS Colima), Investigador por México del CONAHCYT. Colima, México.

²Jardín Etnobiológico "La Campana". Colima, México.

³Jardín Etnobiológico Estatal de Durango, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango - CONAHCYT. Durango, México.

⁴San Pablo Oztotepec, Milpa Alta. Ciudad de México, México.

⁵Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto. El Salto. Durango, México.

⁶Investigadora independiente. Durango, México.

⁷CONAHCYT- Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Sigma 119, 20 de Noviembre II, Durango, 34234. Durango, México.

⁸Investigador independiente. Ciudad de México, México.

⁹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, A. C.). Subsede Guaymas. Sonora, México.

*Autor de correspondencia: rubenortega.al@gmail.com

RESUMEN

El monitoreo comunitario de aves ha tomado fuerza en los últimos años. En México, gran parte de estos esfuerzos se han desarrollado en la región centro y sur del país, por lo que es deseable promoverlos en el norte. Su expansión, facilitada por los jardines etnobiológicos, podría favorecer el estudio y la conservación de especies endémicas y en peligro de extinción, como el Gorrión Serrano (*Xenospiza baileyi*). Esta ave se distribuye en localidades muy específicas del centro (Ciudad de México, Morelos, Estado de México) y noroccidente de México (Durango). El monitoreo comunitario del Gorrión Serrano es notable en el centro de México, mas en Durango aún es inexistente. Por ello, desarrollamos un encuentro virtual desde la mirada de dos jardines etnobiológicos con el objetivo de propiciar la comunicación entre comunidades, académicos, instituciones gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil del centro y noroccidente de México para abordar temas relacionados con el Gorrión Serrano y el monitoreo comunitario. Presentamos las ideas más relevantes sobre los temas discutidos grupalmente, mismos que giraron en torno a las siguientes preguntas: 1) ¿qué acciones de monitoreo comunitario se llevan a cabo en Durango?, 2) ¿es deseable promover el monitoreo comunitario en Durango y qué hace falta para impulsarlo?, 3) ¿qué especies de aves pueden ser bandera para impulsar el monitoreo comunitario en Durango?, 4) ¿qué sabemos sobre el Gorrión Serrano tanto en el centro como en el noroccidente de México?, 5) ¿qué acciones son prioritarias para conservar al pastizal y al Gorrión Serrano?, 6) ¿de qué forma pueden trabajar conjuntamente Durango y el centro de México para beneficiar al Gorrión Serrano?, y 7) ¿qué papel podrían jugar los jardines etnobiológicos en el monitoreo comunitario de aves? Consideramos que es necesario promover y fortalecer la colaboración entre actores de diferentes regiones del país para mejorar la comprensión y protección del Gorrión Serrano y de otros organismos.

ABSTRACT

Community-based bird monitoring has increased during the last years. In Mexico, it has been mostly developed in the central and southern regions of the country; thus, it needs to be promoted in the north. Its expansion, facilitated by ethnobiological gardens, could favour the study and conservation of endemic and endangered species, such as the Sierra Madre Sparrow (*Xenospiza baileyi*). This bird is distributed in specific sites of central (Mexico City, Morelos, Mexico State) and northwestern Mexico (Durango). Community-based monitoring focused on the Sierra Madre Sparrow is noteworthy in central Mexico, but it is absent from Durango. Hence, we performed a virtual workshop through the scope of two ethnobiological gardens for facilitating the communication between indigenous communities, scientists, governmental institutions, and non-governmental organizations from central and northwestern Mexico to discuss and work on topics about the Sierra Madre Sparrow and community-based monitoring. Here, we present the most relevant ideas that the group debated, which were related to the following questions: 1) what community-based monitoring actions are being performed in Durango?, 2) is it desirable to promote community-based monitoring in Durango, and what is it needed to foster such activity?, 3) which birds might be used as flag-species to promote community-based monitoring in Durango?, 4) what do we know about the Sierra Madre Sparrow both in central and northwestern Mexico?, 5) which are the priority actions that are needed to conserve the grassland and the Sierra Madre Sparrow?, 6) how does Durango and Central Mexico might collaborate to benefit the Sierra Madre Sparrow?, and 7) which is the role of ethnobiological gardens in community-based bird monitoring? It is necessary to promote and strengthen the collaboration among actors of different regions of the country to enhance the comprehension and protection of the Sierra Madre Sparrow and other wildlife.



Palabras clave: aves, ciencia participativa, Ciudad de México, Durango, pastizales de alta montaña, *Xenospiza baileyi*.

Key words: birds, Durango, Mexico City, participatory science, sub-alpine grasslands, *Xenospiza baileyi*.

INTRODUCCIÓN

La Red Nacional de Jardines Etnobiológicos abarca 26 estados de la República Mexicana. Los jardines que la integran están conformados por espacios cuyo objetivo principal es la conservación de la diversidad biológica y cultural asociada a las comunidades rurales, tradicionales e indígenas de México (Viccon Esquivel *et al.* 2023). En este sentido, los jardines promueven la creación y el fortalecimiento de las capacidades comunitarias para comprender y preservar los recursos bioculturales mediante actividades de capacitación y transferencia de tecnología (Viccon Esquivel *et al.* 2023). Además, cada jardín facilita la comunicación, la organización y la participación activa de distintos actores sociales en torno al estudio, la valoración y la divulgación de información sobre los recursos bioculturales. De esta manera, los jardines etnobiológicos son clave para propiciar la vinculación y la participación ciudadana en proyectos de investigación del patrimonio biocultural, incluyendo a las aves.

La incorporación social en el estudio de las aves de México ha tomado fuerza en los últimos años (Ortega-Álvarez *et al.* 2015). Los proyectos con un enfoque de ciencia participativa, donde científicos y un público no especializado en temas académicos colaboran para desarrollar investigación (Hecker *et al.* 2018), han generado información útil sobre especies endémicas y avifauna asociadas a sitios de interés para la conservación (Ortega-Álvarez *et al.* 2021b, Baxin Beltrán *et al.* 2020, Lozada Ronquillo 2017), como son las áreas naturales protegidas. Entre este tipo de iniciativas destaca el estudio sistemático de las aves por comunidades rurales e indígenas a través de proyectos de monitoreo biológico comunitario (Ortega-Álvarez *et al.* 2015). Gran parte de estos esfuerzos se han desarrollado en la región centro y sur del país, posiblemente debido a una mayor promoción de programas de esta naturaleza (Ortega-Álvarez *et al.* 2012), así como a una población rural e indígena más numerosa (INEGI 2022, 2020). No obstante, el norte de México también cuenta con presencia indígena y rural notable (INEGI 2020, 2022), así como con especies de aves endémicas (exclusivas de ciertos territorios) y en peligro de extinción que requieren atención especial para su conservación, como el Gorrión Serrano (*Xenospiza baileyi*) (Ortega-Álvarez *et al.* 2021b) (Figura 1).

La distribución del Gorrión Serrano se restringe a localidades muy específicas del centro (Ciudad de México, Morelos, Estado de México) y noroccidente de México (Durango) (Ortega-Álvarez *et al.* 2021b). Su población más numerosa (alrededor de 4,000 individuos) se ubica en la Ciudad de México, puntualmente en los pastizales de alta montaña de la Delegación Milpa Alta

(Ortega-Álvarez *et al.* 2021a), mientras que sólo algunos individuos (aproximadamente 100) sobreviven en sitios muy concretos de Durango (Aguirre-Calderón *et al.* 2021). Cabe destacar que la mayor parte de la población del Gorrión Serrano se encuentra inmersa en territorios rurales e indígenas, por lo que la participación social es clave para su conservación (Ortega-Álvarez *et al.* 2020).

Si bien existen esfuerzos notables que involucran a la población local en el estudio, la conservación y el manejo del hábitat del Gorrión Serrano en el centro de México (Ortega-Álvarez *et al.* 2021b), en Durango aún no se ha logrado vincular a los actores locales con acciones de investigación o preservación de la especie. Así, resulta oportuno el intercambio de experiencias entre ambas regiones para detonar este tipo de procesos al norte del país. También, es necesaria la vinculación del grupo de actores que ha estudiado al Gorrión Serrano. Esto se debe a que, si bien existen estudios ecológicos, demográficos y geográficos sobre las poblaciones de la especie que habitan en el centro (por ejemplo: Ortega-Álvarez *et al.* 2021a, Savarino-Drago 2019, Oliveras de Ita y Gómez de Silva 2007, Cabrera-García *et al.* 2006) y noroccidente de México (tales como Aguirre-Calderón *et al.* 2021, Sánchez-Escalera 2019, Mancinas-Labrador 2017, Rosas- Ruiz 2012, Guevara-Herrera 2012), las acciones de investigación y conservación con un enfoque nacional son muy escasas.

Es así que el Gorrión Serrano representa una oportunidad ideal para unir a dos regiones del país mediante acciones de monitoreo biológico comunitario con el objetivo de contribuir a la conservación de una especie endémica en peligro de extinción. Por ello, desde el trabajo de los jardines etnobiológicos, desarrollamos un encuentro virtual con el objetivo de propiciar la comunicación entre comunidades, académicos, instituciones gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil del centro y noroccidente de México para abordar temas relacionados con el estudio, la conservación y el monitoreo comunitario del Gorrión Serrano. De forma específica, buscamos identificar limitaciones y oportunidades para la promoción de acciones de monitoreo comunitario de aves en Durango, dado que su desarrollo es incipiente en el estado. Además, nos enfocamos en reconocer las distintas aproximaciones empleadas entre las regiones centro y noroccidente del país para estudiar al Gorrión Serrano, en aras de identificar acciones prioritarias de investigación, conservación y colaboración bajo un enfoque nacional. A través de este documento, buscamos recopilar y difundir entre un público más amplio las reflexiones principales que emergieron durante el encuentro. Consideramos que éstas abordan puntos clave para el futuro del Gorrión Serrano y el impulso del monitoreo comunitario en México.



Figura 1. Gorrión Serrano, *Xenospiza baileyi*. Fotografía de Rafael Calderón-Parra.

DEL GORRIÓN SERRANO Y OTRAS PLUMAS: ENCUENTRO VIRTUAL SOBRE MONITOREO COMUNITARIO

Este encuentro virtual fue ideado y organizado por los grupos de trabajo asociados a los Jardines Etnobiológicos de Colima y Durango (Figura 2). El tema fue considerado particularmente relevante por estos organismos, ya que parte de su trabajo gira en torno a la creación de capacidades comunitarias para el estudio y preservación de los recursos bioculturales por medio de capacitaciones y formación de recursos humanos, así como en la inclusión de comunidades rurales e indígenas en proyectos que propicien su desarrollo (Viccon Esquivel *et al.* 2023). Para más información sobre estos jardines etnobiológicos, se sugiere consultar los trabajos de Pacheco Flores *et al.* (2023) y Castro Castro *et al.* (2023), respectivamente.

El evento se llevó a cabo a través de plataformas de comunicación digital el día 7 de noviembre de 2023. Se consideró la participación de actores clave en el monitoreo del Gorrión Serrano, tanto del centro como del noroccidente del país. Así, se contó con la

intervención de brigadistas comunitarios de la Ciudad de México, pertenecientes a la Brigada de Monitoreo Biológico Milpa Alta - BMBMA; agentes gubernamentales de Durango relacionados con la protección del ambiente, incorporados a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas; e investigadores con experiencia en el estudio de la especie. Consciente de la incipiente historia del monitoreo comunitario en Durango, el grupo motor del encuentro acordó no sólo tratar el tema del Gorrión Serrano, sino del monitoreo comunitario de aves en su conjunto. Por ello, se integraron en la agenda a miembros de organizaciones gubernamentales, académicas y privadas que han iniciado el impulso de este tipo de proyectos en el estado, aún cuando no se hubieran dedicado al estudio exclusivo del gorrión. Finalmente tomó parte del evento la Comunidad Indígena San Bernardino de Milpillas Chico, del Municipio Pueblo Nuevo, ya que se encuentra interesada en involucrarse en acciones de monitoreo de aves.

Durante el encuentro virtual se presentaron al grupo los objetivos del evento y se realizó una breve contextualización sobre el significado y la aplicación

de las actividades relacionadas con el monitoreo comunitario. Los ponentes brindaron información sobre la situación del estudio y la conservación del Gorrión Serrano, tanto en el centro como en el norte del país. También, los presentadores dieron a conocer experiencias de monitoreo comunitario en Durango. Asimismo, se desarrolló un taller virtual sobre el manejo de plataformas digitales de ciencia participativa para la identificación de aves, tales como eBird y Merlin. Para cerrar el evento, se organizaron discusiones grupales basadas en preguntas clave que fueron estructuradas por el grupo organizador, las cuales estuvieron relacionadas con el Gorrión Serrano, el monitoreo comunitario de aves y los jardines etnobiológicos. A continuación, presentamos un resumen y las ideas más relevantes sobre cada uno de los temas tratados durante el encuentro.

MONITOREO COMUNITARIO EN DURANGO

ANTECEDENTES

Los programas de monitoreo comunitario de aves en Durango son incipientes y muy escasos. Entre ellos,

podemos mencionar los esfuerzos para el estudio participativo de aves rapaces en Sierra de Órganos que lidera la CONANP. El sitio es considerado como un corredor de fauna silvestre muy importante en el estado (SEMARNAT 2012). Entre las actividades que contempla el programa se incluyen la conformación de un comité de vigilancia participativa y la promoción de la participación social para el manejo del hábitat, mismo que incluye la protección de manantiales, la promoción de un desarrollo agrícola sin uso de agroquímicos, la instrumentación de acciones de educación ambiental, el seguimiento a nidos y presas, y la disuasión humana del saqueo de nidos. De acuerdo con este programa, es necesaria una perspectiva de conservación de socioecosistemas para el manejo de pastizales en aras de beneficiar a las aves rapaces, así como la promoción de una agricultura sostenible, la implementación de actividades de ecoturismo y la participación social.

En los últimos años, se ha brindado interés especial en impulsar el diseño y la promoción de corredores de aviturismo ejidal en el estado. Además de diseñar y construir infraestructura para el desarrollo de este tipo

SIMPOSIO VIRTUAL

“Del Gorrión Serrano y otras plumas: encuentro virtual sobre monitoreo comunitario”

Actividades

- ✓ Ponencias
- ✓ Talleres
- ✓ Intercambio de experiencias

7 de noviembre
10:00 am

Foto: Ulises Martinez

GOBIERNO DE MÉXICO | EDUCACIÓN | CONAHCYT | RENAJEB | Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo | CEIBAAS

conahcyt.mx/renajeb

Figura 2. Cartel representativo del encuentro virtual sobre monitoreo comunitario y Gorrión Serrano.

de turismo de naturaleza, también se ha requerido de la generación de capacidades locales para la identificación de aves. Así, se han desarrollado talleres para que los miembros de los ejidos participantes conozcan a detalle a su avifauna y sean capaces de brindar recorridos guiados a los visitantes interesados en la observación de estos animales.

La intervención de institutos tecnológicos y universidades en materia de ciencia participativa se ha centrado en ofrecer actividades educativas relacionadas con la enseñanza en la identificación de aves. De esta manera, se han formado estudiantes capaces de realizar muestreos ornitológicos y de participar en proyectos relacionados con el estudio de la avifauna de Durango. También, se ha incorporado al público en general en los llamados “conteos navideños de aves” del estado, logrando ofrecer oportunidades lúdicas a la población local mientras que participa en la generación de datos relevantes para el monitoreo anual de aves migratorias (Dunn *et al.* 2005).

¿Es deseable promover el monitoreo comunitario en Durango?

Entre el grupo asistente al encuentro se analizó la pertinencia de impulsar los proyectos sobre monitoreo comunitario en Durango. A manera de conclusión, se manifestó la necesidad de desarrollar estos proyectos con el propósito de dar a conocer ante un público más amplio, y sin especialización profesional, la biodiversidad del estado, con miras a integrarlo activamente en su cuidado y preservación. Además, es necesario el monitoreo para la determinación de las condiciones de conservación en las que se encuentran los recursos bioculturales de Durango, así como para identificar y dirigir acciones que promuevan su buen manejo con base en lineamientos científicos sólidos.

¿Qué hace falta para impulsar el monitoreo comunitario en Durango?

Si bien es deseable el desarrollo de proyectos de ciencia participativa en el estado, existen necesidades específicas para promoverlo. Por ejemplo, así como sucede en otras regiones del país, se requiere de una mayor inversión económica, de equipos e instrumentos especializados y de actividades de capacitación en temas específicos para la toma y análisis de datos. En este sentido, contar con los binoculares, las guías de identificación de aves y los recursos materiales y financieros para el transporte de la

gente participante en los proyectos es primordial. También, es necesario desarrollar actividades de seguimiento en personas que realizan monitoreo en Durango para mejorar sus habilidades de identificación de aves. Sin embargo, el grupo destacó la necesidad de enfatizar acciones de cuidado dirigidas hacia especies sensibles durante los procesos de capacitación en temas de monitoreo comunitario, tales como el Gorrión Serrano y las aves rapaces.

¿Qué especies de aves pueden ser bandera para impulsar el monitoreo comunitario en Durango?

Durango cuenta con una amplia gama de aves endémicas, carismáticas y de interés para la conservación (SEMARNAT 2019) que podrían fungir como excelentes especies bandera en programas de monitoreo comunitario. Entre ellas destacan la Chara Pinta (*Cyanocorax dickeyi* - endémica, en Peligro de Extinción), el Águila Real (*Aquila chrysaetos* - Amenazada), el Gorrión Serrano (endémico, en Peligro de Extinción), el Quetzal Orejón (*Euptilotis neoxenus* - Amenazado) (Figura 3), la Cotorra Serrana Occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* - endémica, en Peligro de Extinción) y la Grulla Gris (*Antigone canadensis* - bajo Protección Especial). Además de las aves, sería posible incluir en este tipo de proyectos a otros grupos animales. En este sentido, se podrían considerar a los grandes felinos que están presentes en el estado (Jaguar - *Panthera onca*, Yaguarundi - *Herpailurus yagouaroundi*, Tigrillo - *Leopardus wiedii*, Puma - *Puma concolor*, Ocelote - *Leopardus pardalis*, Gato Montés - *Lynx rufus*) y algunos anfibios como los ajolotes (*Ambystoma* spp.).





Figura 3. Quetzal Orejón, *Euptilotis neoxenus*. Fotografía de Olivia Rojas Flores.

EL GORRIÓN SERRANO: PERSPECTIVAS DESDE EL CENTRO Y NOROCCIDENTE DE MÉXICO

Las labores de estudio y conservación más intensivas en torno al Gorrión Serrano se han realizado en el centro del país, lideradas en gran medida por la BMBMA. Así, existen investigaciones actuales sobre su historia natural, distribución y tamaño poblacional que se encuentran especificadas en los trabajos de Ortega-Álvarez *et al.* (2021a, 2021b, 2020). De acuerdo con la BMBMA, la población del centro de México se ve amenazada por los cambios del uso del suelo asociados a la actividad agrícola y ganadera, así como a la contaminación del agua como resultado de la agricultura industrializada. Ante estas actividades que afectan el hábitat del Gorrión Serrano, la comunidad ha trabajado cercanamente con la academia e instituciones gubernamentales para beneficiar a la especie (Ortega-Álvarez *et al.* 2021b). A través de estas colaboraciones, se ha empleado el conocimiento local para manejar el fuego, desarrollar acciones de repastización y llevar a cabo actividades de capacitación comunitaria

en temas sobre monitoreo biológico y restauración ambiental. Además, se considera relevante el desarrollo de preguntas locales, formuladas desde la comunidad, para realizar investigación, así como la generación de vínculos gubernamentales para facilitar el desarrollo de actividades de manejo de hábitat. La BMBMA también enfatiza la importancia de reconocer el papel comunitario en la generación de conocimiento científico a través de la ciencia participativa, en aras de empoderar a las comunidades y hacerlas corresponsables en la conservación de la biodiversidad. Actualmente la brigada trabaja en promover la definición y protección de corredores de pastizal con importancia biocultural en el centro de México.

En Durango, los trabajos de investigación se remontan al 2006 (Oliveras de Ita y Rojas-Soto 2006), mas han sido esporádicos y algunos han carecido de acciones de seguimiento. De acuerdo con los actores que trabajan en esta zona del país, las amenazas principales para el Gorrión Serrano se relacionan con acciones de aforestación (Mancinas-Labrador 2017) y cambio de uso del suelo con fines agrícolas (Sánchez-Escalera 2019). La investigación en el noroccidente se ha centrado en caracterizar el hábitat del gorrión, determinar su ámbito hogareño, estimar su tamaño poblacional y postular estrategias para su conservación (Aguirre-Calderón *et al.* 2021). Aunque se ha evaluado el desplazamiento local de la especie (Mancinas-Labrador 2020), aún es necesario analizar el efecto de la configuración del hábitat sobre sus movimientos estacionales. En Durango, prevalece un gran vacío en torno a la vinculación de la investigación científica con los poseedores de la tierra, así como en su incorporación en programas de preservación de la especie y su hábitat. Además, no se han llevado a cabo actividades de capacitación comunitaria que faciliten las acciones científicas y de conservación biológica. Así, resulta fundamental capacitar en el estado a ejidatarios y pequeños propietarios en estos temas.

¿QUÉ ACCIONES SON PRIORITARIAS PARA CONSERVAR AL PASTIZAL Y AL GORRIÓN SERRANO?

Los participantes del evento que han trabajado con el Gorrión Serrano, tanto al norte como al centro del país, reconocieron conjuntamente las siguientes acciones prioritarias para la conservación de la especie y su hábitat:

1. Fomentar el trabajo y la participación activa de los dueños de la tierra, incluyendo a pequeños propietarios y a comunidades rurales e indígenas.
2. Desarrollar talleres participativos que faciliten la detección de problemáticas locales y la generación de propuestas desde la comunidad para solucionarlas.

3. Implementar estrategias de manejo del fuego y del hábitat para mitigar impactos agrícolas.
4. Promover acciones de repastización mediante el trasplante de plantas amacolladas.
5. Generar actividades de divulgación sobre la importancia de los pastizales de alta montaña, la vulnerabilidad de la especie y acciones puntuales para la conservación del Gorrión Serrano y su hábitat.
6. Ir más allá de la generación de estudios sobre la especie e implementar labores concretas de conservación, que sean efectivas y a las que se les brinde continuidad.
7. Llevar a cabo capacitaciones comunitarias en el norte del país para vincular a los actores locales en el estudio y la conservación de la especie.
8. Promover la generación de estudios etológicos, así como determinar el éxito reproductivo y los patrones de migración local del gorrión, particularmente en el norte de México.
9. Proteger sitios prioritarios para la reproducción de la especie.
10. Fomentar la inclusión de los sitios de distribución de la especie en áreas naturales protegidas.
11. Determinar el potencial del turismo biocultural como medio para proteger al Gorrión Serrano y su

hábitat, considerando sus posibles impactos sobre las comunidades humanas.

¿DE QUÉ FORMA PUEDEN TRABAJAR CONJUNTAMENTE DURANGO Y EL CENTRO DE MÉXICO PARA BENEFICIAR AL GORRIÓN SERRANO Y A SU HÁBITAT?

Se identificaron algunas acciones conjuntas que podrían llevarse a cabo para beneficio de la especie y su hábitat. Por ejemplo, es necesario mejorar los mecanismos de compartición de información entre ambas regiones, relacionada principalmente con temas ecológicos, sobre la identificación de nuevos sitios de distribución de la especie, las acciones exitosas que han promovido su conservación y la determinación de las amenazas que incrementan su vulnerabilidad. Asimismo, es importante coordinar acciones para su estudio y conservación, homogeneizar métodos de muestreo que permitan comparaciones científicas entre regiones y facilitar la inclusión social en acciones de investigación y manejo de hábitat (Figura 4). Finalmente resulta deseable desarrollar intercambios de experiencias *in situ* entre los actores de ambas regiones.



Figura 4. Estudio del hábitat del Gorrión Serrano en Milpa Alta, Ciudad de México. Fotografía de Rafael Calderón-Parra.

¿QUÉ PAPEL PODRÍAN JUGAR LOS JARDINES ETNOBIOLÓGICOS EN EL MONITOREO COMUNITARIO DE AVES?

Los jardines etnobiológicos cuentan con un amplio potencial para desarrollar actividades y promover estrategias que impulsen el monitoreo comunitario, tanto del Gorrión Serrano como de otras aves. Por ejemplo, podrían fungir como agentes que faciliten y promuevan el diálogo y la vinculación entre la sociedad, la academia y las instituciones públicas y privadas en torno a temas de ciencia participativa. También, pueden involucrarse activamente en la gestión, el desarrollo y la promoción de proyectos de monitoreo comunitario que incidan sobre la generación de conocimiento cultural y biológico. Su papel como divulgadores de conocimiento y de acciones exitosas relacionadas con el monitoreo es igualmente relevante. Por último, podrían trazar un puente entre este tipo de proyectos y la ciudadanía en general, con el fin de fomentar la observación, el estudio y la revalorización de la cultura y de la naturaleza.

CONCLUSIONES

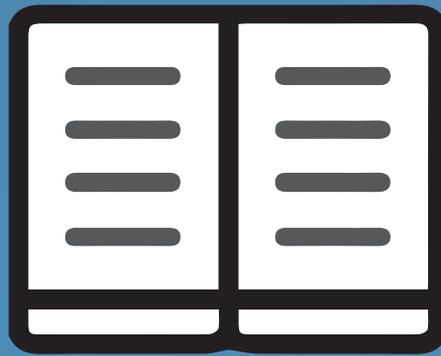
Si bien el monitoreo comunitario se ha expandido en los últimos años en México (Ortega-Álvarez *et al.* 2015), aún es necesaria su promoción en otras regiones del país, incluyendo a Durango. A través de este enfoque de ciencia participativa, es viable el desarrollo de proyectos transdisciplinarios donde todo tipo de actores tengan cabida para el estudio, la valoración y la protección del patrimonio biocultural del país. En este sentido, los jardines etnobiológicos juegan un papel fundamental como conectores de la academia, las instituciones gubernamentales, las organizaciones civiles y las comunidades rurales e indígenas.

Es necesario promover y fortalecer la colaboración entre actores de diferentes regiones del país para mejorar la comprensión y protección no sólo del Gorrión Serrano, sino de otras especies pertenecientes a diferentes grupos biológicos. Más allá de una visión local, se requieren estrategias regionales, nacionales e incluso internacionales para atender de forma integral las necesidades de estudio y conservación de la biodiversidad y del patrimonio biocultural de México.

El desarrollo de encuentros donde participen múltiples tipos de actores es esencial para facilitar la comunicación, reconocer aliados, identificar objetivos y problemáticas comunes, establecer estrategias conjuntas de conservación biológica, coordinar agendas de investigación e intercambiar experiencias que permitan la identificación de fortalezas, rezagos y oportunidades de colaboración. Consideramos que las relatorías asociadas a estos eventos, tal como la que plasmamos en este documento, son de vital importancia para documentar y sistematizar las reflexiones que emergen durante el desarrollo de los encuentros, encaminar actividades futuras y extender su impacto hacia otros públicos interesados en el tema.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la participación de todos los individuos que asistieron y contribuyeron al desarrollo del encuentro, en especial a Edgar López-Saut, Armando Sánchez Escalera, Rodolfo Pineda Pérez y a los miembros de la Comunidad Indígena San Bernardino de Milpillas Chico. Reconocemos el apoyo brindado por el CONAHCYT a través de los proyectos RENAJEB de los Jardines Etnobiológicos de Colima y Durango. El documento fue mejorado gracias a los comentarios y sugerencias provistas por Verónica Farías González, Juan Pablo Ceyca Contreras y un revisor anónimo.



LITERATURA CITADA

- Aguirre-Calderón, C.E., A. Sánchez-Escalera, I. Ruvalcaba-Ortega, C. G. Aguirre-Calderón, B. Vargas-Larreta, F. J. Hernández, R. Canales-del-Castillo, J. I. Gonzalez Rojas. 2021. A new hope for conserving the disjunct population of the Sierra Madre Sparrow *Xenospiza baileyi*: population size and new breeding localities in the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Bird Conservation International*. 33: e9. <https://doi.org/10.1017/S0959270921000599>
- Baxin Beltrán, C., F. Baxin Salazar, B. Málaga Temich, I. Medina Mena, M. Atanacio López, M. Flores Gutiérrez, M. P. Lozada Ronquillo, R. Calderón-Parra, R. Ortega-Álvarez. 2020. Community-based monitoring for the Tuxtla Quail-Dove *Zentrygon carrikeri*: a contribution to the natural history of an elusive, endangered and micro-endemic species of Mexico. *Ornithological Science*. 19: 87-92. <https://doi.org/10.2326/osj.19.87>
- Cabrera-García, L., J. A. Velázquez Montes, M. E. Escamilla Weinmann. 2006. Identification of priority habitats for conservation of the Sierra Madre sparrow *Xenospiza baileyi* in Mexico. *Oryx*. 40: 211-217. <https://doi.org/10.1017/S0030605306000615>
- Castro Castro, A., H. Ávila González, N. L. Piedra Leandro, R. Ramírez Maciel, M. González Elizondo, U. Luna-Vargas, B. R. Amador-Sierra. 2023. Jardín Etnobiológico Estatal de Durango: enlazando diversidad biocultural desde la educación ambiental. Pp. 134-145. En: Viccon Esquivel, J., et al. (Eds.). *México Megadiverso Visto a Través de sus Jardines y sus Protagonistas*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. México, 409 pp.
- Dunn, E., C. M. Francis, P. J. Blancher, S. R. Drennan, M. A. Howe, D. Lepage, C. S. Robbins, K. V. Rosenberg, J. R. Sauer, K. G. Smith. 2005. Enhancing the scientific value of the Christmas Bird Count. *The Auk*. 122(1): 338-346.
- Guevara-Herrera, R. 2012. Evaluación ecológica de la población del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) en el ejido Ojo de Agua del Cazador, Durango. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de El Salto, El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, 48 pp.
- Hecker, S., M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, A. Bonn. 2018. *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy*. Citizen Science, University College London, London, 542 pp.
- INEGI. 2022. Marco Geoestadístico Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. En: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541> (consultado el 25/06/2024).
- INEGI. 2020. Censo de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. En: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/> (consultado el 25/06/2024).
- Lozada Ronquillo, M.P. 2017. Experiencias en el monitoreo comunitario de aves en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz. Pp. 105-118. En: Sahagún Sánchez, F. J., F. M. Huerta Martínez, A. Durán Fernández (Eds.). *Experiencias de Monitoreo de Aves En El Corredor Ecológico de La Sierra Madre Oriental*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Universidad de Guadalajara, México, 168 pp.
- Mancinas-Labrador, M. E. L. 2017. Descripción de la vegetación y de la población de aves en áreas con potencial para hábitat de gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*). Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, 92 pp.
- Mancinas-Labrador, M. E. L. 2020. Uso de hábitat y patrones de actividad del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*). Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, 98 pp.
- Oliveras de Ita, A., H. Gómez de Silva. 2007. Territoriality and survivorship of the Sierra Madre sparrow in La Cima, México. *Biodiversity and Conservation*. 16: 1055-1061. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9062-5>
- Oliveras de Ita, A., O. R. Rojas-Soto. 2006. A survey for the Sierra Madre Sparrow (*Xenospiza baileyi*), with its rediscovery in the state of Durango, Mexico. *Bird Conservation International*. 16: 25-32. <https://doi.org/10.1017/S0959270905000687>
- Ortega-Álvarez, R., R. Calderón-Parra, U. Martínez Molina, F. Martínez Molina, G. Martínez Molina, Y. Martínez Molina, A. Martínez Villagrán, J. Martínez Freire, R. Vásquez Robles, D. García Loaeza, J. Martínez García, S. García Loaeza, N. I. Garduño López, M. Rodríguez, L. A. Sánchez-González. 2021a. How many are left? Density and population size of the endangered Sierra Madre Sparrow across central Mexico. *Journal of Ornithology*. 162: 31-41. <https://doi.org/10.1007/s10336-020-01820-6>
- Ortega-Álvarez, R., R. Calderón-Parra, U. Martínez Molina, F. Martínez Molina, G. Martínez Molina, Y. Martínez Molina, A. Martínez Villagrán, J. Martínez Freire, R. Vásquez Robles, D. García Loaeza, J. Martínez García, S. García Loaeza, N. I. Garduño López, L. A. Sánchez-González. 2020. Updating the distribution of the Sierra Madre Sparrow *Xenospiza baileyi* across central Mexico: historical records, new localities, and conservation perspectives. *Avian Conservation and Ecology*. 15: 15. <https://doi.org/10.5751/ACE-01573-150115>

- Ortega-Álvarez, R., R. Calderón-Parra, U. Martínez Molina, F. Martínez Molina, G. Martínez Molina, Y. Martínez Molina, A. Martínez Villagrán, J. Martínez Freire, R. Vásquez Robles, D. García Loaeza, J. Martínez García, S. García Loaeza, N. I. Garduño López, L. A. Sánchez-González. 2021b. El Gorrión Serrano (*Xenospiza baileyi*): síntesis sobre la historia natural, estudios científicos y acciones para la conservación de un ave micro endémica de México en peligro de extinción. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*. 37: 1-29. <https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712320>
- Ortega-Álvarez, R., L. A. Sánchez-González, H. Berlanga. 2015. *Plumas de Multitudes: Integración Comunitaria en el Estudio y Monitoreo de Aves en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Distrito Federal, México, 174 pp.
- Ortega-Álvarez, R., L. A. Sánchez-González, V. Rodríguez-Contreras, V. Vargas-Canales, F. Puebla-Olivares, H. Berlanga. 2012. Birding for and with people: Integrating local participation in avian monitoring programs within high biodiversity areas in Southern Mexico. *Sustainability*. 4: 1984-1998. <https://doi.org/10.3390/su4091984>
- Pacheco Flores, A., E. Ruiz Villarreal, R. Ortega-Álvarez. 2023. Jardín Etnobiológico La Campana: un promotor del patrimonio biocultural de Colima. Pp. 102-111. En: Viccon Esquivel, J. et al. (Eds.). *México Megadiverso Visto a Través de sus Jardines y sus Protagonistas*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, México, 409 pp.
- Rosas Ruiz, K. J. 2012. Caracterización del hábitat y patrones de distribución del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) en la región de El Salto, Durango. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de El Salto, El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, 76pp.
- Sánchez-Escalera, A. 2019. Nuevas áreas de distribución de gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) en el estado de Durango. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, 65 pp.
- Savarino-Drago, A. 2019. Patrones espaciales de uso de hábitat de *Xenospiza baileyi*, ave endémica especialista en pastizales de alta montaña, en Milpa Alta, Ciudad de México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 63 pp.
- SEMARNAT. 2019. Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México. México.
- SEMARNAT. 2012. Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Parque Nacional Sierra de Organos. *Diario Oficial*. Jueves 22 de noviembre de 2012. En: https://simex.conanp.gob.mx/pdf_pcym/48_DOF.pdf
- Viccon Esquivel, J., S. Arias Montes, S. Cristians Niizawa, M. A. Hernández Peña, A. Castro Castro, W. Cetzal Ix, M. Rivas Avendaño, J. R. Escalante Castro, J. G. Luna Zúñiga, M. H. Díaz Toribio. 2023. *México Megadiverso Visto a Través de sus Jardines y sus Protagonistas*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, México, 409 pp.



GUÍA PARA ELABORAR UN TRABAJO TAXONÓMICO:

EL CASO DE UN ANÉLIDO
ESCAMOSO (*HALOSYDNA*
BREVISETOSA KINBERG, 1856)
VAGANDO A LA DERIVA

✓ SERGIO I. SALAZAR-VALLEJO
Depto. Sistemática y Ecología Acuática
El Colegio de la Frontera Sur
Unidad Chetumal, Q. Roo, México



RESUMEN

Los poliquetos polinoidos son la familia que tiene el mayor número de géneros (unos 880) entre los escamosos. Para la mayoría de las especies, se conoce muy poco de su patrón de vida. Entre las especies de *Halosydna*, *H. brevisetosa* podría ser la especie mejor conocida, ya que es la más común en el ecosistema de la corriente de California, y vive de forma libre o comensal con otros poliquetos tubícolas. El hallazgo de un ejemplar en plástico a la deriva motivó esta contribución que podría servir como guía para el trabajo taxonómico en poliquetos (y quizá en otros grupos). Se confirma la presencia de la especie en estructuras flotantes y se brinda una clave para las especies del género y breves caracterizaciones e ilustraciones sobre los atributos de la especie.

INTRODUCCIÓN

Entre la gran variedad de formas de los anélidos poliquetos, los escamosos se incluyen en seis familias, de las que los polinoidos son la que cuenta con mayor número de géneros descritos (unos 880), y la segunda más grande en riqueza de especies de todos los poliquetos, luego de los sílidos (Pamungkas et al. 2019). Estas familias presentan escamas sobre el dorso, dispuestas en pares, a lo largo de buena parte del cuerpo, y a menudo cubren totalmente la superficie dorsal. En una visita de investigación en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Florida, en Gainesville, en marzo de 2024, estuve identificando anfinómidos, o gusanos de fuego, y polinoidos de su colección. Era parte de mi participación de un proyecto sobre la biota costera del Principado de Omán, y dado que teníamos algunos avances en los anfinómidos, y estaba tratando de empezar a estudiar a los polinoidos, estuve ojeando algunos lotes de su colección.

En particular, trataba de comprender la morfología de las especies del género *Lepidonotus* Leach, 1816, el segundo con más especies en la familia y cuyas especies parecen formar grupos bien definidos según lo había mostrado Seidler (1923) por la presencia de notosetas, fimbria en los márgenes de los élitros, y por sus neurosetas (uni- o bidentadas). Me parecían interesantes unas especies provistas con faringe con más de 9 pares de papilas, que es lo típico entre las especies del género, así como por tener élitros con márgenes lisos con superficies coloridas, o provistas de macro- y microtubérculos con formas peculiares, y con setas bidentadas con el dentículo accesorio diminuto.

Uno de los ejemplares llamó mi atención por varias razones. Se había hallado en basura flotante a unos 700 km mar adentro, lejos de California; los lados del cuerpo eran más o menos paralelos, cuando en *Lepidonotus* son curvos, por lo que, dada la premura inherente a todas las visitas de investigación, consideré que era una especie extraña y lo llevé a Chetumal.

MATERIAL Y MÉTODO

Esta modesta contribución podría serle útil a los interesados en realizar un trabajo taxonómico a partir de un hallazgo inesperado, o de una confusión ligera. En particular porque al descubrirnos en un error, nos puede invadir el desánimo y trataré de mostrar los pasos a seguir en una indagación taxonómica. Así, para identificar la especie hace falta conocer la literatura y, por lo menos en mi caso, una forma de comprender los detalles finos es la de generar una clave para identificar las especies parecidas. En el caso de *Halosydna*, es

una ventaja contar con una revisión reciente, la que necesitaba pocos cambios para hacerla más sencilla. Luego, hacer una serie de fotografías digitales, comprimirlas con HeliconFocus, y generar las láminas con PaintShopPro.

PRIMER PASO: IDENTIFICAR LA ESPECIE.

Ya en el laboratorio, pude notar que al poliqueto le faltaba el extremo posterior, que la ruptura del cuerpo en dos partes le había ocasionado una distorsión ya que el último par de élitros del fragmento estaba plegado ventralmente. Por ello, parecía tener 12 pares de élitros, pero al tener más no cabría en *Lepidonotus*, sino que parecía una especie de *Halosydna* Kinberg, 1856, un género con más de 20 especies (Read & Fauchald 2024).

Muchos registros para California apuntan a *H. brevisetosa* Kinberg, 1856, ya que además de ser descrita para el área y muy común desde la zona de mareas hasta aguas de la plataforma continental, se le ha encontrado en distintos tipos de fondos y asociada con otros invertebrados marinos como poliquetos terebélidos o neréididos, o cangrejos ermitaños (Abbott y Reish 1980). Skogsberg (1942) redescibió la especie con materiales recolectados cerca de la localidad tipo, notó que las notosetas eran aristadas y que las neurosetas eran unidentadas, e indicó que la fimbria era diminuta, pero no precisó los detalles de la ornamentación elitral, ya que se limitó a indicar que había “abundancia moderada de tubérculos en los primeros élitros” y que “el desarrollo de los tubérculos es muy variable en la especie” (Skogsberg 1942: 487). También notó Skogsberg (1942: 482-483) que la especie era capaz de vivir con otros invertebrados, y que los simbioses eran mucho mayores y más oscuros que los de vida libre; basó su redesccripción en los de vida libre y aunque no detalló las diferencias entre ambos, refirió una publicación previa (Johnson 1897) sobre la especie.

Johnson (1897: 168-169) concluyó que *H. brevisetosa* era la primera especie descrita de California, y la más común de la familia, y consideró como sinónimos menores a *H. insignis* Baird, 1865 y *H. grubei* Baird, 1865. También indicó haber hallado ejemplares en una boya y que se asociaba a terebélidos en otros sustratos. Entre las diferencias halladas entre las formas libres y comensales, comentó que en las comensales “el cuerpo era más delgado, los élitros más delgados y lisos, y a veces carentes de macro-tubérculos, casi sin fimbria; para las setas, indicó que la neuroseta superior tendía a ser mayor.”

Pettibone (1953: 17) detalló e ilustró las diferencias entre las formas libres o comensales y combinó ambas en la redesccripción de la especie, pero no estudió el material tipo. Entre las características que ilustró se

incluyeron las notosetas, que son más curvas en las formas simbiotes y más rectas en las de vida libre.

Rioja (1963: 144) confirmó e ilustró los atributos de *H. brevisetosa* y confirmó el registró para el Golfo de California y su distribución hasta Acapulco; Hartman (1939: 34) había indicado que estaba presente desde Alaska. Por todo lo anterior, parecía muy probable que el ejemplar de la Universidad de Florida perteneciera a *H. brevisetosa*.

En efecto, Salazar-Silva (2013) revisó el género, precisó e ilustró los detalles finos con los sintipos de *H. brevisetosa* y mostró que el primer par de élitros tiene unos 4-6 macrotubérculos cónicos y fimbria alargada a lo largo de los márgenes posterior y posterolateral. También incorporó una clave de identificación que, con ligeras modificaciones, se presenta a continuación.

CLAVE PARA IDENTIFICAR LAS ESPECIES DE *HALOSYDNA* KINBERG, 1856

(MODIFICADA DE SALAZAR-SILVA 2013, CON LOCALIDADES TIPO)

1 Neurosetas con punta entera, a veces con hilera subdistal con dientes largos semejando un denticulo accesorio bajo . . . 2

- Neurosetas con punta bidentada . . . 5

2(1) Neurosetas con hileras subdistales de denticulos en progresivamente menores, o de tamaño similar . . . 3

- Neurosetas con hileras subdistales de denticulos progresivamente mayores; macrotubérculos de élitros anteriores cónicos, delgados, abundantes, en toda la superficie elitral . . . *H. nebulosa* (Grube, 1877) China

3(2) Élitros de segmentos anteriores con macrotubérculos; otros élitros sin macrotubérculos . . . 4

- Élitros de segmentos anteriores sin macrotubérculos; otros élitros con macrotubérculos discoides . . . *H. latior* Chamberlin, 1919 California

4(3) Macrotubérculos de élitros anteriores de dos tipos, cónicos delgados y romos . . . *H. tuberculifer* Chamberlin, 1919 California

- Macrotubérculos de élitros anteriores de un tipo, cónicos gruesos, más notorios en área de fijación al elitróforo . . . *H. brevisetosa* Kinberg, 1856 (incl. *H. grubei* Baird, 1865 fide Pettibone 1953: 17) California, U.S.A.

5(1) Élitros con papilas marginales (fimbria) . . . 6

- Élitros sin papilas marginales (fimbria) . . . 12

6(5) Élitros con tubérculos globosos, no esclerotizados . . . 7

- Élitros sin tubérculos globosos . . . 9

7(6) Macrotubérculos del primer par de élitros ovoides, grandes . . . *H. salazarvallejoi* Salazar-Silva, 2013 Baja California Sur, México

- Macrotubérculos del primer par de élitros hemisféricos, poco elevados . . . 8

8(7) Todos los élitros con fimbria; primer par con macrotubérculos largos, truncados; élitros posteriores con pocos macrotubérculos . . . *H. leius* (Chamberlin, 1919) California

- Sólo élitros anteriores con fimbria; primer par con macrotubérculos largos; élitros posteriores con abundantes macrotubérculos . . . *H. olgae* Salazar-Silva, 2013 Baja California, México

9(6) Élitros de segmentos anteriores con tubérculos cortos y largos . . . 10

- Élitros de segmentos anteriores solo con tubérculos cortos . . . 11

10(9) Fimbria alargada, filamentos de unas 100 µm de largo; élitros de segmentos anteriores con macrotubérculos cortos con punta redondeada . . . *H. parva* Kinberg, 1856 Perú

- Fimbria corta, filamentos de unas 10 µm de largo; élitros de segmentos anteriores con macrotubérculos cónicos, alargados . . . *H. patagonica* Kinberg, 1856 Chile

11(9) Élitros de segmentos anteriores con macrotubérculos cónicos . . . *H. johnsoni* (Darboux, 1899) California

- Élitros de segmentos anteriores con microtubérculos cónicos truncados . . . *H. virginii* Kinberg, 1856 Hawaii

12(5) Élitros con tubérculos vesiculares . . . 13

- Élitros sin tubérculos vesiculares . . . 14

13(12) Primer par de élitros con macrotubérculos ovoides, abundantes; otros élitros con macrotubérculos ovoides largos . . . *H. silvamariae* Salazar-Silva, 2013 Baja California Sur, México

- Primer par de élitros con macrotubérculos hemisféricos, cortos, escasos; otros élitros con microtubérculos hemisféricos . . . *H. leucohyba* (Schmarda, 1861) Jamaica

14(12) Élitros con macrotubérculos . . . 15

- Élitros sin macrotubérculos . . . 16

15(14) Élitros anteriores con macrotubérculos abundantes, cónicos alargados y ovoides, superficie arrugada . . . *H. glabra* Hartman, 1939 Golfo de California

- Élitros anteriores con macrotubérculos escasos, cónicos cortos, superficie lisa . . . *H. fuscomarmorata* (Grube, 1876) Perú

16(14) Élitros opacos, pigmentación variable . . . 17

- Élitros translúcidos, sin pigmentación . . . *H. batheia* Horst, 1917 Indonesia

17(16) Élitros medios y posteriores con microtubérculos en parche en la región elitral anterior . . . *H. hartmanae* (Kudenov, 1975) Golfo de California

- Élitros medios y posteriores con microtubérculos en la mitad posterior del élitro . . . 18
18(17) Élitros con microtubérculos abundantes, dispersos en la mitad posterior del élitro . . . *H. nesiotetes* (Chamberlin, 1919) Baja California, México
- Élitros con microtubérculos escasos, presentes a lo largo del margen posterior . . . *H. riojaenriquei* Salazar-Silva, 2013 Sinaloa, México

COMENTARIOS

Cuatro especies de *Halosydna* no pudieron incorporarse en la clave: 1) *H. marginata* (Grube & Kröyer in Grube, 1856) del Perú; fue brevemente descrita y no hay material tipo (Salazar-Vallejo & Eibye-Jacobsen 2012: 1398), por lo que debería considerarse indeterminable. 2) *H. monensis* Nolte, 1936 fue descrita con muestras de plancton del Mar del Norte, y podría ser un juvenil de otra especie; necesita confirmación. 3) *H. pissisi* (de Quatrefages, 1866) de Brasil; su descripción fue breve y sin ilustraciones, pero hay dos sintipos en el Museo de París (Solís-Weiss 2004: S15), y deben estudiarse para delinear la especie. 4) *H. samoensis* (Grube, 1876) de Samoa; también brevemente descrita y sin ilustraciones, y no hay material tipo; debería ser considerada indeterminable.

SEGUNDO PASO: CONFIRMAR ATRIBUTOS (CARACTERIZACIÓN)

El ejemplar (UF 3791) corresponde a la forma libre de *Halosydna brevisetosa* Kinberg, 1856. Fue recolectado el 9 de octubre de 2012 por Michael Gil, entonces estudiante de la Universidad de Florida, en mar abierto a unos 700 km del sur de California (33°29'35.88" N, 127°42'54.00" W), en plástico flotando en menos de medio metro de profundidad.

El ejemplar está plegado ventralmente y deshidratado por haber sido fijado en etanol al 95%. Mide 25 mm de largo, 8 mm de ancho sin las setas, y tiene 26 setígeros; los primeros tres pares de élitros y el parápodo izquierdo del setígero 14 fueron removidos para observación.

Los élitros son marmoleados, la parte interna parda, y con un anillo negro alrededor de la zona de inserción al elitróforo; la superficie del dorso debajo de los élitros es pálida con 3-4 bandas delgadas pardas transversas (Fig. 1A). Los primeros tres pares de élitros tienen macrotubérculos grandes, la mayoría cónicos y otros redondeados (Fig. 1B). El prostomio es pálido casi completamente, la porción posterior está oculta por la parte anterior del setígero 2 y por la contracción del cuerpo (Fig. 1C). Las antenas son de tamaño similar, pero perdieron las puntas; el ceratóforo de la antena media es dos veces más grueso que el de las laterales y tiene invertida la pigmentación al ser basalmente oscuro y distalmente pálido, y los laterales son basalmente pálidos y distalmente oscuros. Los palpos son

negros, muy gruesos, sin hileras de papilas, dirigidos ventralmente. El segmento tentacular lleva unas 4-5 setas finas, mejor vistas sobre el lado derecho. El vientre es pálido (Fig. 1D), los cirróforos ventrales son negros en el setígero 2 y menos pigmentados a lo largo del cuerpo. Lóbulos nefridiales negruzcos desde el setígero 8.

El primer par de élitros con macrotubérculos cónicos grandes, y otros redondeados menores, alrededor del área de fijación al elitróforo (Fig. 2A). Los parápodos (Fig. 2B) tienen un cirróforo dorsal corto, ligeramente oscuro basalmente, sin dilatación. El cirrostilo es negro basal y distalmente con la zona media pálida. Las notosetas son muy cortas y unas 12 por grupo (Fig. 2C), la mayoría son rectas, superficie espinulosa, con series de anillos de dentículos progresivamente menores. Las neurosetas son mayores, unas 18 por grupo, unidentadas, ligeramente curvas, poco ensanchadas subdistalmente (Fig. 2D), con las series de dentículos erosionadas. La porción terminal del fragmento muestra élitros de tamaño y pigmentación similar a los de regiones media y anterior (Fig. 2E), pero carecen de macrotubérculos cónicos alargados de los primeros tres pares de élitros.

La ornamentación fina de los élitros incluye (Fig. 3A) una región anterior, cubierta por el élitro precedente, con poca pigmentación y microtubérculos globosos (Fig. 3B), una fimbria poco desarrollada, poco visible al plegarse el margen elitral, unos macrotubérculos globosos, con cubierta transparente hacia el centro del élitro (Fig. 3D), que se extienden hacia el margen posterior, acompañados de microtubérculos globosos (Fig. 3E).

TERCER PASO: EXPLICAR LA ASOCIACIÓN (DISCUSIÓN)

La forma de vida libre de *H. brevisetosa* se ha encontrado en pilotes de muelles y boyas (Johnson 1897, Skogsberg 1942), y también durante un proyecto sobre biota portuaria en el Pacífico mexicano (Salazar-Silva 2024, com. pers.). La especie depende de sus larvas para alcanzar los sustratos adecuados para la vida adulta. Blake (1975: 25) notó que los adultos maduros sexualmente eran comunes durante agosto, y que las larvas eran abundantes en septiembre y octubre. Blake (1975: 27-28) también notó que la especie se recluta cuando alcanza 900 µm de largo y 11 setígeros (6 pares de élitros) y agregó que el primer setígero de las larvas deviene el segmento de los cirros tentaculares, que a menudo retiene setas entre los polinoidos, por lo que concluyó que debería ser el setígero 1, lo que evita la complicación al contar los segmentos en lugar de los setígeros. Entonces, considero que la larva de la especie alcanzó una basura flotante que luego fue movida por las corrientes a la ubicación en la que se halló, lejos del litoral de California. En un estudio de largo plazo sobre reclutamiento, Edmunds & Clayton (2022: 5) enlistaron una especie de polinoido pero no fue

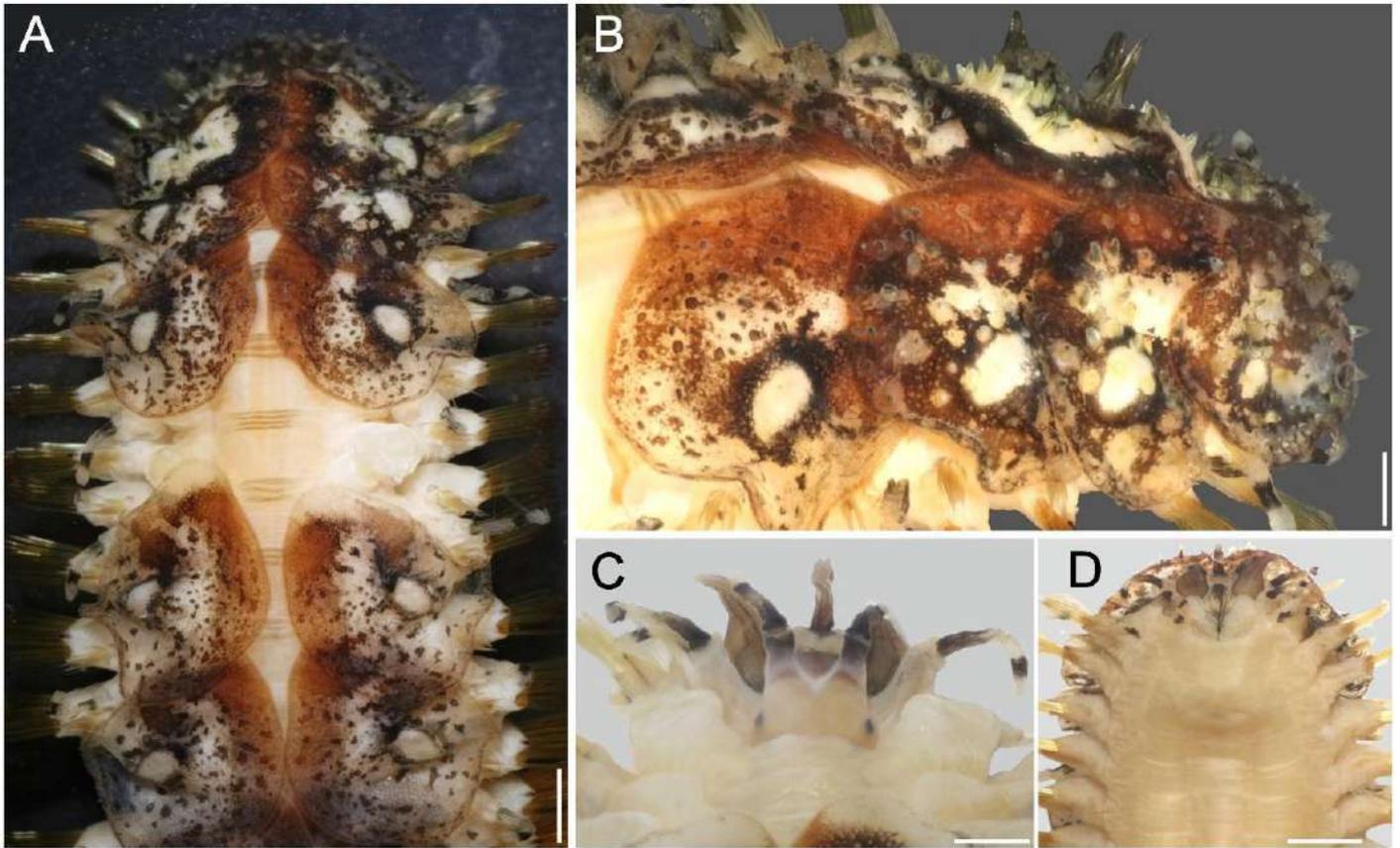


Figura 1. *Halosydna brevisetosa* Kinberg, 1856, ejemplar no tipo (UF 3791). A. Región anterior, vista dorsal, par 5 de élitros removidos. B. Región anterior, vista lateral derecha. C. Extremo anterior, vista dorsal. D. Región anterior, vista ventral. Escalas: A, 1.1 mm; B, 0.7 mm; C, 0.5 mm; D, 1.2 mm.

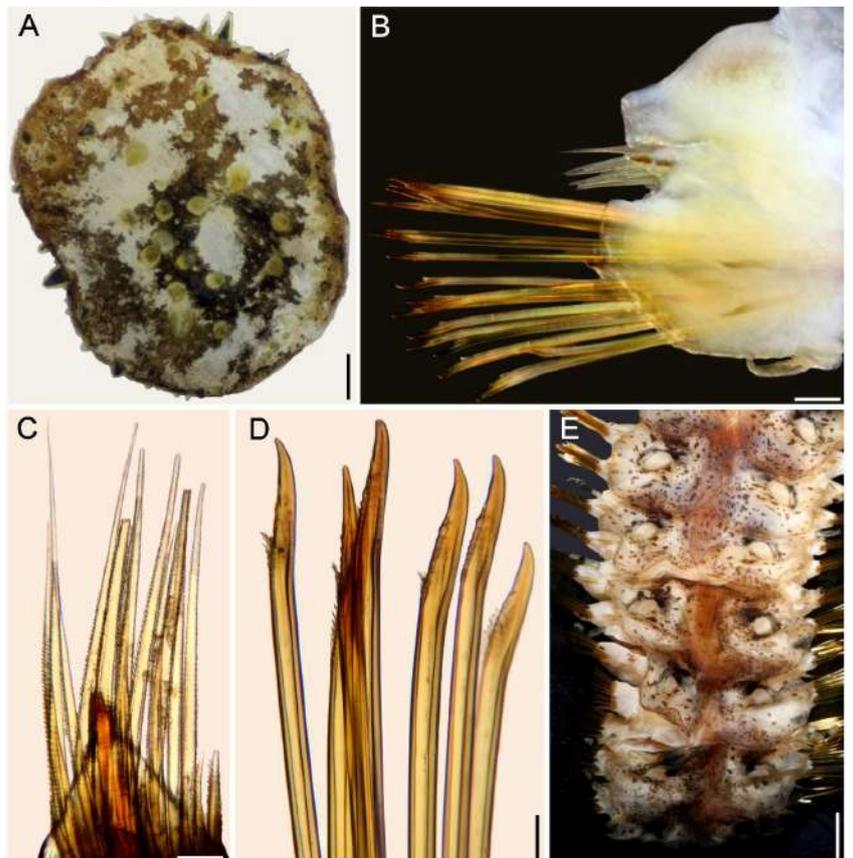


Figura 2. *Halosydna brevisetosa* Kinberg, 1856, ejemplar no tipo (UF 3791). A. Élitro 1 derecho, visto desde arriba. B. Setígero 14, parápodo izquierdo, vista posterior. C. Mismo, notosetas. D. Mismo, neurosetas medias. E. Extremo posterior del fragmento, vista dorsal. Escalas: A, B, 0.3 mm; C, 0.5 mm; D, 100 μ m; E, 1.1 mm.

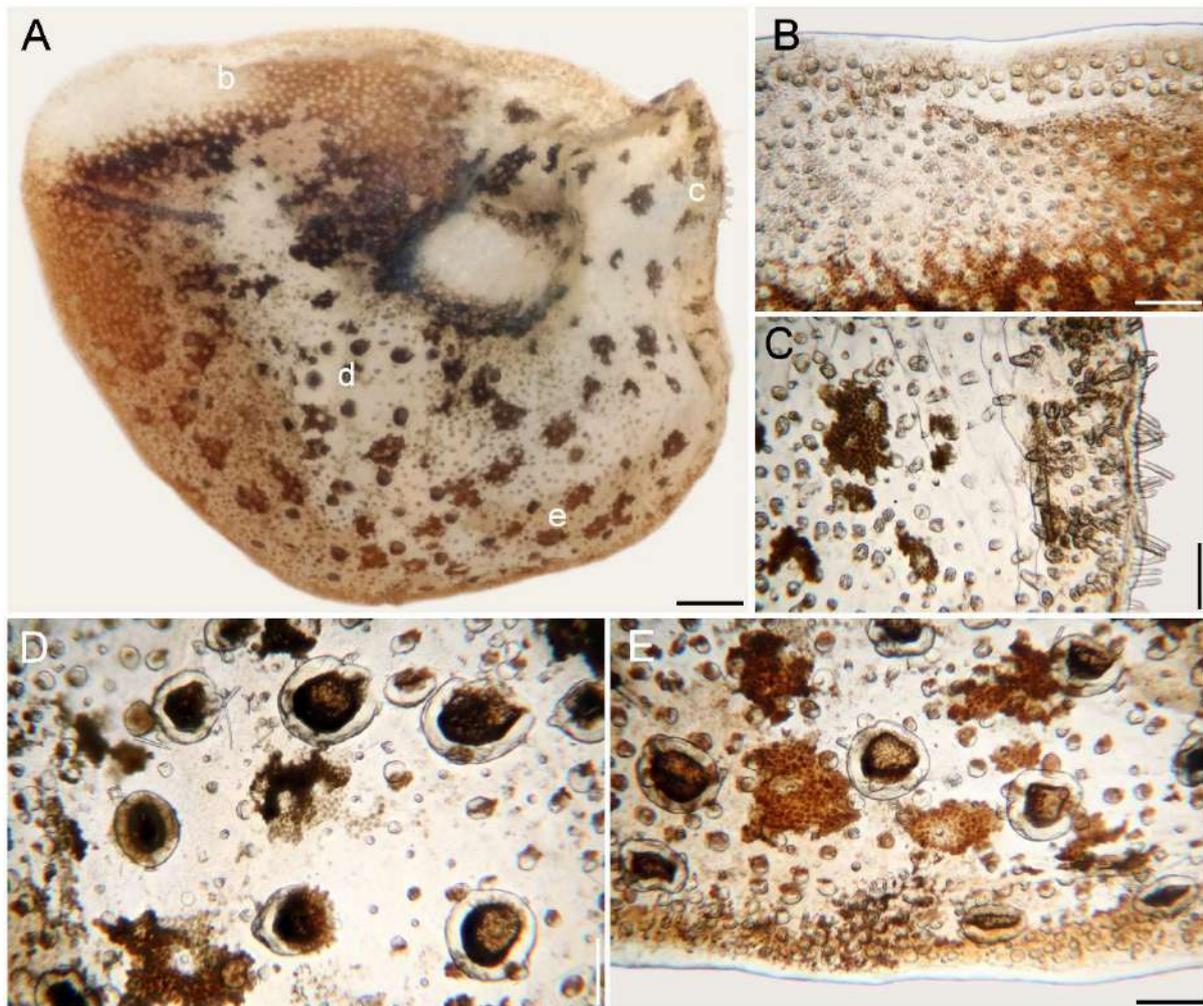


Figura 3. *Halosydna brevisetosa* Kinberg, 1856, ejemplar no tipo (UF 3791). A. Élitro 5 derecho, visto desde arriba (letras indican sectores aumentados). B. Mismo, sector anterior cubierto. C. Margen externo con fimbria diminuta (papilas marginales). D. Sector central con macro y microtubérculos globosos. E. Sector posterior con manchas pigmentadas y tubérculos. Escalas: A, 0.3 mm; B-E, 80 μ m.

identificado. Quizá no sea tan frecuente la ocupación de sustratos artificiales y por ello no se había documentado a *H. brevisetosa* como parte de la comunidad de bioincrustantes.

En realidad, desde el inicio de los estudios sobre los bioincrustantes en California (Scheer 1945), el enfoque principal ha sido en las especies que controlan el sustrato (esponjas, briozoos, hidroides) o modifican su textura o topografía para promover la sucesión (balanos, bivalvos, serpúlidos), por lo que no se han hecho estudios sobre las especies poco frecuentes, dados la cantidad de material y complejidad de grupos involucrados. No obstante, *H. brevisetosa* ha sido hallada en bioincrustaciones en buques en China (Yan & Huang 1993 cit. SERC 2024).

Trabajos de este tipo enfatizan la necesidad de incrementar el esfuerzo en investigación taxonómica, ya que incluso entre las especies que parecen ser mejor conocidas, hay aspectos poco conocidos que pueden ser relevantes. Por otro lado, la colonización de objetos flotantes ha sido un importante mecanismo

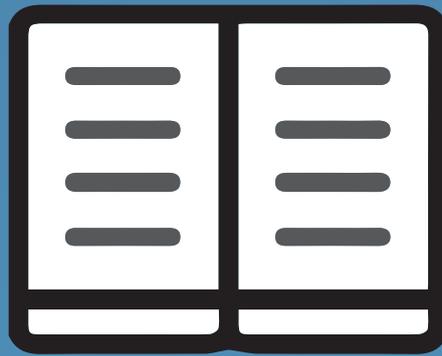
de dispersión pasiva para muchas especies, sea para colonizar nuevos sitios, como ocurre en las islas oceánicas, o para mantener el flujo genético entre poblaciones distantes.

CUARTO PASO: CONSULTAR EXPERTOS

La revisión de *Halosydna* por Patricia Salazar-Silva y la consulta directa con ella fue de gran ayuda para comprender la morfología de las especies del género y para que ayudara a mejorar una versión previa del documento.

AGRADECIMIENTOS

El Dr. Gustav Paulay, curador del Museo de Historia Natural de la Universidad de Florida, sigue respaldando nuestros intereses de investigación, al dejarnos estudiar sus ricas colecciones, y también nos ha brindado alojamiento en su hogar. Patricia Salazar-Silva, María Ana Tovar-Hernández y Tulio F. Villalobos-Guerrero leyeron cuidadosamente esta contribución y realizaron recomendaciones para su mejoría.



LITERATURA CITADA

- Abbott, D.P. y Reish, D.J. 1980. Polychaeta: The marine annelid worms; pp 449-489 In Morris, R.H., Abbott, D.P. y Reish, D.J. (Eds.), Intertidal Invertebrates of California. Stanford University Press, Stanford, 690 pp.
- Baird, W. 1865. Contributions towards a monograph of the species of Annelides belonging to the Aphroditacea, containing a list of the known species, and a description of some new species contained in the National Collection of the British Museum. *Journal of the Linnean Society, Zoology*. 8: 172-202. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/31601914>
- Blake, J.A. 1975. The larval development of Polychaeta from the northern California coast, 3- Eighteen species of Errantia. *Ophelia* 14: 23-84. DOI: 10.1080/00785236.1975.10421969
- Edmunds, P.J. & Clayton, J. 2022. A decade of invertebrate recruitment at Santa Catalina Island, California. *PeerJ*. 10:e14286, 20 pp. DOI 10.7717/peerj.14286
- Johnson, H.P. 1897. A preliminary account of the marine annelids of the Pacific coast, with descriptions of new species. Proceedings of the California Academy of Sciences, third series, *Zoology*. 1(5): 153-198, Pls 5-10. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/38967709>
- Hartman, O. 1939. Polychaetous annelids, Part 1. Aphroditidae to Pisionidae. *Allan Hancock Pacific Expeditions*. 7: 1-156, Pls 1-28. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/27822252>
- Kinberg, J.G.H. 1856. Nya slägten och arter af Annelider. *Animalia Annulata nova* 1. *Minius rite cognita*. *Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*. 12(9, 10): 381-388. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/15970133>
- Leach, W.E. 1816- Annulosa; pp. 401-453 In: Supplement to the 4th, 5th, and 6th editions of the *Encyclopaedia Britannica*. 1 (2). Constable and Co., Edinburgh. <https://digital.nls.uk/encyclopaedia-britannica/archive/193057498>
- Pamungkas, J., Glasby, C.J., Read, G.B., Wilson, S.P. & Costello, M.J. 2019. Progress and perspectives in the discovery of polychaete worms (Annelida) of the world. *Helgoland Marine Research*. 73: 4, 10 pp. <https://doi.org/10.1186/s10152-019-0524-z>
- Pettibone, M.H. 1953. Some scale-bearing polychaetes of Puget Sound and adjacent waters. University of Washington Press, Seattle, 89 pp, Pls 1-40.
- Read, G. & Fauchald, K. (Ed.) 2024. World Polychaeta Database. *Halosydna Kinberg*, 1856. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=152404> (31 Mar. 2024).
- Rioja, E. 1963. Estudios anelidológicos, 26. Algunos anélidos poliuetos de las costas del Pacífico de México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM.*, 33(1-2): 131-229.
- Salazar-Silva, P. 2013. Revision of *Halosydna Kinberg*, 1856 (Annelida: Polychaeta: Polynoidae) from the tropical eastern Pacific and Grand Caribbean with descriptions of new species. *Journal of Natural History*. 47(17-18): 1177-1242. <https://doi.org/10.1080/00222933.2012.752934>
- Salazar-Vallejo, S.I & Eibye-Jacobsen, D. 2012. Annulata örstediana: publication dates, composition and annotated taxonomic list, with some comments on *Hemipodus* (Polychaeta: Glyceridae). *Revista de Biología Tropical*. 60(3): 1391-1402.
- Scheer, B.T. 1945. The development of marine fouling communities. *Biological Bulletin*. 89: 103-121. <https://doi.org/10.2307/1538088>
- Seidler, H.J. (1924(1923)) Beiträge zur Kenntnis der Polynoiden, 1. *Archiv für Natugeschichte Berlin*. 89 (11), 1-217. <http://www.biodiversitylibrary.org/page/29994161> <https://doi.org/10.1002/mmz.4830110105>
- SERC (Smithsonian Environmental Research Center). 2024. JTMD Species summary: *Halosydna brevisetosa*. https://invasions.si.edu/nemesis/jtmd/species_summary/Halosydna%20brevisetosa (visto en 3 Abr. 2024).
- Skogsberg, T. 1942. Redescription of three species of the polychaetous family Polynoidae from California. *Proceedings of the California Academy of Sciences, Fourth Series*. 23(33): 481-502, Pl. 43. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/3187836>
- Solís-Weiss, V., Bertrand, Y., Helléouet, M.-N. & Pleijel, F. 2004. Types of polychaetous annelids at the Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. *Zoosystema*. 26(3): 377-384.
- Yan, S.K. & Huang, Z.G. 1993. Biofouling of ships in Daya Bay, China. In: B Martin (Ed.) *The Marine Biology of the South China Sea*. Hong Kong University Press, Hong Kong, pp: 131-136 (no visto, cit. SERC 2024).



MICR**R**NAS COMO BIOMARCADORES DE DIAGNÓSTICO, PRONÓSTICO Y PREDICCIÓN EN CÁNCER DE MAMA

/// VALERIA VILLARREAL-GARCÍA*,
DIANA RESÉNDEZ-PÉREZ*,
VIANEY GONZÁLEZ-VILLASANA*
*Universidad Autónoma de Nuevo
León, San Nicolás de los Garza, México

RESUMEN

El cáncer de mama es el tipo de cáncer más común en mujeres y tiene un gran impacto en la salud pública a nivel mundial. Debido a su naturaleza compleja y altamente heterogénea, es primordial realizar un diagnóstico rápido y efectivo para determinar el pronóstico de la enfermedad y administrar el tratamiento adecuado a los pacientes. El uso de microRNAs como biomarcadores podría facilitar el diagnóstico y pronóstico de esta enfermedad. Debido a sus múltiples características, los microRNAs son candidatos ideales para ser implementados como biomarcadores en cáncer. En este artículo revisamos la importancia de los microRNAs como biomarcadores de diagnóstico, pronóstico y predicción en el cáncer de mama.

ABSTRACT

Breast cancer is the most prevalent type of cancer in women, exerting a significant impact on global public health. Given its complexity and high heterogeneity, it is essential to conduct a prompt and effective diagnosis to determine the disease's prognosis and administer appropriate treatment to affected patients. Therefore, the utilization of microRNAs as biomarkers would greatly facilitate the diagnosis and prognosis of this disease. With their multiple characteristics, microRNAs emerge as ideal candidates for implementation as biomarkers in cancer. This article delves into the significance of microRNAs as diagnostic, prognostic, and predictive biomarkers in breast cancer.



Palabras clave: Cáncer de mama, biomarcadores, miRNAs

Key words: Breast cancer, biomarkers, miRNAs

INTRODUCCIÓN

El cáncer de mama es una enfermedad que afecta a mujeres en todo el mundo. Su complejidad reside en su variabilidad, donde cada caso es único, con diferentes patrones de desarrollo y respuesta al tratamiento. Por lo tanto, la detección temprana de esta enfermedad es esencial.

En esta batalla contra una enfermedad tan compleja, los científicos han dirigido su atención hacia la búsqueda de moléculas que puedan ser empleadas como biomarcadores, y los microRNAs se han posicionado como unas moléculas prometedoras. Los microRNAs son pequeñas moléculas de RNA (del inglés *Ribonucleic Acid*) que desempeñan un papel fundamental en la regulación genética y en el control de la maquinaria celular. Estas moléculas emergen ahora como prometedores biomarcadores, señalando no solo la presencia de la enfermedad, sino también proporcionando pistas cruciales sobre su diagnóstico, pronóstico, desarrollo y progresión.

Recientemente, ciertos microRNAs han surgido como señales distintivas del cáncer de mama, debido a que se ha descubierto que su expresión está alterada en pacientes en comparación con individuos sanos, revelando su capacidad para reflejar alteraciones moleculares incluso en las etapas iniciales de la enfermedad. Estos cambios pueden detectarse antes de que los síntomas clínicos se manifiesten, proporcionando una ventana crucial para la intervención temprana. Además, los microRNAs podrían ayudar a indicar la agresividad del tumor, influyendo así las decisiones sobre el tratamiento, ofreciendo también información valiosa sobre cómo evolucionará la enfermedad en el paciente.

En este artículo destacamos la importancia de la implementación de biomarcadores en esta enfermedad y el uso de los microRNAs como biomarcadores en cáncer de mama.

CÁNCER DE MAMA

El cáncer de mama es una enfermedad en la cual las células que conforman el tejido mamario crecen de manera descontrolada, teniendo como consecuencia la formación de un tumor (Ahmad, 2019). Este tumor puede estar localizado en distintas áreas de la mama, como los lóbulos y lobulillos mamarios o en los conductos que conectan los lobulillos con el pezón (Figura 1). Aunque este tipo de cáncer afecta principalmente a las mujeres, también puede presentarse en hombres (American Cancer Society, s. f.).

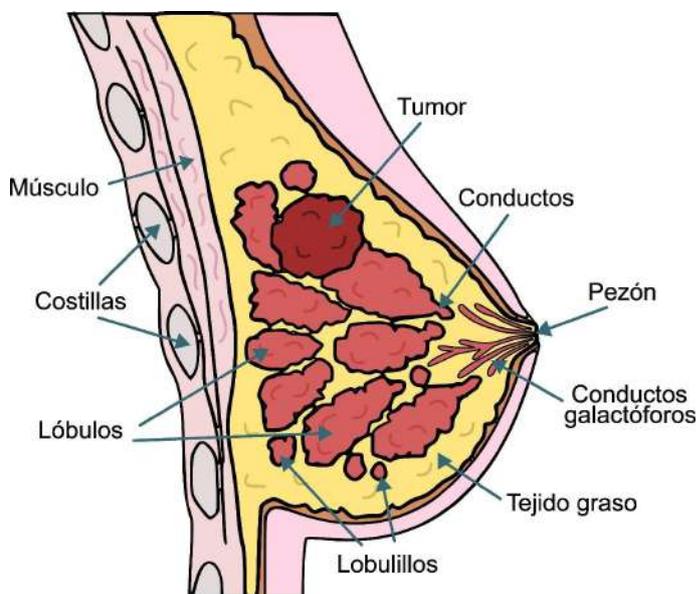


Figura 1. Anatomía de una mama, incluyendo una posible localización de un tumor mamario (Elaboración por Valeria Villarreal-García).

El cáncer de mama tiene un gran impacto en la salud pública a nivel mundial, con la tasa de incidencia más alta de todos los tipos de cáncer. En 2020 se presentaron 2.3 millones de casos nuevos y fue la principal causa de muerte en mujeres, siendo la quinta causa de mortalidad a nivel mundial, con alrededor de 685,000 muertes al año (Sung et al., 2021). En México, durante el 2022 se registraron 23,790 casos nuevos de cáncer de mama entre la población de 20 años y más, con un total de 7,888 defunciones, de las cuales 99.4% fueron mujeres y 0.6% hombres (INEGI, s. f.).

El cáncer de mama puede clasificarse de diferentes maneras, como la clasificación histológica, el sistema de estadificación TNM (del inglés *tumor, node, metastasis*) y la clasificación molecular. Cada una de ellas evalúan distintos parámetros y entre todas se complementan. Sin embargo, destaca la clasificación molecular, que se divide en cinco subtipos que son luminal A, luminal B, HER2, basal o triple negativo, y tumores del tipo normal. Esta clasificación se basa en la presencia o ausencia de algunos receptores hormonales (Tabla 1). Identificar el subtipo específico de cáncer de mama en los pacientes es muy importante, ya que ayuda a conocer el pronóstico de la enfermedad y a la elección del tratamiento que se administrará (Provenzano et al., 2018; Tsang & Tse, 2020).

Debido a que el cáncer de mama es una enfermedad compleja que puede presentar múltiples diferencias morfológicas, características moleculares y comportamientos, su diagnóstico y pronóstico pueden ser complicados (Provenzano et al., 2018). Por tal motivo, es fundamental identificar moléculas que

puedan ser empleadas como biomarcadores para facilitar el diagnóstico y conocer la gravedad de esta enfermedad.

Tabla 1. Subtipos moleculares del cáncer de mama.
Abreviaturas: RE, receptor de estrógeno; RP, receptor de progesterona; HER2, receptor 2 del factor de crecimiento epidérmico humano; Ki67, índice de proliferación

Subtipo	Características
Luminal A	RE+, RP ≥ 20%, HER2-, bajo Ki67
Luminal B	RE+, RP < 20%, HER2+/-, alto Ki67
HER2	RE-, RP-, HER2+, alto Ki67
Basal	RE-, RP-, HER2-, alto Ki67
Tipo normal	RE+, RP+, HER2-, bajo Ki67

BIOMARCADORES

Los biomarcadores, también conocidos como marcadores biológicos o moleculares, son herramientas que brindan valiosa información sobre el estado de salud de un individuo y son empleados para monitorear distintos aspectos de las enfermedades tal como la prevención, el diagnóstico, pronóstico y progresión de la enfermedad, e incluso la respuesta a los tratamientos (NCI, 2011; Strimbu & Tavel, 2010).

Para que una molécula sea considerada como un biomarcador, debe ser cuantificable, fácil y rápida de obtener, ser sensible, predictiva, estables y específica para una enfermedad en particular (Purkayastha et al., 2023).

Por este motivo, se realiza una ardua investigación para encontrar y validar biomarcadores que puedan emplearse para el diagnóstico de enfermedades, entre ellas el cáncer. Los biomarcadores nos proporcionan información no sólo para el diagnóstico y pronóstico del cáncer, sino también en la detección, la selección del tratamiento, la predicción de la respuesta al tratamiento y el seguimiento de la enfermedad (Sarhadi & Armengol, 2022) occurrence of cancer, or patient outcome. They may include germline or somatic genetic variants, epigenetic signatures, transcriptional changes, and proteomic signatures. These indicators are based on biomolecules, such as nucleic acids and proteins, that can be detected in samples obtained from tissues through tumor biopsy or, more easily and non-invasively, from blood (or serum or plasma).

Se han propuesto diversas moléculas que cumplen con las características mencionadas, entre ellas se encuentran proteínas, factores de transcripción, receptores celulares, DNA (del inglés *Deoxyribonucleic Acid*), RNA y sus distintas variables, como los RNA mensajeros (mRNA), microRNAs (miRNAs), RNA circulares (circRNAs) y RNA largos no codificantes

(lncRNA) (Chakraborty et al., 2023; Purkayastha et al., 2023).

MICRORNAS Y SU USO POTENCIAL COMO BIOMARCADORES

Los microRNAs (miRNAs) son RNAs pequeños no codificantes, de 18 a 25 nucleótidos de longitud, que participan en la regulación de la expresión génica a nivel postranscripcional (Moazed, 2009). Fueron identificados en 1993 en el gusano *Caenorhabditis elegans* (Lee et al., 1993).

Los miRNAs se forman en el núcleo de las células a partir de genes específicos, que luego dan lugar al miRNA primario (pri-miRNA). Después, la proteína Drosha lo corta para formar el miRNA precursor (pre-miRNA), el cual es transportado al citoplasma mediante la proteína Exportina-5 dependiente de Ran GTP. Luego, es cortado por Dicer para obtener el miRNA **dúplex, que es reconocido por el RISC** (complejo de silenciamiento inducido por RNA) a través de la proteína Argonauta 2 (Ago2), donde una de las cadenas se degrada (cadena pasajera) o se separa del complejo RISC. La cadena que permanece unida al RISC es el miRNA que con ayuda de este complejo se une al mRNA blanco; si la unión es perfecta, se degrada el mRNA, pero si la unión del miRNA con el mRNA es parcial, como ocurre en células animales, se reprime la producción o síntesis de las proteínas (Figura 2). Además, un miRNA tiene la capacidad de unirse a cientos mRNAs blanco (Bartel, 2004; Finnegan & Pasquinelli, 2013).

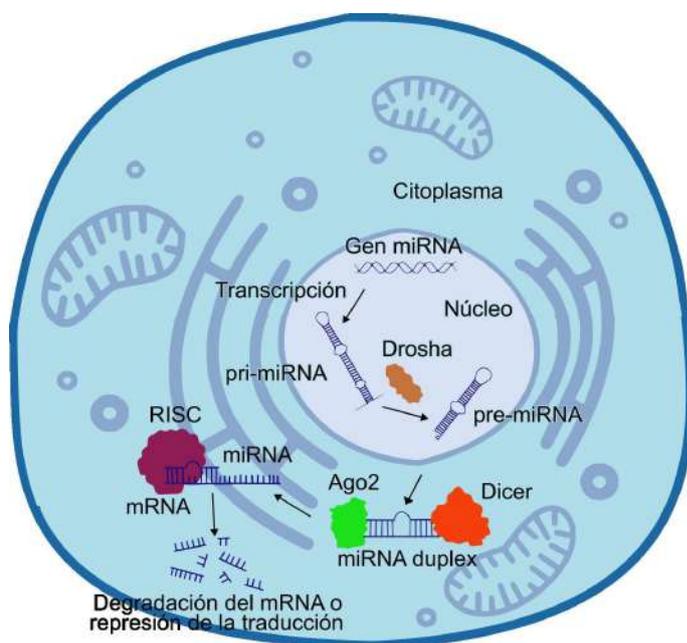


Figura 2. Representación de la biogénesis de los miRNAs (Elaboración por Valeria Villarreal-García).

Se sabe que los miRNAs tienen una importante participación en diversos procesos biológicos como la diferenciación celular, proliferación, regulación del ciclo celular, metabolismo, regulación del estrés, inflamación, invasión, migración, apoptosis, entre otros. Debido a sus características funcionales, los miRNAs tienen una gran relevancia, ya que participan tanto en procesos fisiológicos como patológicos (Ho et al., 2022).

Los miRNAs tienen un gran potencial para ser empleados como biomarcadores en la práctica clínica, especialmente en el cáncer, debido a su importante participación en los procesos de tumorigénesis. Dependiendo del gen blanco, algunos miRNAs pueden actuar como miRNAs supresores tumorales (tsmiRs), influyendo negativamente en los oncogenes, mientras que otros miRNAs pueden actuar promoviendo el desarrollo del cáncer actuando como miRNAs oncogénicos (oncomiRs) al inhibir genes supresores tumorales (Lujambio & Lowe, 2012).

Además de ser moléculas estables, los miRNAs presentan una expresión diferencial en tejido cancerígeno con respecto al tejido sano, siendo ésta una de sus características más sobresalientes. Igualmente, los miRNAs pueden ser empleados en el diagnóstico temprano de muchos tipos de cáncer, en la clasificación de tumores difíciles de diferenciar, en la detección de metástasis, en la recurrencia de la enfermedad y en la respuesta a los tratamientos (Bertoli et al., 2015). Por estos motivos, actualmente se realiza investigación para buscar miRNAs como potenciales biomarcadores para facilitar tanto el diagnóstico como el pronóstico en pacientes con cáncer.

MiRNAs como biomarcadores de diagnóstico, pronóstico y predicción en cáncer de mama

Se ha identificado que la expresión de los miRNAs se encuentra desregulada en el desarrollo y curso del

cáncer de mama (Bertoli et al., 2015). Es decir, algunos miRNAs se expresan en mayor medida y otros en menor medida, como se muestra en la Tabla 2, siendo esta una característica distintiva de estas moléculas.

Esta expresión diferencial hace de los miRNAs las moléculas ideales para ser empleadas como biomarcadores de diagnóstico, pronóstico y predicción en cáncer de mama, en especial los miRNAs que se encuentran altamente expresados.

Otro aspecto importante sobre los miRNAs es que pueden encontrarse tanto en tejido como en fluidos corporales. Los miRNAs presentes en tejido son no circulantes, mientras que los miRNAs encontrados en fluidos corporales son miRNAs circulantes. Los miRNAs no circulantes se obtienen al realizar biopsias del tejido tumoral de los pacientes, mientras que los miRNAs circulantes se pueden obtener de suero, plasma, orina, leche materna y saliva (Bertoli et al., 2015; Kulasingam & Diamandis, 2008).

Uno de los objetivos de los biomarcadores es que la obtención de la muestra sea mínimamente invasiva, preferentemente a través de una flebotomía para obtener muestras de sangre. Sin embargo, cabe mencionar que frecuentemente se toman biopsias para diagnosticar el cáncer de mama con apoyo de un patólogo y definir el subtipo de cáncer de mama presente en la paciente, de esta forma se aprovecharía el tejido de la biopsia para la detección de los biomarcadores.

La búsqueda de biomarcadores inicia con el procesamiento de las muestras biológicas (tejidos o fluidos corporales), continuando con análisis moleculares, que pueden ser con enfoque genómico, proteómico, metabolómico, entre otros. Después del análisis de los resultados, finalmente se podrá identificar el tipo de biomarcador (diagnóstico, pronóstico, predictivo) (Figura 3). En la Tabla 3 se enlistan algunos ejemplos de miRNAs que podrían ser utilizados como potenciales biomarcadores en cáncer de mama.

Tabla 2. Ejemplos de miRNAs desregulados en cáncer de mama

	MiRNAs	Referencias
Expresión alta	miR-9, miR-21, miR-29a, miR-96, miR-146a, miR-155, miR-181, miR-660	(Christodoulatos & Dalamaga, 2014; Dong et al., 2014; Krishnan et al., 2015; Tang et al., 2012) prognostic or predictive usefulness as well as therapeutic value for BC. Micro-RNAs (miRNAs
Expresión baja	miR-30, miR-31, miR-93, miR-126, miR-145, miR-195, miR-205, miR-206, miR-335	(J. Hu et al., 2015; Tang et al., 2012; Zhao et al., 2014)

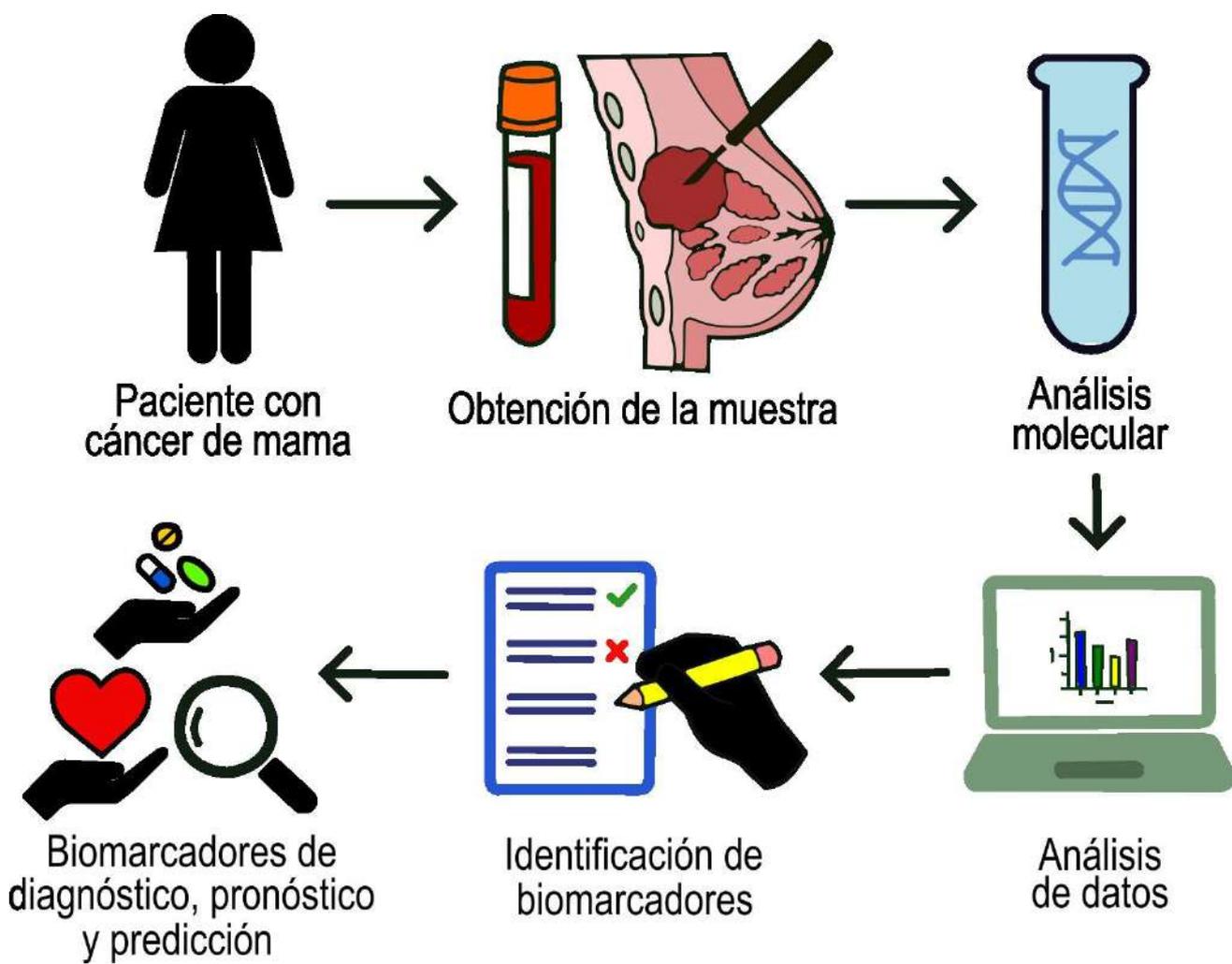


Figura 3. Proceso de selección e identificación de miRNAs como biomarcadores en cáncer de mama (Elaboración por Valeria Villarreal-García).

Tabla 3. Ejemplos de potenciales miRNAs como biomarcadores en cáncer de mama

Origen	MiRNAs	Biomarcador	Referencias
Suero	miR-16, miR-18b, miR-21, miR-25	Diagnóstico, pronóstico	(Z. Hu et al., 2012; Wu et al., 2011)which can be detected and are potentially disease specific. However, the lack of suitable endogenous controls for serum miRNA detection is the restriction for the widely usage of this kind of biomarkers and for the between-laboratory comparison of the findings. We first systematically screened for endogenous control miRNAs (ECMs
Suero	miR-155	Diagnóstico, predictivo	(Roth et al., 2010; Sun et al., 2012)
Plasma	miR-210	Predictivo	(Jung et al., 2012)
Tejido	miR-7, miR-21, miR-29, miR-145, miR-155	Diagnóstico	(Iorio et al., 2005)
Tejido	miR-148a, miR-210, miR-660	Pronóstico	(Krishnan et al., 2015; Rothé et al., 2011)it is challenging to accurately identify the subset of patients who are likely to undergo recurrence and there remains a major need for markers of higher utility to guide therapeutic decisions. MicroRNAs (miRNAs
Tejido	let-7a, miR-27a, miR-155, miR-335, miR-493	Diagnóstico, pronóstico	(Andorfer et al., 2011; Gasparini et al., 2014)
Tejido	miR-21, miR-26a, miR-30b, miR-139, miR-204	Predictivo	(Lyng et al., 2012; Valabrega et al., 2007)many tumors develop resistance. MicroRNAs (miRNAs

Sin embargo, para que un biomarcador pueda ser utilizado en la clínica, tiene que pasar por un complejo proceso de validaciones. Dicha evaluación debe cumplir con las siguientes características: la validez del contenido, donde el biomarcador refleja la afectación estudiada; la validez del constructo, donde el biomarcador debe presentar las características relevantes de la enfermedad; y la validez de criterio, que muestra si el biomarcador se correlaciona con la enfermedad específica y generalmente se mide mediante la sensibilidad, la especificidad y el poder predictivo (Purkayastha et al., 2023; Sell, 2003).

A pesar de que cada vez conocemos más miRNAs implicados en el desarrollo y progresión del cáncer de mama, se espera que en un futuro cercano los miRNAs puedan ser usados en la práctica clínica rutinaria. Actualmente, el kit Oncoliq fabricado por Mana Tech, con sede en Buenos Aires, Argentina, se encuentra en fase clínica 3 y utiliza miRNAs como biomarcadores para el diagnóstico del cáncer de mama (Siervi, 2022); además, hay un estudio en fase clínica 4 que evalúa un perfil de expresión de 15 miRNAs obtenidos de plasma de pacientes con cáncer de mama para evaluar la respuesta a los tratamientos (Institut Claudius Regaud, 2018). Por tal motivo, la búsqueda de miRNAs como biomarcadores continúa para contar con más herramientas de diagnóstico que permitan detectar el cáncer de mama en etapas tempranas y así ofrecer un mejor pronóstico a los pacientes, así como un tratamiento cada vez más personalizado.

DISCUSIÓN

El mayor desafío en la búsqueda de biomarcadores inicia con su identificación en el laboratorio y culmina con su uso e interpretación clínica. Un biomarcador de cáncer ideal debería ser accesible, sensible, estable y nos debe guiar en la detección, el diagnóstico, el pronóstico y la respuesta al tratamiento (Z. Hu et al., 2012; Peng et al., 2018; Sell, 2003) which can be detected and are potentially disease specific. However, the lack of suitable endogenous controls for serum miRNA detection is the restriction for the widely usage of this kind of biomarkers and for the between-laboratory

comparison of the findings. We first systematically screened for endogenous control miRNAs (ECMs).

Los biomarcadores, considerados como indicadores biológicos medibles, juegan un papel crucial en la detección temprana y el monitoreo del cáncer de mama. Gracias a la investigación continua, se han propuesto biomarcadores específicos que podrían revolucionar la forma en que abordamos esta enfermedad.

La investigación con los miRNAs como biomarcadores surge por su vital participación en el cáncer de mama, ya que su expresión diferencial puede proporcionar información sobre la probabilidad de metástasis, la respuesta al tratamiento y la posibilidad de recurrencia. Su capacidad para señalar la presencia del cáncer en etapas tempranas, prever la progresión de la enfermedad y afinar las estrategias terapéuticas para la selección de tratamientos personalizados ayudará a maximizar la eficacia y a minimizar los efectos secundarios, ofreciendo una perspectiva alentadora para el futuro de la atención oncológica. Por lo tanto, el empleo de miRNAs como biomarcadores ayudará a los médicos a realizar un diagnóstico más efectivo y a mejorar el pronóstico de los pacientes con cáncer de mama.

En resumen, aunque enfrentamos una batalla constante contra el cáncer de mama, los grandes avances en la identificación de biomarcadores representan una gran esperanza. La investigación en este campo no solo impulsa el conocimiento científico, sino que también ofrece perspectivas alentadoras para transformar la manera en que diagnosticamos y tratamos esta enfermedad que afecta a tantas vidas. Por todo lo anterior, es esencial la colaboración entre científicos y médicos para seguir avanzando en esta lucha, donde en un futuro el cáncer de mama sea una amenaza superada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Alejandra Arreola Triana por su apoyo en la edición de este manuscrito.



LITERATURA CITADA

- Ahmad, A. (Ed.). (2019). *Breast Cancer Metastasis and Drug Resistance: Challenges and Progress* (Vol. 1152). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20301-6>
- American Cancer Society. (s. f.). *Breast Cancer Facts & Figures 2019-2020*.
- Andorfer, C. A., Necela, B. M., Thompson, E. A., & Perez, E. A. (2011). MicroRNA signatures: Clinical biomarkers for the diagnosis and treatment of breast cancer. *Trends in Molecular Medicine*, 17(6), 313-319. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2011.01.006>
- Bartel, D. P. (2004). MicroRNAs: Genomics, Biogenesis, Mechanism, and Function. *Cell*, 116(2), 281-297. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(04\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(04)00045-5)
- Bertoli, G., Cava, C., & Castiglioni, I. (2015). MicroRNAs: New Biomarkers for Diagnosis, Prognosis, Therapy Prediction and Therapeutic Tools for Breast Cancer. *Theranostics*, 5(10), 1122-1143. <https://doi.org/10.7150/thno.11543>
- Chakraborty, A., Patton, D. J., Smith, B. F., & Agarwal, P. (2023). miRNAs: Potential as Biomarkers and Therapeutic Targets for Cancer. *Genes*, 14(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/genes14071375>
- Christodoulatos, G. S., & Dalamaga, M. (2014). Micro-RNAs as clinical biomarkers and therapeutic targets in breast cancer: Quo vadis? *World Journal of Clinical Oncology*, 5(2), 71-81. <https://doi.org/10.5306/wjco.v5.i2.71>
- Dong, G., Liang, X., Wang, D., Gao, H., Wang, L., Wang, L., Liu, J., & Du, Z. (2014). High expression of miR-21 in triple-negative breast cancers was correlated with a poor prognosis and promoted tumor cell in vitro proliferation. *Medical Oncology (Northwood, London, England)*, 31(7), 57. <https://doi.org/10.1007/s12032-014-0057-x>
- Finnegan, E. F., & Pasquinelli, A. E. (2013). MicroRNA biogenesis: Regulating the regulators. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 48(1), 51-68. <https://doi.org/10.3109/10409238.2012.738643>
- Gasparini, P., Cascione, L., Fassan, M., Lovat, F., Guler, G., Balci, S., Irkkan, C., Morrison, C., Croce, C. M., Shapiro, C. L., & Huebner, K. (2014). microRNA expression profiling identifies a four microRNA signature as a novel diagnostic and prognostic biomarker in triple negative breast cancers. *Oncotarget*, 5(5), 1174-1184. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.1682>
- Ho, P. T. B., Clark, I. M., & Le, L. T. T. (2022). MicroRNA-Based Diagnosis and Therapy. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/ijms23137167>
- Hu, J., Xu, J., Wu, Y., Chen, Q., Zheng, W., Lu, X., Zhou, C., & Jiao, D. (2015). Identification of microRNA-93 as a functional dysregulated miRNA in triple-negative breast cancer. *Tumour Biology: The Journal of the International Society for Oncodevelopmental Biology and Medicine*, 36(1), 251-258. <https://doi.org/10.1007/s13277-014-2611-8>
- Hu, Z., Dong, J., Wang, L.-E., Ma, H., Liu, J., Zhao, Y., Tang, J., Chen, X., Dai, J., Wei, Q., Zhang, C., & Shen, H. (2012). Serum microRNA profiling and breast cancer risk: The use of miR-484/191 as endogenous controls. *Carcinogenesis*, 33(4), 828-834. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgs030>
- INEGI. (s. f.). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. Recuperado 29 de noviembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=8498>
- Institut Claudius Regaud. (2018). *Circulating miRNAs as Biomarkers of Hormone Sensitivity in Breast Cancer? Pilot Study*. (Clinical trial registration NCT01612871). clinicaltrials.gov. <https://clinicaltrials.gov/study/NCT01612871>
- Iorio, M. V., Ferracin, M., Liu, C.-G., Veronese, A., Spizzo, R., Sabbioni, S., Magri, E., Pedriali, M., Fabbri, M., Campiglio, M., Ménard, S., Palazzo, J. P., Rosenberg, A., Musiani, P., Volinia, S., Nenci, I., Calin, G. A., Querzoli, P., Negrini, M., & Croce, C. M. (2005). MicroRNA Gene Expression Deregulation in Human Breast Cancer. *Cancer Research*, 65(16), 7065-7070. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-05-1783>
- Jung, E.-J., Santarpia, L., Kim, J., Esteva, F. J., Moretti, E., Buzdar, A. U., Di Leo, A., Le, X.-F., Bast, R. C., Park, S.-T.,

- Pusztai, L., & Calin, G. A. (2012). Plasma microRNA 210 levels correlate with sensitivity to trastuzumab and tumor presence in breast cancer patients. *Cancer*, *118*(10), 2603-2614. <https://doi.org/10.1002/cncr.26565>
- Krishnan, P., Ghosh, S., Wang, B., Li, D., Narasimhan, A., Berendt, R., Graham, K., Mackey, J. R., Kovalchuk, O., & Damaraju, S. (2015). Next generation sequencing profiling identifies miR-574-3p and miR-660-5p as potential novel prognostic markers for breast cancer. *BMC Genomics*, *16*(1), 735. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1899-0>
- Kulasingam, V., & Diamandis, E. P. (2008). Strategies for discovering novel cancer biomarkers through utilization of emerging technologies. *Nature Clinical Practice. Oncology*, *5*(10), 588-599. <https://doi.org/10.1038/nponc1187>
- Lee, R. C., Feinbaum, R. L., & Ambros, V. (1993). The *C. elegans* heterochronic gene *lin-4* encodes small RNAs with antisense complementarity to *lin-14*. *Cell*, *75*(5), Article 5. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(93\)90529-Y](https://doi.org/10.1016/0092-8674(93)90529-Y)
- Lujambio, A., & Lowe, S. W. (2012). The microcosmos of cancer. *Nature*, *482*(7385), Article 7385. <https://doi.org/10.1038/nature10888>
- Lyng, M. B., Lænkholm, A.-V., Søkilde, R., Gravgaard, K. H., Litman, T., & Ditzel, H. J. (2012). Global microRNA expression profiling of high-risk ER+ breast cancers from patients receiving adjuvant tamoxifen mono-therapy: A DBCG study. *PLoS One*, *7*(5), e36170. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036170>
- Moazed, D. (2009, enero 21). *Small RNAs in transcriptional gene silencing and genome defence* [Special Features]. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature07756>
- NCI (nciglobal,ncienterprise). (2011, febrero 2). [InciAppModulePage]. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/biomarcador>
- Peng, S., Wang, J., Wei, S., Li, C., Zhou, K., Hu, J., Ye, X., Yan, J., Liu, W., Gao, G. F., Fang, M., & Meng, S. (2018). Endogenous Cellular MicroRNAs Mediate Antiviral Defense against Influenza A Virus. *Molecular Therapy - Nucleic Acids*, *10*, 361-375. <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2017.12.016>
- Provenzano, E., Ulaner, G. A., & Chin, S.-F. (2018). Molecular Classification of Breast Cancer. *PET Clinics*, *13*(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.cpet.2018.02.004>
- Purkayastha, K., Dhar, R., Pethusamy, K., Srivastava, T., Shankar, A., Rath, G. K., & Karmakar, S. (2023). The issues and challenges with cancer biomarkers. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, *19*(Suppl 1), S20. https://doi.org/10.4103/jcrt.jcrt_384_22
- Roth, C., Rack, B., Müller, V., Janni, W., Pantel, K., & Schwarzenbach, H. (2010). Circulating microRNAs as blood-based markers for patients with primary and metastatic breast cancer. *Breast Cancer Research: BCR*, *12*(6), R90. <https://doi.org/10.1186/bcr2766>
- Rothé, F., Ignatiadis, M., Chaboteaux, C., Haibe-Kains, B., Kheddoumi, N., Majjaj, S., Badran, B., Fayyad-Kazan, H., Desmedt, C., Harris, A. L., Piccart, M., & Sotiriou, C. (2011). Global microRNA expression profiling identifies MiR-210 associated with tumor proliferation, invasion and poor clinical outcome in breast cancer. *PLoS One*, *6*(6), e20980. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020980>
- Sarhadi, V. K., & Armengol, G. (2022). Molecular Biomarkers in Cancer. *Biomolecules*, *12*(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/biom12081021>
- Sell, S. (2003). *Tumor Markers: Physiology, Pathobiology, Technology and Clinical Applications*. Eleftherios P. Diamandis, Hervert A. Fritche, Hans Lilja, Daniel W. Chan, and Morton K. Schwartz, eds. Washington, DC: AACCC Press, 2002, 513 pp., \$99.00 (\$79.00 AACCC members), softcover. ISBN 1-890883-71-9. *Clinical Chemistry*, *49*(2), 342. <https://doi.org/10.1373/49.2.342>
- Siervi, A. D. (2022). *Onco-liq: Kit for Breast Cancer Diagnosis*. (Clinical trial registration NCT04906330). *clinicaltrials.gov*. <https://clinicaltrials.gov/study/NCT04906330>
- Strimbu, K., & Tavel, J. A. (2010). What are Biomarkers? *Current opinion in HIV and AIDS*, *5*(6), 463-466. <https://doi.org/10.1097/COH.0b013e328333ed177>
- Sun, Y., Wang, M., Lin, G., Sun, S., Li, X., Qi, J., & Li, J. (2012). Serum microRNA-155 as a potential biomarker to track disease in breast cancer. *PLoS One*, *7*(10), e47003. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047003>
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, n/a(n/a), Article n/a. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
- Tang, J., Ahmad, A., & Sarkar, F. H. (2012). The role of microRNAs in breast cancer migration, invasion and metastasis. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(10), 13414-13437. <https://doi.org/10.3390/ijms131013414>
- Tsang, J. Y. S., & Tse, G. M. (2020). Molecular Classification of Breast Cancer. *Advances in Anatomic Pathology*, *27*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1097/PAP.0000000000000232>
- Valabrega, G., Montemurro, F., & Aglietta, M. (2007). Trastuzumab: Mechanism of action, resistance and future perspectives in HER2-overexpressing breast cancer. *Annals of Oncology: Official Journal of the European Society for Medical Oncology*, *18*(6), 977-984. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdl475>
- Wu, Q., Lu, Z., Li, H., Lu, J., Guo, L., & Ge, Q. (2011). Next-generation sequencing of microRNAs for breast cancer detection. *Journal of Biomedicine & Biotechnology*, *2011*, 597145. <https://doi.org/10.1155/2011/597145>
- Zhao, F., Dou, Y., Wang, X., Han, D., Lv, Z., Ge, S., & Zhang, Y. (2014). Serum microRNA-195 is down-regulated in breast cancer: A potential marker for the diagnosis of breast cancer. *Molecular Biology Reports*, *41*(9), 5913-5922. <https://doi.org/10.1007/s11033-014-3466-1>



NO DEBERÍAS LAVAR EL POLLO

OCAMPO ZARATE XIMENA¹ MARTÍNEZ REYES PERLA ALEJANDRA¹, Y CHÁVEZ JACOBO VÍCTOR M.^{2*}

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Zacatepec, Departamento de Ingeniería Bioquímica. ²Instituto de Biotecnología, UNAM. *Contacto: victor_mch@hotmail.com



Palabras clave: Contaminación de alimentos, infección, *Salmonella*, *Campylobacter*

Key words: Food Contamination, infections, *Salmonella*, *Campylobacter*

RESUMEN

Nuestro país tiene una cultura alimenticia muy amplia y con reconocimiento internacional, no obstante, hemos mantenido algunas prácticas tradicionales en el manejo de los alimentos que podrían llegar a poner en riesgo nuestra salud. Se sabe que las aves de corral son portadoras de algunas bacterias entre las que destacan dos de ellas especialmente preocupantes: *Salmonella spp* y *Campylobacter*; éstas han sido relacionadas con infecciones gastrointestinales convirtiéndose en un problema de salud pública. La industria alimentaria aplica diversas estrategias para su eliminación y de esta forma evitar que lleguen al consumidor, sin embargo, aunque reduce en una gran parte la carga bacteriana, la carne cruda que llega a nosotros no está completamente libre de estas bacterias. En muchos de los hogares mexicanos es una práctica común lavar el pollo antes de cocinarlo, a pesar de que, se ha demostrado que esto no solo no ayuda a eliminar a las bacterias, si no que podría contaminar otros utensilios o las áreas cercanas, que posteriormente necesitarían de un proceso de sanitización especial para eliminar la contaminación. En el presente artículo se pretende generar conciencia sobre la contaminación que podría generarse debido a un mal manejo de los alimentos y que se evitaría siguiendo algunas sencillas recomendaciones.

ABSTRACT

Our country boasts a rich and internationally recognized food culture. However, we continue to practice some traditional food handling methods that may jeopardize our health. Poultry, for instance, are known carriers of certain bacteria, with *Salmonella spp.* and *Campylobacter* being particularly concerning. These bacteria have been linked to gastrointestinal infections, posing a significant public health issue. The food industry employs various strategies to eliminate these pathogens and prevent them from reaching consumers. Despite these efforts, raw meat is not entirely free of these bacteria when it reaches us. In many Mexican households, it is common to wash chicken before cooking, even though it has been proven that this practice does not eliminate bacteria. Instead, it can spread contamination to other utensils or nearby surfaces, necessitating a thorough sanitization process. This article aims to raise awareness about the potential contamination resulting from improper food handling and to offer simple recommendations to avoid it.

INTRODUCCIÓN

Por definición, un alimento es prácticamente cualquier sustancia consumida para nutrir a un ser vivo; puede ser de origen vegetal, animal o fúngico y contiene las biomoléculas esenciales para sobrevivir: carbohidratos, proteínas, lípidos, nucleótidos, vitaminas y minerales. Aunque de manera estricta podríamos calcular las proporciones exactas de estas moléculas que necesitamos para sobrevivir con base en nuestras necesidades energéticas diarias, es importante señalar que la alimentación significa algo mucho más profundo que solo proporcionar energía. Las comidas familiares son todo un ritual y de alguna u otra manera todos conservamos muchos recuerdos en torno a un plato de comida específico que se preparaba para ocasiones muy especiales, así como seguramente todos tenemos una comida favorita o un sitio preferido para consumir alimentos fuera de nuestro hogar. En contraste, a lo largo de la historia de la humanidad han existido enfermedades que se transmiten a través del consumo de alimentos en mal estado, ya sea por la presencia de patógenos o microorganismos deteriorantes y sus toxinas (bacterias, hongos y virus). Debido a que estas enfermedades se propagan fácilmente, constituyen un problema de salud pública a nivel mundial por lo que la organización mundial de la salud (OMS) reconoce a las bacterias patógenas *Salmonella* spp. y *Campylobacter* spp. como unas de las principales causantes de enfermedades diarreicas transmitidas por alimentos. Debido a que estas bacterias se encuentran ampliamente distribuidas en aves de corral, como el pollo (Tropea. 2022), en este artículo discutiremos la importancia del correcto manejo de los alimentos para prevenir la transmisión de enfermedades.

CONTAMINACIÓN DE ALIMENTOS

La contaminación de alimentos puede ocurrir desde la fase de producción, o en las de almacenamiento, distribución y finalmente en la fase de preparación. Es importante señalar que existen múltiples contaminantes y aunque nos vamos a enfocar en las bacterias, vale la pena señalar que existen contaminantes químicos (compuestos perfluorados, éteres de difenilo policlorados y diversos antibióticos) que podrían estar presentes en los alimentos y generar problemas de salud. Con respecto de las bacterias contaminantes de alimentos, la industria agrícola, las plantas procesadoras y las instancias encargadas de su regulación han hecho muchos esfuerzos para reducir o eliminar las bacterias patógenas, pese a ello, se siguen reportando casos de contaminación de carne de pollo con *Salmonella* y *Campylobacter* (Gomes et al., 2022) (Figura 1).

Por lo anterior queda abierta la gran pregunta ¿Qué puedo hacer yo para no sufrir una infección causada por consumir alimentos contaminados? La primera gran recomendación es consumir alimentos únicamente en comercios establecidos que operen bajo la supervisión de las normas oficiales (NOM-093-SSA1-1994 que establece las disposiciones sanitarias en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos con el fin de proporcionar alimentos inocuos al consumidor y junto con la norma NOM-114-SSA1-1993 que establece un método general para la determinación de *Salmonella* spp. en alimentos). Y la segunda recomendación es con respecto del manejo de los alimentos en nuestra propia casa, donde debemos llevar a la práctica

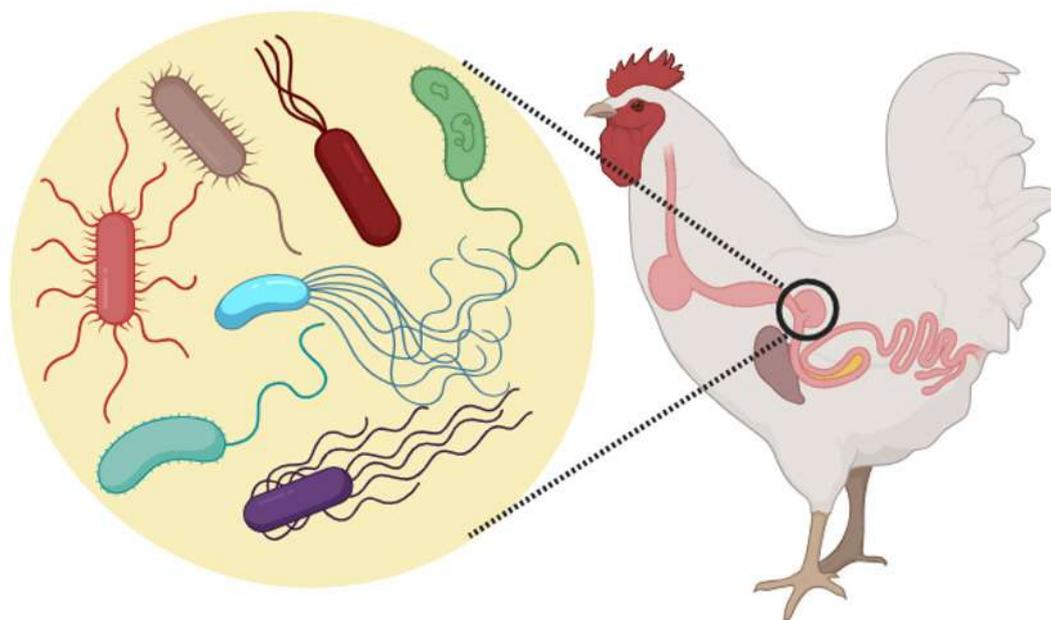


Figura 1. Se sabe que las aves de corral contienen en su microbiota gastrointestinal a las bacterias *Salmonella* y *Campylobacter*, a pesar de que comúnmente estas partes de las aves no son comestibles, durante el sacrificio de los animales y su posterior manejo para su preparación, la carne puede contaminarse con estas bacterias patógenas y poner en riesgo nuestra salud.

algunas medidas sencillas que garanticen nuestra seguridad:

1. Cocinar la carne hasta que alcance una temperatura segura. Para el pollo que establecimos con la principal fuente de contaminación por *Salmonella* y *Campylobacter*, es necesaria una temperatura interna de al menos 74°C lo cual garantiza eliminar cualquier bacteria presente (Godínez-Oviedo et al., 2020. Cardoso et al., 2021).
2. No lavar el pollo. Sabemos que esto es una práctica común en la mayoría de los hogares. A pesar de que no se recomienda, ya que, en caso de estar contaminado por bacterias patógenas, estas se pueden esparcir por toda el área de preparación de alimentos y de utensilios de cocina, además de que, el simple lavado con agua no elimina a las bacterias y solo contribuye a su propagación (Godínez-Oviedo et al., 2020. Cardoso et al., 2021) (Figura 2).
3. Evitar contaminación cruzada. Los utensilios de cocina utilizados para manipular el pollo crudo son muy susceptibles de contaminarse con las bacterias de la carne. Se deben desinfectar tanto nuestras manos como los utensilios de cocina, así como cualquier superficie que entre en contacto con la carne cruda (Benli. 2016).
4. Almacenar de forma adecuada el pollo crudo. El pollo crudo debe almacenarse a una temperatura inferior a 4°C y en caso de que no se vaya a cocinar en los siguientes dos días, se debe congelar (-20°C) (Benli. 2016).
5. Manejo del pollo cocinado. Si no vas a consumir el pollo de inmediato, este se puede almacenar en el refrigerador (4°C) por un máximo de 2 días (Benli. 2016).

INFECCIONES CAUSADAS POR *SALMONELLA* Y *CAMPYLOBACTER*

Se reconoce que la bacteria *Salmonella* se encuentra distribuida globalmente y, existen múltiples reportes sobre la presencia de *Salmonella* en la carne de pollo, que se limitan a identificar la presencia de la bacteria, pero no proporcionan información sobre los tipos de *Salmonella* que están presentes. Por lo anterior, debemos reconocer que existen cepas que no son capaces de causarnos daño, aunque estemos en contacto directo con ellas. Sin embargo, desde la década de los 90's, se ha vuelto cada vez más común encontrarnos con la presencia de una cepa denominada *Salmonella typhimurium* que presenta resistencia al menos a seis de los antibióticos más comúnmente prescritos para tratar infecciones gastrointestinales, como Ciprofloxacina, y que ha sido responsable de múltiples epidemias (Godínez-Oviedo et al., 2020). Ante este escenario, es necesario que nos

replantemos algunas prácticas que quizá son comunes en nuestro quehacer diario, como ingerir alimentos crudos o lavar el pollo que, como señalamos anteriormente, no elimina las bacterias y solo favorece su propagación (Cardoso et al., 2021).

La bacteria *Campylobacter* es una de las principales causas de enfermedades diarreicas en países industrializados y en vías de desarrollo. Se encuentra comúnmente en el tracto gastrointestinal de las aves y es capaz de permanecer activa aún después de que los animales son sacrificados y, debido a esto, se transmite a los humanos a través de carne contaminada mal cocida. Durante las últimas dos décadas hemos visto un incremento en los aislados resistentes a antibióticos, principalmente a quinolonas y macrólidos, los medicamentos empleados para tratar las infecciones diarreicas (Cardoso et al., 2021). Recientemente, nuestro país emitió una alerta epidemiológica ante un incremento en los casos de Síndrome de Guillain Barré, una enfermedad autoinmune que se ha asociado a una infección bacteriana por *Campylobacter jejuni* (después de una infección el sistema inmune puede atacar por error el sistema nervioso periférico causando inflamación y daño), con 18 casos reportados y 8 confirmados, además de dos muertes en el estado de Tlaxcala (Secretaría de Salud. 2024). Como parte de las medidas para prevenir el contagio, la secretaría de Salud recomienda el lavado frecuente de manos, consumo de agua potable y la manipulación y cocción correcta de los alimentos.

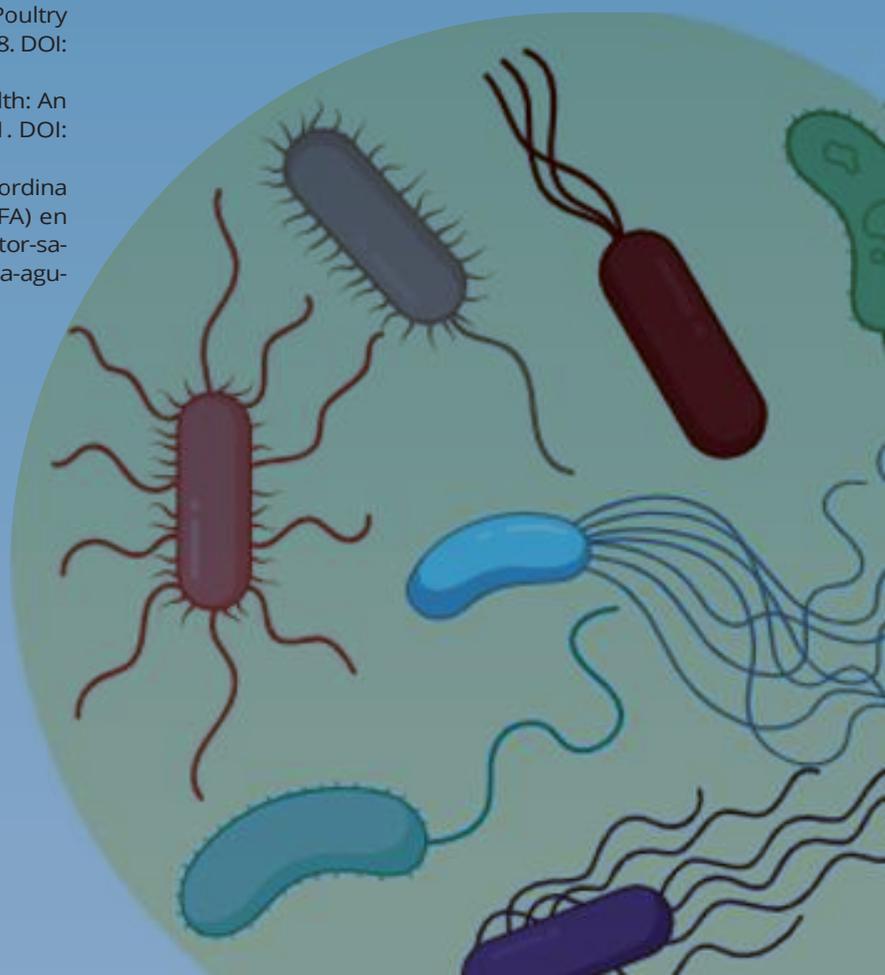


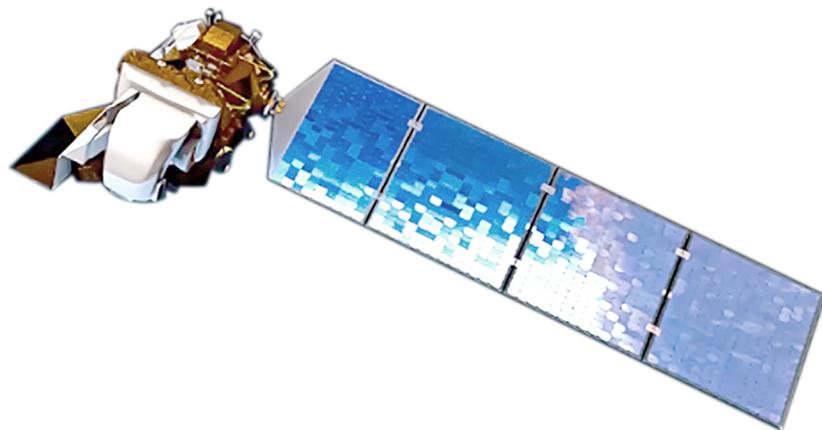
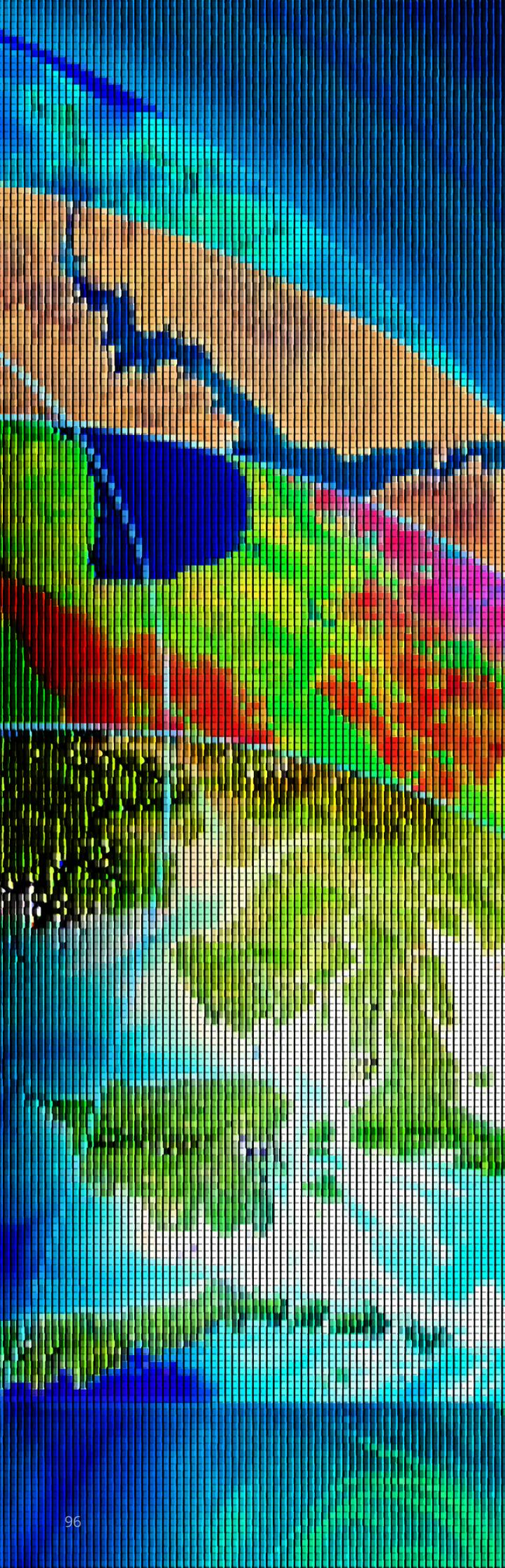
Figura 2. La contaminación cruzada al lavar el pollo ocurre cuando los residuos del pollo crudo o las salpicaduras del agua que ha estado en contacto con la carne entran en contacto con otros alimentos, utensilios de cocina o superficies que posteriormente no son sanitizadas de manera adecuada. Esta actividad puede propagar bacterias como *Salmonella* y *Campylobacter* causantes de enfermedades infecciosas.



LITERATURA CITADA

- Benli H. 2016. Consumer Attitudes Toward Storing and Thawing Chicken and Effects of the Common Thawing Practices on Some Quality Characteristics of Frozen Chicken. *Asian-Australas J Anim Sci.* 29(1):100-8. DOI: 10.5713/ajas.15.0604.
- Cardoso MJ, Ferreira V, Truninger M, Maia R, Teixeira P. 2021 Cross-contamination events of *Campylobacter* spp. in domestic kitchens associated with consumer handling practices of raw poultry. *Int J Food Microbiol* 338:108984. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108984.
- Godínez-Oviedo A, Tamplin ML, Bowman JP, Hernández-Iturriaga M. 2020. *Salmonella* enterica in Mexico 2000-2017: Epidemiology, Antimicrobial Resistance, and Prevalence in Food. *Foodborne Pathog Dis* 17(2):98-118. DOI: 10.1089/fpd.2019.2627.
- Gomes B, Pena P, Cervantes R, Dias M, Viegas C. 2022. Microbial Contamination of Bedding Material: One Health in Poultry Production. *Int J Environ Res Public Health* 19(24):16508. DOI: 10.3390/ijerph192416508.
- Tropea A. 2022. Microbial Contamination and Public Health: An Overview. *Int J Environ Res Public Health* 19(12):7441. DOI: 10.3390/ijerph19127441.
- Secretaría de Salud. 29 de marzo en 2024. Sector salud coordina acciones ante brote de parálisis flácida aguda (PFA) en Tlaxcala. <https://www.gob.mx/salud/prensa/129-sector-salud-coordina-acciones-ante-brote-de-paralisis-flacida-aguda-pfa-en-tlaxcala?idiom=es>.





TECNOLOGÍA SATELITAL Y MANGLARES: UNA ALIANZA PARA MITIGAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL

/// CYNTHYA MALDONADO MOJICA¹; JORGE
OMAR LÓPEZ MARTÍNEZ^{2,3*}; E. BETZABETH
PALAFOX JUÁREZ^{2,4}; HÉCTOR A. HERNÁNDEZ
ARANA¹.

¹Departamento de Sistemática y Ecología Acuática. El Colegio de la Frontera Sur – Unidad Chetumal

²Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

³Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), Mérida, México

⁴Departamento Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano. El Colegio de la Frontera Sur – Unidad Chetumal

*Autor por correspondencia: lmjorgeomar@gmail.com

RESUMEN

Los manglares, ubicados en zonas costeras tropicales y subtropicales, son ecosistemas clave que no solo proporcionan importantes servicios ambientales, como la protección de costas y la conservación de la biodiversidad, sino que también desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático al almacenar grandes cantidades de carbono en su biomasa y en el suelo. No obstante, son altamente vulnerables a la deforestación, la urbanización y otros cambios de uso del suelo; provocando la liberación del carbono almacenado y contribuyendo al calentamiento global. La percepción remota, mediante el uso de sensores remotos como Landsat y Sentinel, resulta fundamental para monitorear estos ecosistemas. Las plataformas como éstas, emplean sensores multispectrales que capturan diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, permitiendo estimar la biomasa y detectar cambios en la extensión de los manglares. Herramientas como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y LIDAR, permiten obtener información detallada sobre la estructura y la densidad del dosel, elementos clave para calcular el carbono almacenado; sin embargo, es necesario complementar las estimaciones obtenidas por teledetección con mediciones en campo, para mejorar la precisión de los cálculos de biomasa. La combinación de ambas metodologías refuerza la capacidad de gestión y conservación de los manglares, contribuyendo significativamente a las estrategias globales para mitigar el cambio climático.

ABSTRACT:

Mangroves in tropical and subtropical coastal areas are critical ecosystems that provide vital environmental services, such as coastal protection and biodiversity conservation. They play a crucial role in mitigating climate change by storing significant amounts of carbon in their biomass and soil. However, mangroves are highly vulnerable to deforestation, urbanization, and other land-use changes, which release stored carbon and contribute to global warming. Remote sensing technologies, such as those offered by platforms like Landsat and Sentinel, are essential for monitoring these ecosystems. These platforms use multispectral sensors that capture different electromagnetic spectrum wavelengths, enabling biomass estimation and detection of changes in mangrove extent. Tools like the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and LIDAR provide detailed information on canopy structure and density, which are key for calculating carbon stocks. To enhance the accuracy of biomass estimates, it is necessary to complement remotely sensed data with field measurements. Combining both methodologies strengthens mangrove management and conservation efforts, contributing significantly to global strategies for mitigating climate change.



Palabras clave: Manglar, Almacenes de carbono, Mitigación del cambio climático, Percepción Remota.

Keywords: Mangrove, Carbon stocks, Climate change mitigation, Remote sensing.



Figura 1. Manglares de Bacalar. Foto por Héctor Abuid Hernández Arana.

La creciente población humana ha impactado severamente los ciclos biogeoquímicos de la tierra acelerando el fenómeno del calentamiento global. Factores como la generación de energía, la pérdida de cobertura forestal y la producción de alimentos, asociados a una creciente población humana demandante de bienes y servicios, son algunas de sus principales causas. Las perspectivas de un cambio de dirección y de magnitud de estos factores son poco alentadoras, lo que tendría que ponernos en estado de alerta ante el riesgo de una crisis climática.

En las últimas cinco décadas, los niveles de CO₂ en la atmósfera han aumentado drásticamente, pasando de 314.6 ppm en 1958 a 425 ppm en 2024. Este incremento en la concentración de CO₂ exacerba el efecto invernadero y eleva la temperatura global. Sus efectos directos son el derretimiento de glaciares, el aumento del nivel medio del mar, la acidificación de los océanos y en general un aumento en la variación del clima. A nivel global, estas alteraciones afectan los procesos de regulación que sustentan la vida, mientras que, localmente, comprometen la salud de los ecosistemas, afectando la seguridad alimentaria y el bienestar humano (FAO, 2016; NASA, 2024; NOAA, 2024).

Ante los riesgos potenciales de una crisis climática se vuelve imprescindible contar con datos e información que permitan tomar acciones, tales como la restauración o, la implementación de medidas de mitigación de impactos sobre ecosistemas clave, como bosques, selvas y humedales. Los sensores remotos son una poderosa herramienta, y complementa las estrategias de monitoreo de cambios espaciales y temporales de los ecosistemas. Un ejemplo de su aplicación ha sido en

el monitoreo de los ecosistemas de manglar, que son ecosistemas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos, y su localización en planicies costeras de inundación ha resultado en fuertes presiones antrópicas para el desarrollo de complejos turísticos.

Esta contribución destaca la importancia de combinar herramientas tecnológicas, como los sensores remotos, para el monitoreo de ecosistemas logísticamente difíciles de estudiar con herramientas tradicionales de observación y experimentación en campo. Esta combinación de herramientas provee un valor agregado para estimar extensión y cobertura de los manglares, así como su dinámica asociada a los cambios de uso de suelos. La información obtenida de la observación espacial y temporal de cambios en la cobertura y extensión de los manglares, por sensores remotos, permite proponer e implementar acciones para la restauración o mitigación de ciertos impactos, particularmente los derivados de la actividad humana.

¿MANGLARES?

La percepción de la sociedad hacia los ecosistemas de 'manglar' generalmente no es positiva. Se perciben como áreas "insalubres", fangosas y malolientes, con fauna no muy carismática (pero importante), como serpientes, cocodrilos y mosquitos. Es evidente el desconocimiento de la sociedad hacia el valor ecológico, y por extensión, el valor económico de sus funciones como ecosistema.

Entonces, desde una perspectiva ecológica, ¿qué son los manglares? De acuerdo con Velázquez-Salazar et al. (2021), los manglares son ecosistemas costeros

únicos, formados por árboles, arbustos y plantas conocidas como mangles, adaptadas a condiciones de inundación en ambientes que van desde salinos hasta de agua dulce. Estos ecosistemas se localizan en más de 120 países, a lo largo de las zonas costeras tropicales y subtropicales del mundo. Se encuentran en zonas de transición entre el mar y la tierra, desembocaduras de ríos, lagunas costeras y esteros, donde se mezclan aguas saladas del mar con aguas dulces de ríos, y fuentes subterráneas, donde las temperaturas cálidas y las condiciones de inundación permiten su desarrollo (Figura 1).

En el mundo, existen alrededor de 70 especies de manglar (Spalding et al. 2010; Davidson y Finlayson 2019). México contribuye con el 6.7% de la superficie global de manglares en el mundo, siendo el cuarto país con mayor extensión de este valioso ecosistema. La mayor parte de este porcentaje se localiza en la Península de Yucatán (60%), aunque existen manglares en las costas de 14 estados del país (desde Baja California hasta Chiapas en el Pacífico, así como a lo largo del Golfo de México y el Mar Caribe). Las especies dominantes o de mayor distribución son el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) (Figura 2). Sin embargo, existen dos especies más *Avicennia bicolor* y *Rhizophora harrisonii*, que solo se distribuyen en una pequeña región de las costas de Chiapas (Velázquez-Salazar et al., 2020; Rodríguez-Zúñiga et al., 2013).

Es interesante que cada una de estas especies posee características que les permiten colonizar y establecerse en zonas con condiciones ambientales específicas. Por ejemplo, las especies del género *Avicennia spp* están adaptadas para expulsar el exceso de sal a través de sus hojas, formando diminutos cristales en su superficie, y no son capaces de resistir largos períodos de inundación. Mientras que las especies del género *Laguncularia spp*, acumulan la sal en las hojas viejas que están a punto de caer, y son capaces de resistir inundaciones prolongadas. Por otro lado, las del género *Rhizophora spp* han desarrollado raíces en forma de "zancos" que les permiten establecerse en áreas con mucho oleaje o muy fangosas. Por último, las especies del género *Conocarpus spp* habitan zonas más elevadas, con suelo más firme, y es frecuente encontrarlas en la interfaz con otros tipos de vegetación (Rodríguez-Zúñiga et al., 2013; Davidson y Finlayson, 2019).

La importancia de los manglares para la humanidad es superlativa, debido a su complejidad y a sus funciones ecosistémicas. Por un lado, los manglares

actúan como barreras naturales, disminuyendo la energía de las olas y protegiendo las costas de la erosión, huracanes y tsunamis. También almacenan grandes volúmenes de agua, disminuyendo el impacto de las inundaciones en zonas costeras y áreas bajas, y contribuyen al abastecimiento de los mantos freáticos. También, son espacios idóneos para la reproducción y el crecimiento de una gran diversidad de especies, tales como peces, crustáceos y aves, muchas de ellas de importancia comercial y fuentes de alimentación. Además, ofrecen áreas para actividades recreativas, turísticas y educativas, entre otros valiosos servicios ecosistémicos (Agráz-Hernández et al., 2006; Russi et al., 2013).

LOS MANGLARES EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los manglares son considerados uno de los sumideros de carbono más importantes del mundo. Los sumideros de carbono son aquellos ecosistemas que capturan y almacena grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) procedentes de la atmósfera. En el caso de los manglares, esto ocurre porque almacenan una gran cantidad de carbono en el suelo y sedimentos, donde puede permanecer miles de años; sin embargo, si se degradan o se pierde la cobertura forestal de los manglares, el carbono almacenado se libera nuevamente a la atmósfera, abonando al calentamiento global (Hamilton y Friess, 2018; IPCC, 2006). Es por ello que, para mitigar los efectos del cambio climático, es fundamental desarrollar estrategias de conservación y monitoreo de estos "sumideros de carbono".

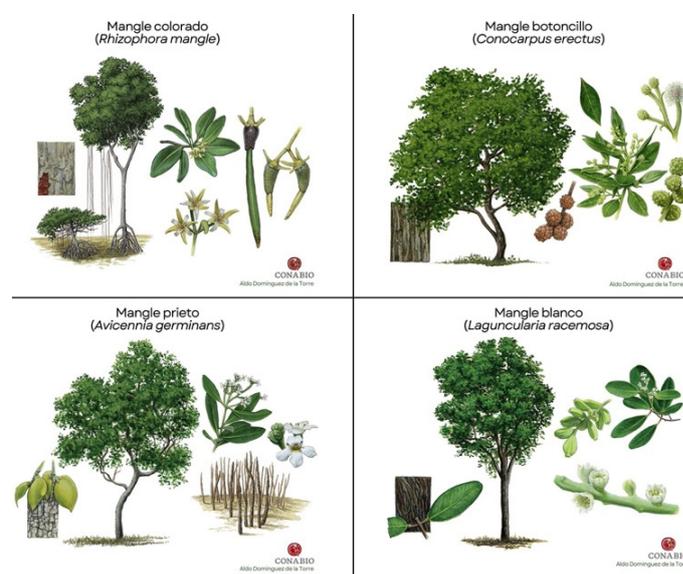


Figura 2.- Especies de manglar de mayor distribución en México. Ilustraciones por Aldo Domínguez de la Torre. CONABIO 2021. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>

Se estima que los manglares y praderas marinas (conocidos como ecosistemas de carbono azul), capturan entre dos y cuatro veces más carbono que los bosques tropicales maduros, almacenan de tres a cinco veces más carbono por área, y capturan el equivalente a casi la mitad de las emisiones de CO₂ generadas por el transporte anual global (CONANP, 2017; Donato et al., 2011; SIMAR, 2024). Sin embargo, a pesar de su importancia, se encuentran entre los ecosistemas más amenazados del mundo debido a la deforestación y la urbanización.

TECNOLOGÍA SATELITAL PARA EL ESTUDIO Y MONITOREO DE LOS MANGLARES

En las últimas décadas, la teledetección se ha ido posicionando como una herramienta muy poderosa para el desarrollo de estrategias de monitoreo de diversos ecosistemas. Lo anterior se debe a la hipótesis que relaciona algunos atributos ecosistémicos, como la diversidad de especies o la biomasa, con la variabilidad o diversidad espectral (Palmer et al., 2002). Esta hipótesis ha sido ampliamente validada para múltiples ecosistemas, generalmente en aquellos en donde la complejidad estructural y la diversidad es baja. Sin embargo, se considera que puede ser una poderosa herramienta para el monitoreo de los ecosistemas de manglar.

El principio fundamental de la teledetección o percepción remota se basa en el espectro electromagnético y la variabilidad que existe en la interacción con los objetos de la superficie terrestre, tales como la vegetación, océanos, suelo, ciudades,

etc. En este sentido, explicaremos superficialmente el principio que subyace esta relación. En primer lugar, los sensores remotos que no tienen su propia fuente de energía (pasivos) dependen completamente de la energía solar. La energía del Sol es la más poderosa de todas las fuentes de energía conocidas, y el resultado de su constante fusión nuclear es el espectro electromagnético. Es decir, el espectro electromagnético es la combinación de todas las ondas provenientes del Sol, viajando en el espacio, con diferentes niveles de energía y frecuencia. Por ejemplo, el espectro electromagnético, está integrado por ondas de radio, las cuales son las más "lentas" y "largas" de todas, y se usan para transmitir música en la radio, ver televisión o comunicarnos por el teléfono. Asimismo, las ondas de microondas son un poquito más rápidas que las de radio y hacen vibrar las cosas, principio básico por el cual nuestros microondas calientan la comida, al hacer vibrar sus moléculas de agua. El espectro, también, contiene regiones de la luz visible, las cuales constituyen a los colores del arcoíris (Rojo, amarillo, azul, etc.); hasta llegar a las ondas gamma, las cuales son las más rápidas y poderosas de todas, y desde hace algunas décadas son ampliamente utilizadas en ramas de la medicina, por ejemplo, para la destrucción de células (tumores). Esta energía generada por el Sol atraviesa la atmósfera y al llegar a la superficie terrestre, entra en contacto con los diferentes objetos del planeta, vegetación, agua, áreas urbanas, autos, etc. De la energía que logra penetrar, una parte se absorbe y otra es reflejada y devuelta al espacio; dependiendo de la estructura, composición física y química, el color y la textura de los objetos, será la cantidad de energía que se absorba o se refleje (Figura 3).

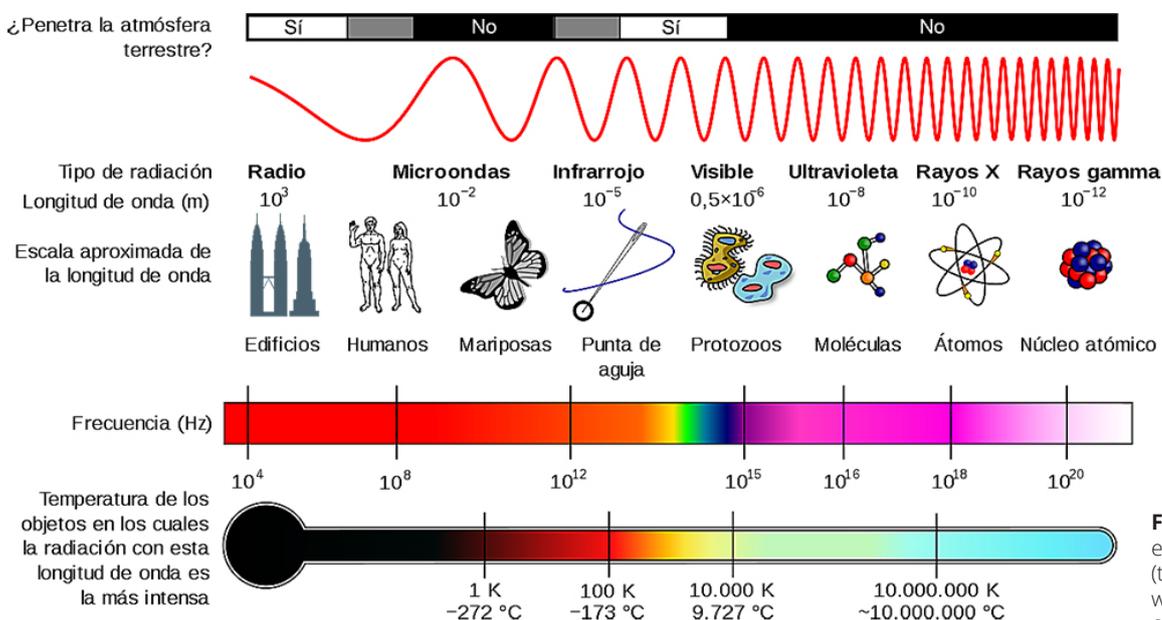


Figura 3. Espectro electromagnético (tomado de <https://www.entornoestudiantil.com/el-espectro-electromagnetico/>)

Tabla 1. Detalle de los sensores más usados en la estimación de biomasa

Sensor	Resolución temporal (cada cuando toma fotos)	Resolución espectral (cuantas bandas tiene)	Resolución espacial (m) (tamaño del píxel)	Banda térmica	Rango de longitud de onda que capta (µm)
Sentinel					
2-A y 2B	5 días	12	10 m (bandas 2- 4 y 8), 20 m (bandas 5-7; 11 y 12), 60 m (bandas 1, 9 y 10)	NA	0.443 - 2.190
Landsat					
4 y 5 Thematic Mapper (TM)	16 días	7	30 m (bandas 1-5, 7), 120 m (bandas 6)	7	0.45 - 12.50
7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	16 días	8	30 m (bandas 1-5, 7), 60 m (bandas 6), 15 m (banda 8)	6	0.45 - 12.50
8 Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), y 9 OLI-2, TIRS-2	16 días	11	30 m (bandas 1-7, 9), 15 m (banda 8), 100 m (bandas 10 y 11)	10 y 11	0.43 - 12.51

Debido a este principio, y a la utilidad que tiene el observar a los diferentes objetos desde el espacio, desde hace algunas décadas, se han enviado satélites a la órbita terrestre equipados con sensores capaces de registrar las ondas electromagnéticas que reflejan los distintos objetos de la superficie del planeta, para estudiar y monitorear los diversos fenómenos y procesos que ocurren en los diferentes ecosistemas. Entre los satélites más usados se encuentran la misión Landsat (Figura 4), del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), y los sensores Sentinel de la Agencia Espacial Europea (ESA) ambos de libre acceso (Tabla 1).

LA BIOMASA DESDE EL ESPACIO

Uno de los atributos ecosistémicos más importante es la biomasa aérea (hojas, flores, frutos), ya que es a partir de esta variable que podemos estimar la cantidad y volumen de carbono capturado. En este sentido, se estima que aproximadamente hasta el 50% de los almacenes de carbono corresponde a la biomasa aérea; por lo que, resulta clave contar con inventarios y monitoreos de biomasa del ecosistemas considerado uno de los principales sumideros de carbono, los manglares. Sin embargo, el mapeo y estimación de la biomasa aérea de los manglares presenta ciertos retos. Por un lado, muchos árboles de manglar son más pequeños que la resolución de las imágenes satelitales disponibles, lo que dificulta su detección individual. Por otro lado, las especies suelen agruparse en comunidades mixtas, y las similitudes en sus patrones de reflectancia espectral complican la distinción entre ellas (Pham et al., 2019). Por último, la falta de ecuaciones específicas hace que las estimaciones no sean lo suficientemente precisas para que los errores sean bajos. Es importante mencionar que, la manera más precisa de hacer

estimaciones de biomasa es mediante mediciones directas a través del derribo y pesaje de la vegetación; sin embargo, esto implica una inversión considerable en recursos económicos, logísticos y humanos; además de requerir personal y equipo especializado. Por lo anterior, tomando en cuenta estas limitaciones, se ha optado por realizar estimaciones de biomasa a partir del uso de técnicas de percepción remota (Pechanec et al., 2017; Zhu et al., 2019; SIMAR, 2024). Esta estrategia es de bajo costo, y permite analizar grandes áreas, así como realizar comparaciones temporales. Entre los métodos más comunes se incluyen imágenes ópticas (fotografía aérea, imágenes multispectrales e hiperespectrales), datos de radar de apertura sintética (SAR) y LIDAR (Light Detection and Ranging), mediante los que es posible estimar su biomasa y analizar cambios en su extensión y relacionarla con los almacenes de carbono (Pham et al., 2019).



Figura 4. El satélite Landsat observando a los ecosistemas terrestres. Tomada <https://techcrunch.com/2022/07/28/after-50-years-pioneering-satellite-imagery-nasas-landsat-is-ready-for-50-more/>

¿Cómo ocurre esto? Como se mencionó anteriormente, la cantidad de energía que absorben o reflejan los objetos de la superficie terrestre, se conoce como su *firma espectral* (Figura 5), algo así como la “huella dactilar” que caracteriza a cada objeto de la superficie terrestre, y que hace posible su estudio mediante técnicas de percepción remota (PR) (Rosete y Bocco 2003; Edusat, 2024). Los manglares, como ocurre en otras plantas, poseen estructuras celulares llamadas cloroplastos, responsables de captar la luz para la producción de azúcares, tienen la capacidad de absorber luz en las regiones del azul y del rojo del espectro electromagnético, reflejando en cierta medida aquellas regiones del verde, lo que le confiere este color a la vegetación. Por lo tanto, en las imágenes satelitales, las áreas ricas en clorofila se verán más verdes, y puede usarse como un indicador de la vitalidad de los manglares, su calidad como hábitat (Aguilar, 2015; Donato et al., 2011).

Una forma relativamente sencilla de estudiar los ecosistemas de manglar es a partir del uso de índices de vegetación, los cuales son medidas derivadas de imágenes satelitales o aéreas que se utilizan para cuantificar las condiciones, densidad, y salud de la vegetación en una región. Estos índices combinan diferentes regiones del espectro electromagnético, como el rojo y el infrarrojo cercano, para resaltar características específicas de las plantas. Por ejemplo, el índice de vegetación más común es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que evalúa la cantidad de vegetación verde en la superficie de la Tierra. Los insumos para la determinación de los índices de vegetación dependerá de la resolución espacial de interés, por ejemplo, si el interés es en una resolución media, sugiere el uso del sensor Landsat (900m²) como insumo; mientras que, si se requiere una resolución espacial más fina, se recomienda el uso del sensor Sentinel 2 (100m²).

También es posible utilizar sensores denominados activos, los cuales tienen su propia fuente de emisión de energía, por ejemplo, el sensor LiDAR (Light Detection and Ranging). Este tipo de sensor utiliza pulsos láser para generar modelos tridimensionales de la vegetación, y proporciona información detallada de la altura, la densidad y la estructura del dosel. Asimismo, el sensor Radar de Apertura Sintética (SAR), puede penetrar el dosel de los bosques y proporcionar información sobre su estructura y biomasa, incluso en condiciones de nubes o lluvia. En ambos casos, estas tecnologías de LiDAR y SAR, dada la relación de la altura, el diámetro y la densidad de la vegetación del manglar, con la biomasa permiten estimaciones más precisas de la biomasa de los ecosistemas de manglar.

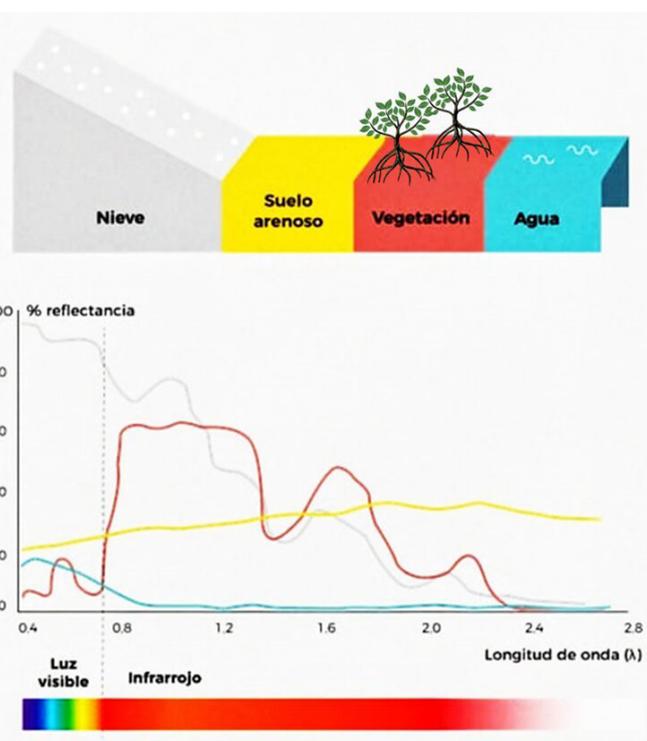


Figura 5.- Firma espectral de la nieve, suelo arenoso, vegetación y agua (Edusat, 2024)

Independientemente de la herramienta que se elija, es importante tener estimaciones en campo. Conocer la altura, composición de especies, edad, diámetro de los árboles y la densidad, es clave para calibrar los modelos que relacionan las características físicas del manglar, obtenidas por sensores remotos, con el carbono aéreo, y con ellos poder realizar estimaciones precisas y extrapolarlas a grandes áreas de manglar.

CONCLUSIONES

Los manglares son ecosistemas clave que no solo brindan importantes servicios ambientales, como la protección de costas y la conservación de la biodiversidad, sino que también desempeñan un papel esencial en la mitigación del cambio climático. Al actuar como sumideros de carbono, los manglares capturan y almacenan grandes cantidades de carbono tanto en su biomasa como en los sedimentos. Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan graves amenazas debido a la deforestación, la expansión urbana y los cambios en el uso del suelo, lo que libera el carbono almacenado y contribuye al calentamiento global.

Para garantizar su conservación, es crucial monitorear de manera efectiva los cambios en la extensión y la biomasa de los manglares. En este contexto, la

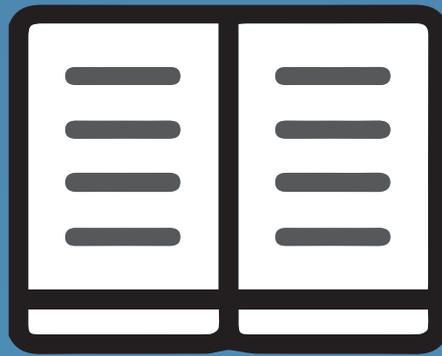
percepción remota ha emergido como una herramienta indispensable. Tecnologías como los satélites Landsat y Sentinel permiten obtener datos multiespectrales que proporcionan información detallada sobre la vegetación y la salud de los manglares. Además, herramientas avanzadas como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y LIDAR permiten evaluar la estructura del dosel y estimar de manera precisa el carbono almacenado en la biomasa aérea.

A pesar de la gran utilidad de la percepción remota, las mediciones en campo continúan siendo fundamentales para mejorar la precisión de las estimaciones. La altura de los árboles, el diámetro del tronco, la edad y la densidad de las especies son parámetros esenciales para calibrar los modelos derivados de los sensores remotos. Por lo que es necesario combinar tecnología y campo para fortalecer las estrategias de conservación y gestión de los manglares, ecosistemas que juegan un papel fundamental en la regulación del clima global.

La implementación de políticas que promuevan la protección y restauración de estos importantes ecosistemas es imperativa para asegurar su contribución a la mitigación del cambio climático y la preservación de la biodiversidad. La ciencia, la tecnología y la acción política deben alinearse para garantizar la protección a largo plazo de los manglares y los beneficios que aportan a la salud del planeta.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es el resultado de una investigación documental realizada en el curso Fundamentos de percepción remota y ecología del paisaje. Los autores agradecemos a la SECITHI (Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación) por la beca # 1221556 y el financiamiento de los proyectos #526 – Gestión de datos obtenidos por la Estación Receptora de Información Satelital ERIS-Chetumal; y #2179 – Adaptación al cambio climático en la producción agropecuaria en la frontera sur de México.

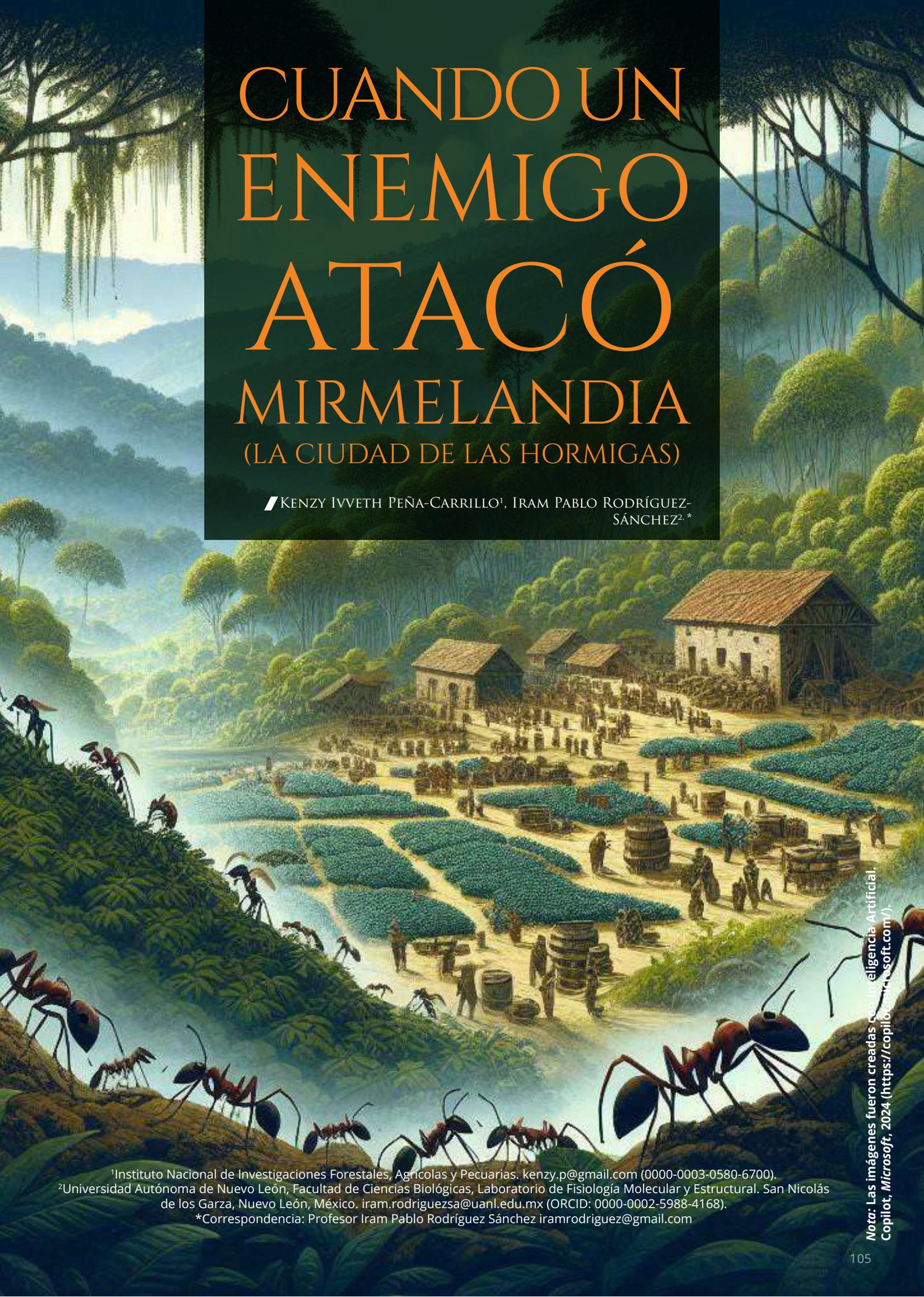


LITERATURA CITADA

- Agráz-Hernández, C.M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo, J.J. Jiménez-Zacarías. 2006. Guía de campo. Identificación de los manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México, 45 pp.
- Aguilar, R.N. 2015. Percepción remota como herramienta de competitividad de la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 6(2): 399-405.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2017. Importancia del carbono azul. En: <https://www.gob.mx/conanp/documentos/la-importancia-del-carbono-azul> (Consultado el 10 de enero de 2024).
- Davidson, N.C. y C.M. Finlayson. 2019. Updating global coastal wetland areas presented in Davidson and Finlayson (2018). *Marine and Freshwater Research*. 70(8): 1195-1200.
- Donato, D., J.B. Kauffman, D. Murdiyarsa, S. Kurnianto, M. Stidham, M. Kannien. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. 4: 293-297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Edusat. 2024. Qué es la teledetección. En: <https://www.edu-sat.com/teledeteccion/?lang=es> (Consultado el 10 de enero de 2024).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2016. Climate Change and Food Security: Risks and Responses. FAO. 122 pp. <http://www.fao.org/3/a-i5188e.pdf>
- Hamilton, S.E. y D.A. Friess. 2018. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*. 8(3): 240-244.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Nueva York, 2006.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) Climate Change and Global Warming Portal. 2024. Global Climate Change: Effects of Global Warming. NASA's. En: <https://climate.nasa.gov/effects> (consultado el 08/11/2024).
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Global Monitoring Laboratory. 2024. Trends in atmospheric carbon dioxide. En: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> (consultado el 08/11/2024).
- Palmer, M. W., Earls, P. G., Hoagland, B. W., White, P. S., & Wohlgemuth, T. (2002). Quantitative tools for perfecting species lists. *Environmetrics*, 13(2), 121-137.
- Pechanec, V., F. Stržínek, J. Purkyt, L. Štěrbová, P. Cudlín. 2017. Carbon stock in forest aboveground biomass - comparison based on Landsat data. *Central European Forestry Journal*. 63: 126-132. <http://doi.org/10.1515/forj-2017-0014>
- Pham, T.D., N. Yokoya, D.T. Bui, K. Yoshino, D.A. Friess. 2019. Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*. 11(3): 230 <https://doi.org/10.3390/rs11030230>
- Rodríguez-Zúñiga, M.T., C. Troche-Souza, A.D. Vázquez-Lule, J.D. Márquez-Mendoza, B. Vázquez-Balderas, L. Valderrama-Landeros, S. Velázquez-Salazar, M.I. Cruz-López, R. Ressler, A. Uribe-Martínez, S. Cerdeira-Estrada, J. Acosta-Velázquez, J. Díaz-Gallegos, R. Jiménez-Rosenberg, L. Fueyo-Mac Donald, C. Galindo-Leal. 2013. Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F. 128 pp.
- Rosete, F. y G. Bocco. 2003. Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. *Gaceta ecológica*. 68: 43-54.
- Russi, D., P. ten Brink, A. Farmer, T. Badura, D. Coates, J. Förster, R. Kumar, N. Davidson. 2013. The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands. IEEP, London and Brussels, 78, 118p.
- SIMAR (Sistema de Información y Análisis Marino Costero). 2024. Carbono azul. En: https://simar.conabio.gob.mx/carbono_azul/ (Consultado el 12 de enero de 2024).
- Spalding, M., M. Kainuma, L. Collins. 2010. World Atlas of Mangroves (version 3.1). A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB, UNU-INWEH, and TNC. Earthscan, London. 319 pp. <https://doi.org/10.34892/w2ew-m835>.
- Velázquez-Salazar, S., M.T. Rodríguez-Zúñiga, J.A. Alcántara-Maya, E. Villeda-Chávez, L. Valderrama-Landeros, C. Troche-Souza, B. Vázquez-Balderas, I. Pérez-Espinosa, M.I. Cruz-López, R. Ressler, D.V.G. De la Borbollagr, O. Paz, V. Aguilar-Sierra, F. Hruby, J.H. Muñoa-Coutiño. 2021. Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México CDMX. 168 pp.
- Zhu, Z., M.A. Wulder, D.P. Roy, C.E. Woodcock, M.C. Hansen, V.C. Radelo, T.A. Scambos. 2019. Benefits of the free and open Landsat data policy. *Remote Sensing of Environment*. 224: 382-385. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.016>

CUANDO UN ENEMIGO ATACÓ MIRMELANDIA (LA CIUDAD DE LAS HORMIGAS)

KENZY IVVETH PEÑA-CARRILLO¹, IRAM PABLO RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ²*



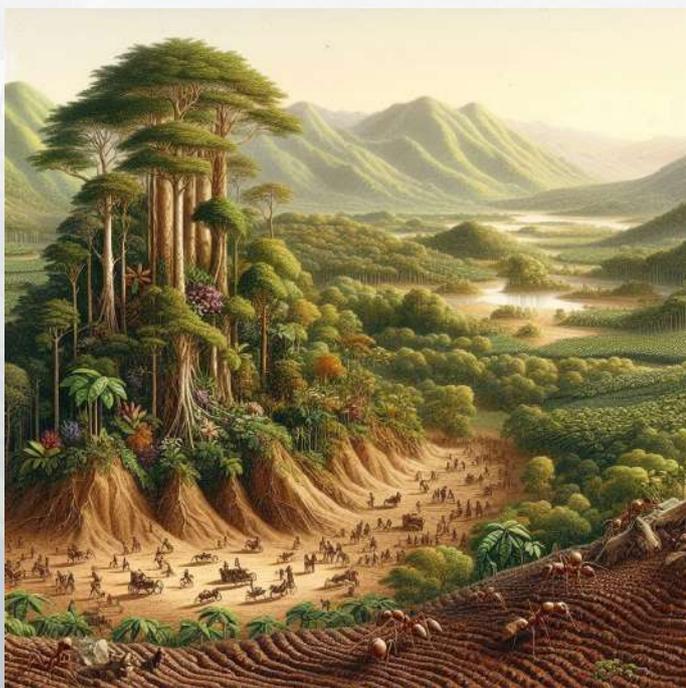
Nota: Las imágenes fueron creadas con Inteligencia Artificial. Copilot, Microsoft, 2024 (<https://copilot.microsoft.com/>).

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. kenzy.p@gmail.com (0000-0003-0580-6700).

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. iram.rodriguezsa@uanl.edu.mx (ORCID: 0000-0002-5988-4168).

*Correspondencia: Profesor Iram Pablo Rodríguez Sánchez iramrodriguez@gmail.com

En el pintoresco Soconusco, una región al sur de Chiapas (estado ubicado en el sureste de México) conocida por sus exuberantes selvas y fértiles tierras, se encontraba la ciudad de Mirmelandia, rodeada por los cafetales de la zona agrícola. Mirmelandia estaba habitada por diversas comunidades de hormigas. Estas pequeñas e intrépidas criaturas eran las guardianas silenciosas de su entorno, donde desempeñaban un papel crucial en el mantenimiento del delicado equilibrio del ecosistema. Un día, un centenar de obreras de *Ectatomma ruidum* comenzaron a morir de forma extraña e inesperada. Era la noticia del momento, todos en Mirmelandia estaban preocupados y susurraban nido tras nido que casualmente las víctimas eran hormigas que practicaban la cleptobiosis (es decir, robaban comida de los nidos de otras especies de hormiga), por lo que algo muy malo podría llegar a ocurrir. El mayor miedo era una devastadora epidemia que podría azotar Mirmelandia y acabar con sus pobladores.



¿PERO POR QUÉ MURIERON LAS HORMIGAS *E. RUIDUM*, SERÁ QUÉ ESTABAN ENFERMAS?

Era necesario saber a qué se podrían enfrentar los habitantes de Mirmelandia. El pánico y la intriga comenzaban a hacer eco en la ciudad.

En días posteriores, nidos completos de *Ectatomma tuberculatum*, una especie hermana de *E. ruidum* que se dedicaba a defender de depredadores las flores de las Orquídeas, comenzaron a perecer; solo los más jóvenes sobrevivían y ellos no podían aún comunicarse para atestiguar lo que habían visto. Pero ¿cómo estas

valientes defensoras de orquídeas estaban siendo eliminadas?

¿QUÉ ESTABA PASANDO? SE CUESTIONABAN CADA VEZ MÁS Y MÁS LAS HORMIGAS

Afortunadamente, las colonias de *E. tuberculatum* contaban con las microreinas (normalmente la hormiga reina es la más grande del nido, en el caso de las microreinas, éstas son reinas pequeñas, del tamaño de cualquier hormiga obrera), quienes salvarían las colonias de la extinción al fundar nidos nuevos, por lo tanto, no todo estaba perdido para la especie. Luego, la misteriosa peste llegó a uno de los nidos más grandes de otro tipo de hormiga llamado *Solenopsis geminata*. Algunas hormigas comenzaron a morir de la noche a la mañana. Una gran colonia estaba en peligro, pues la peste parecía que podía propagarse a través de los grandes túneles que comunicaban sus gigantescos nidos. Era imprescindible saber qué estaba ocasionando las muertes. ¡La vida de inocentes y trabajadoras obreras de *S. geminata* y del resto de los habitantes de Mirmelandia estaba en juego!

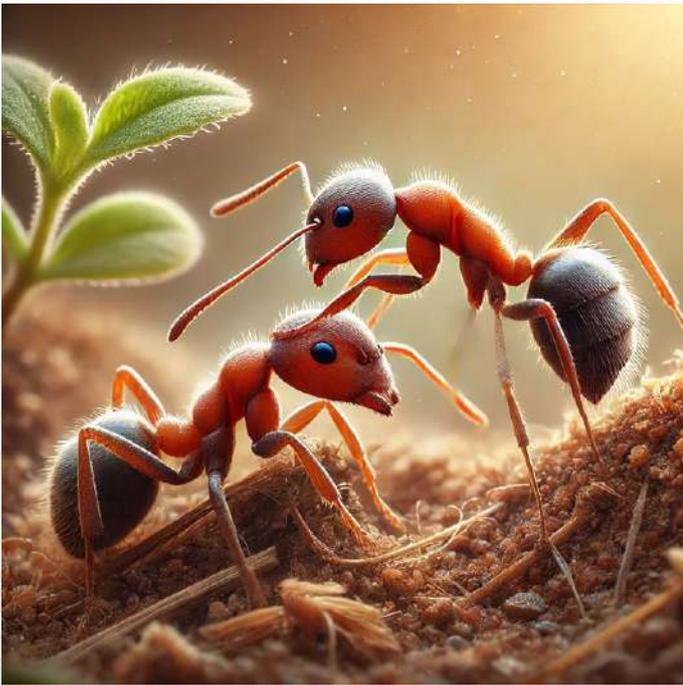
Entonces, un ejército de las imponentes hormigas marabunta, *Eciton burchellii*, salió a lo desconocido en búsqueda de respuestas, su destino: la región cafetalera que marcaba las fronteras de la ciudad. En su camino, las hormigas *E. burchellii* se encontraron con algunos nidos de la hormiga carpintera *Camponotus novogranadensis*. Les preguntaron si ellas, que todo lo veían desde sus nidos, sabían algo. Era común que *C. novogranadensis*, visitara los mismos cafetales que *E. ruidum*, por lo que quizá ellas tenían información clave para resolver el misterio de las muertes. Y en efecto, las hormigas carpinteras tenían algo de información. En días previos a las primeras muertes de *E. ruidum*, las hormigas carpinteras vieron cómo algunos humanos llamados cafetaleros, cargados con mochilas cuadradas que contenían un líquido, comenzaron a rociarlo sobre los arbustos de café muy temprano por la mañana, actividad inusual en esas épocas del año, pues las lluvias venían de terminar y la humedad era muy alta.

Soldados de *E. burchellii* siguieron su camino y a su paso encontraron algunos cadáveres viejos de *E. ruidum*. Extrañamente, los cuerpos se encontraban cubiertos por una extraña capa blanca que parecía haber corroído por completo sus cuerpos, era impresionante.

Las hormigas soldado fueron cautelosas y evitaron tocar los cuerpos para no contagiarse de la peste. A orillas de un cafetal, un nuevo nido de hormiga carpintera apareció. El nido parecía devastado, solo quedaban algunas hormigas con vida y fueron ellas quienes advirtieron a las hormigas soldado que los temibles humanos llamados agricultores estaban muy contentos porque en días anteriores habían estado

probando un nuevo producto para control de plagas. Se trataba de un hongo que habían traído de un lugar muy lejano y que les estaba dando muy buenos resultados. Desafortunadamente, para las hormigas del Soconusco era diferente, ese nuevo hongo solo significaba la posible extinción de sus colonias.

Las sobrevivientes de hormiga carpintera comentaron que casualmente en esos días algunas exploradoras de *E. ruidum* habían estado visitando el cafetal en busca de alimento y a su regreso parecían fatigadas y eran más lentas de lo normal. En ese momento, todo fue claro para las hormigas soldado. Las hormigas *E. ruidum* se habían contagiado con el hongo y lo habían llevado a Mirmelandia, y fueron las hormigas cleptobiontes quienes se encargaron de dispersar el hongo en los nidos de *E. tuberculatum* y de *S. geminata*.



A su regreso a Mirmelandia, las hormigas soldado convocaron a una reunión donde representantes de todas las especies estaban presentes. Era necesario que todas unieran fuerzas para combatir a ese peligroso hongo que podría poner fin a Mirmelandia. Entonces, las hormigas unieron esfuerzos y practicaron lo que se llama inmunidad social o colectiva. Algunas hormigas se encargaron de producir secreciones antimicrobianas con las que cubrían a las hormigas más jóvenes. Las hormigas más viejas arriesgaron sus vidas al remover del nido los cadáveres nuevos infestados con el hongo. Otras hormigas produjeron secreciones antimicrobianas que impregnaron en las entradas y túneles de los nidos afectados.

Las hormigas de Mirmelandia, unidas por la urgencia de la amenaza, comenzaron a implementar sus estrategias

de inmunidad social. Sin embargo, el hongo resultó ser más tenaz y mortal de lo que habían anticipado. Las secreciones antimicrobianas parecían ineficaces, y el número de muertes aumentaba sin cesar. El pánico y la desesperación se apoderaron de la ciudad.

En medio de la crisis, las ancianas sabias de la colonia *E. tuberculatum* revelaron un antiguo secreto: una misteriosa orquídea que crecía en lo más profundo de la selva poseía propiedades curativas extraordinarias. La planta, conocida como la "Orquídea de Vida", solo florecía una vez cada siglo y se decía que su néctar podía neutralizar cualquier toxina.

Un valiente grupo de exploradoras fue enviado a encontrar la Orquídea de Vida. Atravesaron territorios peligrosos, enfrentaron depredadores y desafiaron las inclemencias del clima. Después de días de búsqueda incansable, finalmente encontraron la preciosa planta. Pero el tiempo era crucial; el hongo ya estaba devastando las últimas defensas de Mirmelandia.

Las exploradoras regresaron justo a tiempo, llevando consigo el néctar sagrado. Con esperanza renovada, las hormigas comenzaron a aplicar el elixir a los nidos infectados. Lentamente, pero con certeza, las colonias empezaron a mostrar signos de recuperación. Las orquídeas volvieron a florecer y las selvas recuperaron su vida vibrante.

Mirmelandia había sido salvada, pero no sin un alto costo. Las hormigas aprendieron la importancia de la unidad y la solidaridad en tiempos de crisis. La Orquídea de Vida se convirtió en un símbolo sagrado de esperanza y resiliencia, recordándoles que, aunque la naturaleza puede ser implacable, la cooperación y el sacrificio podían vencer incluso a los enemigos más letales.

Fue así como, trabajando en equipo, las hormigas practicaron la inmunidad social y lograron acabar con el hongo. Ahora todo regresaba a la normalidad en Mirmelandia, donde las hormigas juegan un papel esencial, no solo en la protección y mantenimiento de su entorno, sino también en la preservación de la biodiversidad, para la cual los cafetales han sido considerados refugios de la diversidad biológica.

Si bien esto es un cuento, la realidad es que las poblaciones de hormigas y sus ecosistemas enfrentan muchas amenazas. El uso de plaguicidas y otros productos químicos puede matarlas. La deforestación y la pérdida de hábitat reducen los lugares donde pueden vivir y encontrar alimentos. El cambio climático altera sus condiciones de vida. Las especies invasoras pueden desplazarlas y la contaminación afecta su

salud. Es importante que todos trabajemos juntos para proteger el medio ambiente y asegurar que las hormigas y otros animales puedan vivir y prosperar. Es importante que todos trabajemos juntos para lograr una convivencia pacífica con el medio ambiente, protegiendo y preservando la biodiversidad para las futuras generaciones.

GLOSARIO Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS BIOGRÁFICAS DE LAS ESPECIES DE HORMIGAS MENCIONADAS



Entre los habitantes de Mirmelandia se encontraba la especie *Solenopsis geminata*, quien pertenece al grupo de las hormigas de fuego. Con su vigor y tenacidad estas hormigas eran temidas por la dolorosa picadura de su aguijón. Estas pequeñas guerreras eran conocidas por su capacidad para formar enormes colonias que podían rápidamente invadir y dominar áreas completas, convirtiéndolas en una fuerza imparable en su territorio. Sus nidos eran complejas estructuras subterráneas que albergaban miles de individuos, todos trabajando para la supervivencia de su comunidad. Estas hormigas son depredadoras de invertebrados y también les gusta comer semillas. Su presencia en Mirmelandia atestigua su capacidad de adaptación, ya que se encuentran en hábitats perturbados como las áreas agrícolas.

En los rincones más oscuros, *Ectatomma ruidum*, hermana de *E. tuberculatum*, encontraba su hogar. En los nidos de *E. ruidum*, muchas reinas pueden coexistir,

pero solo una puede producir descendencia. Estas hormigas son de cuidado, pues son cleptobióticas, es decir, tienen el hábito de robar comida de otros nidos.



Cohabitantes eran las hormigas de la especie *Ectatomma tuberculatum*, conocida por proteger las flores de las orquídeas. Estas hormigas, con sus imponentes mandíbulas, eran valientes defensoras de las estructuras reproductivas de estas plantas, protegiéndolas de los herbívoros depredadores y asegurando su supervivencia. Sus esfuerzos de protección no solo beneficiaban a las orquídeas, sino también al ecosistema en su conjunto, ya que las orquídeas desempeñaban un papel vital en la biodiversidad local, proporcionando hábitat y alimento a otras especies. En los nidos de *E. tuberculatum*, era común encontrar microreinas, pequeñas reinas que convivían en armonía dentro de la colonia. Las microreinas contribuían a la estabilidad y resiliencia de la colonia, permitiendo una mayor flexibilidad en la reproducción e incrementando las oportunidades de colonizar de nuevos ambientes.





CUANDO UN ENEMIGO ATACÓ MIRMELANDIA (LA CIUDAD DE LAS HORMIGAS)

Mirmelandia también está poblada por la hormiga carpintera *Camponotus novogranadensis*, una especie indicadora de hábitats perturbados que construye sus nidos en madera muerta o en tallos huecos, principalmente en áreas afectadas por la actividad humana como las zonas agrícolas. A menudo se confundía con su especie hermana, *Camponotus planatus*, pero se diferencia porque *C. novogranadensis* tiene un tamaño ligeramente mayor y una coloración más oscura.

Mirmelandia era custodiada por las colonias de *Eciton burchellii*, estas hormigas, conocidas como legionarias, estaban entrenadas para formar nidos vivientes temporales (vivacs), compuestos por cuerpos de hormigas obreras vivas. Estos nidos podían desmontarse y reubicarse durante las migraciones de las colonias, así podían avanzar con más rapidez al conquistar nuevos terrenos para Mirmelandia. Los enjambres de *E. burchellii* eran principalmente diurnos, y sus redadas podían extenderse hasta 20 metros de ancho y 200 metros de largo. Esta especie se ha

propuesto como especie sombrilla para la conservación en bosques neotropicales (es decir, si la especie se encuentra bien, significa que su entorno también goza de buena salud).



SOBRE LOS AUTORES



ANA LAURA LARA RIVER Actualmente profesora asociada de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Bióloga por el Instituto Tecnológico de Altamira. Maestría en biotecnología genómica y Doctorado en ciencias en Biotecnología por el Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Formación de recursos humanos y publicaciones científicas en genética poblacional de poblaciones domésticas y silvestres, marcadores moleculares y mejoramiento genético. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2016. Actualmente SNI I.

alarar@uanl.edu.mx

ANGEL RODRÍGUEZ-MORENO Doctor en ciencias, miembro del SNII, Doctorado en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste CIBNOR. Su línea investigación es el estudio fauna silvestre con énfasis en roedores y quirópteros y su relación con el riesgo de zoonosis emergentes, así como en estudios de biología, ecología y conservación de los mamíferos silvestres. Ha publicado 1 libro, 18 artículos en revistas indizadas, 2 capítulos en libros, y diversos artículos de divulgación Científica. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores SNII nivel 1, es miembro de la Asociación Mexicana de Mastozoología AMMAC.

tanicanil@hotmail.com

ANTONIO GUZMÁN VELASCO Biólogo, Maestro en Ciencias en Manejo de Vida Silvestre y Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Es Investigador Nivel I en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), cuenta con Perfil PRODEP y es miembro del Cuerpo Académico Consolidado en Ecología y Biodiversidad. Es profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, impartiendo materias sobre biodiversidad, ecología y gestión ambiental. Ha publicado 18 artículos científicos y dirigido múltiples tesis de licenciatura y posgrado. Cuenta con amplia experiencia en conservación ambiental, participando en proyectos de monitoreo de fauna y restauración de ecosistemas. Ha sido asesor en competencias científicas internacionales, destacando el IGEM Boston 2014, donde su equipo obtuvo medalla de plata. Ha ocupado cargos como: Director de la

Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL (2012-2018) y Coordinador General de Parques y Vida Silvestre de Nuevo León (2020). Actualmente, es jefe del Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible de la UANL y colabora en el Programa de Desarrollo Urbano de Monterrey 2040.

anguve@gmail.com

ANTONIO RIVERO-JUÁREZ Licenciatura en Ciencias Veterinarias (2009), Máster Universitario en Medicina, Sanidad y Mejora Animal (2010) y Doctor en Biomedicina (2013), todos por la Universidad de Córdoba, España. Durante los últimos años ha realizado investigación en "Virus zoonóticos emergentes" dentro del grupo de Enfermedades Infecciosas del Instituto Maimónides de Investigación Biomédica de Córdoba (IMIBIC), España. Dentro de esta línea destacan los proyectos de investigación realizados sobre virus de la hepatitis E, desde una perspectiva One Health. Actualmente es colaborador de varios grupos de investigación en Europa y México, y responsable de numerosos proyectos de investigación.

ARTURO CASTRO CASTRO

Biólogo egresado de la Universidad de Guadalajara; su línea de investigación comprende la sistemática vegetal y la etnobiología. Se dedica al conocimiento de la flora de México y participa en estudios taxonómicos, filogenéticos, ecológicos, etnobotánicos y biogeográficos. Es responsable técnico del Jardín Etnobiológico Estatal de Durango.

art.castroc@hotmail.com

BRIGADA DE MONITOREO BIOLÓGICO MILPA ALTA Organización comunitaria enfocada en diseñar estrategias innovadoras para la conservación y restauración del hábitat de dos especies prioritarias dependientes de los pastizales naturales (*Romerolagus diazi* y *Xenospiza baileyi*), bajo el lema "conocer para conservar".

mon.biologico@hotmail.com

CARLOS ENRIQUE AGUIRRE-CALDERÓN Médico Veterinario Zootecnista (Universidad Juárez, Durango), Maestro en Ciencias (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro) y Doctor en Manejo de Recursos Naturales (Universidad Autónoma de Chihuahua). Académico e investigador interesado en la evaluación de recursos naturales, manejo de ecosistemas y monitoreo de poblaciones de fauna silvestre.

carlos.ac@salto.tecnm.mx

CLAUDIA FERNANDA CARRILLO-CHAN Licenciado en Biología con especialidad en Parasitología (2019-2023) por el Instituto Tecnológico de México, Campus Conkal, Yucatán. Estudiante de la Maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), México. Ha realizado estancias de investigación en el Laboratorio de Zoonosis y otras Enfermedades Transmitidas por Vector del Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi" (CIR), UADY. Su trabajo de tesis de Maestría es sobre la detección de virus emergentes en roedores sinantrópicos y murciélagos del sureste de México.

DIANA RESÉNDEZ-PÉREZ Químico Bacteriólogo Parasitólogo, Maestra en Ciencias con Acentuación en Biología Celular y Doctora en Ciencias con Acentuación en Biología Molecular e Ingeniería Genética. Grados otorgados por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Posdoctorado en el laboratorio del Prof. Dr. Walter Gehring. Departamento de Biología Celular, Biozentrum, Universidad de Basilea, Suiza. Subdirectora Académica, profesora e investigadora de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Imparte los cursos de Biología del Desarrollo. Forma parte del Posgrado con Orientación en Inmunobiología en la Facultad de Ciencias Biológicas. Su línea de investigación es control genético del desarrollo en *Drosophila melanogaster*, expresión diferencial de genes Hox en cáncer, regulación genética en *D. melanogaster* y cáncer. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II.

diana.resendezpr@uanl.edu.mx

EMANUEL RUIZ VILLAREAL Biólogo por la Universidad de Colima, especializado en gestión y sustentabilidad. Su principal rama del conocimiento es la etnobiología. Actualmente es curador de las colecciones del Jardín Etnobiológico La Campana, coordina los trabajos de jardinería y desarrolla actividades de Acceso Universal al Conocimiento, como recorridos guiados, charlas, cursos y talleres.

ruiz.ciages2014@gmail.com

GUILLERMO HORTA-PUGA Es biólogo por la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Obtuvo la maestría en ciencias biológicas en la Facultad de Ciencias, UNAM; y el doctorado en oceanografía en la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente desarrolla dos líneas de investigación: geoquímica ambiental de elementos traza, y ecología de arrecifes coralinos. Básicamente su trabajo de investigación, en estas dos líneas, se ha enfocado al estudio de los arrecifes coralinos de Veracruz. Durante 45 años ha sido profesor titular en la FESI, UNAM, impartiendo las asignaturas de zoología de invertebrados y arrecifes de coral, a nivel licenciatura y posgrado, además de ser responsable del Laboratorio de Biogeoquímica, en la UBIPRO. A lo largo de su trayectoria ha dirigido a más de 60 estudiantes desde licenciatura hasta postdoctorado. Es autor de más 50 artículos y/o capítulos de libros científicos, así como más de 150 presentaciones en congresos nacionales e internacionales, y sus trabajos tienen más de 1,100 citas. Ha sido responsable de proyectos de investigación financiados por CONACYT, CONABIO y PAPIIT UNAM. Presidente de la Sociedad Mexicana de Arrecifes Coralinos (2019-2022), y presidente del capítulo México de la International Coral Reef Society.

HENRY PUERTA-GUARDO Investigador Profesor Asistente adscrito al Laboratorio de Virología del CIR, UADY. Consultor de Investigación de la Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos. Actualmente su trabajo se enfoca en desarrollar herramientas de diagnóstico y técnicas de control de vectores de

Arbovirus en países en desarrollo, y en comprender las interacciones entre la célula hospedera y el virus que contribuyen a la patogénesis de los Arbovirus.

HERIBERTO ÁVILA GONZÁLEZ Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es coordinador de actividades curatoriales del Jardín Etnobiológico Estatal de Durango. Se interesa en temas relacionados con la florística, taxonomía y sistemática vegetal, educación ambiental y etnobiología.

glezah@hotmail.com

IRAM PABLO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

Es profesor titular "A" y jefe del Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. También dirige el Laboratorio de Diagnóstico Molecular del Hospital Alfa Medical Center y preside su Comité de Investigación, registrado por COFEPRIS. Con formación en Química y un Doctorado en Entomología Médica por la UANL, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel II). Ha publicado 190 artículos científicos en revistas JCR, con más de 2600 citas, y ha dirigido a numerosos estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado. Ha realizado estancias académicas en prestigiosas instituciones como el Broad Institute of MIT-Harvard y el Children's Hospital Oakland Research Institute, además de contribuir al desarrollo de moléculas para la industria farmacéutica actualmente en proceso de patente.

ORCID: 0000-0002-5988-4168)

JAUQUELINE GARCÍA HERNÁNDEZ Investigadora titular del CIAD desde el 2001. Realizó sus estudios profesionales en el ITESM, Guaymas, y sus estudios de posgrado en la Universidad de Arizona. Sus líneas de investigación son las ciencias ambientales con especialidades en calidad del agua, ecotoxicología, salud en aves, humedales de tratamiento y compostaje.

jaqueline@ciad.mx

JOSÉ IGNACIO GONZÁLEZ ROJAS Doctor en Ciencias con especialidad en Ecología por la UANL, cuenta con una destacada trayectoria académica y científica. Ha sido Director de la Facultad de Ciencias Biológicas (2018-2021, 2023-actualidad) y Jefe del Laboratorio de Ornitología desde 2014. Con más de 50 tesis dirigidas, 64 artículos científicos, 14 libros y 2 capítulos publicados, es referente en ecología y biodiversidad. Es Investigador Nacional Nivel I, miembro de asociaciones internacionales como la Ecological Society of America, y fundador del Colegio de Biólogos de Nuevo León. El Dr. González Rojas lidera el Cuerpo Académico Consolidado "Ecología y Biodiversidad" y promueve activamente la conservación de la fauna silvestre y la educación ambiental.

ORCID: 0000-0001-9848-5170

LESLIE SARAÍ GONZÁLEZ RODRÍGUEZ Es Licenciada en Biología (2020) y Maestra en Conservación, Fauna Silvestre y Sustentabilidad (2024) por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad

Autónoma de Nuevo León (UANL). Actualmente cursa el Doctorado en Conservación en la misma facultad. Desde el 2020 ha trabajado en el "Centro de Resguardo para Peces en Peligro de Extinción" del Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible, donde se desempeña como encargada de la unidad de conservación. Su labor se centra en el manejo y conservación de especies de peces mexicanos, principalmente endémicos, que se encuentran en alguna categoría de riesgo de extinción a nivel nacional e internacional. Ha participado como ponente en foros y coloquios sobre diversidad ictiológica y casos de extinción, además de colaborar en la formación de recursos humanos en el área de la conservación y ecología acuática. También ha contribuido en proyectos relacionados con la conservación de especies dulceacuícolas, biología general y reproductiva, sistemas acuáticos y aprovechamiento sustentable.

leslie.gonzalezrdrg@uanl.edu.mx

LUCIA MONTES ORTIZ Es bióloga ambiental formada en la Universidad Autónoma Metropolitana. Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural por el Colegio de la Frontera Sur y Doctora en Ecología y Desarrollo Sustentable por la misma institución. Su principal línea de investigación es la taxonomía y ecología de zooplancton de agua dulce -con énfasis en los ácaros acuáticos- y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. De forma paralela, posee un profundo interés en los temas de equidad de género en la ciencia y legado biocultural. Cuenta con 12 publicaciones arbitradas y 2 capítulos de libro, en las cuales destacan la descripción de 6 nuevas especies de ácaros acuáticos. Ha fungido como revisora en revistas indexadas y ha participado en congresos nacionales e internacionales. Ha sido colaboradora en proyectos de investigación que contemplan el biomonitoreo de los cuerpos de agua del sur de México. Es miembro de la Sociedad Latinoamericana de Acarología y de la red mexicana de "Códigos de barras de la vida" y de los programas "Mujeres líderes en STEAM" y "Mentorías STEAM" cuya finalidad es empoderar y acompañar a mujeres jóvenes en situación de vulnerabilidad a emprender una carrera científica. Actualmente se encuentra adscrita al Instituto Tecnológico de Chetumal a través del programa Estancias Posdoctorales por México, con el proyecto: "Ácaros acuáticos (Acari: Hydrachnidia) como (paleo) bioindicadores de cambio ambiental y antropogénico en sistemas cársticos de la Península de Yucatán".

lucia.mon@chetumal.tecnm.mx

MARCO ANTONIO TORRES-CASTRO Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia (2005-2010), Maestría en Ciencias Agropecuarias (2011-2013) y Doctorado en Ciencias de la Salud (2017-2019), todos por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), México. Profesor Investigador Asociado (marzo de 2015) adscrito al Laboratorio de Zoonosis y otras Enfermedades Transmitidas por Vector del Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", UADY. Miembro del Sistema Nacional de

Investigadoras e Investigadores, Nivel I, de México. Profesor titular de las asignaturas "Una Salud" y "Salud Pública Veterinaria" dictadas en la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, UADY. Su línea de investigación se relaciona principalmente con las enfermedades zoonóticas endémicas del sureste de México bajo el abordaje Una Salud y los virus y bacterias que portan roedores y murciélagos del neotrópico de México.

MARGARITA GARCÍA-LUIS Doctora en ciencias, miembro del SIN. Doctora en ciencias en conservación y aprovechamiento de recursos naturales por el CIIDIR IPN Unidad Oaxaca. Es profesora investigadora en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UABJO y postdoctorante del Instituto de Biología de la UNAM. Su grupo de interés son los mamíferos, especialmente aspectos ecológicos de murciélagos y más recientemente enfermedades que transmiten y que los afectan. Ha sido instructora en diversos talleres y participado con ponencias en eventos locales, nacionales e internacionales. Ha participado en proyectos nacionales de investigación y en proyectos de educación ambiental con conferencias a público general para concientizar sobre la importancia de los murciélagos. Actualmente colabora con el CEFPO (Comité Estatal de Fomento y Protección Pecuaría de Oaxaca) en proyectos de investigación para estudiar las estrategias de control de vampiro común y su repercusión en el control de la rabia.

margaritagarcialuis@cecad-uabjo.mx

NAYELLI RIVERA VILLANUEVA Es una bióloga especializada en ecología, conservación de murciélagos y educación ambiental en México. Fundadora de BUM-Biodiversidad Urbana de México, lidera el proyecto más grande de cajas para murciélagos en el país y es secretaria de la Asociación Coahuilense de Espeleología A.C., donde realiza exploraciones e investigaciones científicas en cuevas. Además, es una de las primeras mexicanas certificadas como Rehabilitadora de Murciélagos por el Bat World Sanctuary. Maestra en Gestión Ambiental por el Instituto Politécnico Nacional y Licenciada en Biología por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Su labor ha sido reconocida con premios como el Rufford Small Grants for Nature Conservation, el Merlin Tuttle Award, y la Student Research Scholarship for Global Bat Conservation Priorities, destacando su aporte a la ciencia y la conservación de murciélagos.

NORMA LETICIA PIEDRA-LEANDRO Maestra en Ciencias en Gestión Ambiental por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente Coordinadora de trabajo de campo del Jardín Etnobiológico Estatal de Durango. Se especializa en temas de etnobiología, botánica forestal, educación ambiental, sistemas de información geográfica, ciencia ciudadana y educación ambiental.

normapiedra.jeed@gmail.com

OLIVIA ROJAS FLORES Ingeniera en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Nogales. Estudió fotografía en Arizona, así como Diseño Gráfico y Artes Visuales en Kent, Reino Unido. Estudió fotografía y

comportamiento de aves en Indianápolis, Indiana. Se ha dedicado a la fotografía de naturaleza en Durango, impulsando la observación de aves.

olyrojas13@gmail.com

PABLO MANRIQUE-SAIDE Licenciado en Biología por la UADY. Master in Science y Doctor of Philosophy por el London School of Hygiene and Tropical Medicine, University of London. Profesor Investigador Titular en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UADY. Su investigación se basa en la biología, ecología, epidemiología y control de insectos importantes para la salud humana y la salud animal (enfermedades transmitidas por vector y zoonosis) en el Sur de México y Latinoamérica. Actualmente su trabajo se enfoca en mejorar los sistemas de vigilancia y control de *Aedes aegypti* y otras especies de mosquitos de importancia en Salud Pública y Salud Animal, incluyendo 1) la evaluación de métodos/herramientas "tradicionales" vs métodos/herramientas innovadoras, y 2) el estudio de los determinantes ambientales-ecológicos-biológicos-sociales para proponer estrategias de manejo integral más efectivas. Recientemente investiga sobre la detección y manejo de la resistencia a insecticidas de *Ae. aegypti* en el campo. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, Nivel III.

PERLA ALEJANDRA MARTÍNEZ REYES Tecnológico Nacional de México, Campus Zacatepec. Actualmente se encuentran en proceso de titulación para obtener el grado de Ingeniera Bioquímica. Realizó sus prácticas profesionales en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. Ha publicado anteriormente otro artículo de divulgación científica.

RAFAEL CALDERÓN-PARRA Licenciado y Maestro en Biología por parte de la Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México. Se ha enfocado en el estudio y conservación de aves, ciencia participativa, aviturismo, ilustración y divulgación científica. Es parte del proyecto IHUITL que ofrece productos y servicios que conjuntan ciencia, arte y cultura.

tlehuitzil@yahoo.com.mx

ROSALÍA AGUILAR MEDRANO Bióloga formada en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Maestra en Ciencias en Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Querétaro y Doctora en Ciencias en el Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Desarrollo tres estancias Postdoctorales, en el Centro de Investigación Científica y de Educación de Ensenada, la Universidad de California Los Angeles y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Sus líneas de investigación son los análisis ecológicos de comunidades ícticas, principalmente bajo el enfoque funcional y los análisis de ecomorfología y evolución. Su producción científica se resume en 35 artículos científicos, cuatro capítulos de libro, un libro y dos artículos de divulgación, los que en conjunto suma entre 410 y 504 citas. Ha participado en la formación de recursos humanos mediante la

impartición de diversos cursos a nivel universitario y de posgrado, la participación en comités de tesis de maestría y doctorado, así como con la dirección de tesis. Actualmente se encuentra adscrita al Centro de Investigación Científica y de Educación de Ensenada, como Investigadora Titular A y es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) nivel dos.

rosalia@cicese.mx; liabiol@gmail.com

RUBÉN ORTEGA-ÁLVAREZ Biólogo, Maestro y Doctor en Ciencias Biológicas por la UNAM. Desarrolla investigación en ecología de poblaciones y comunidades, ecología urbana y de la restauración, etnobiología, ciencia participativa y ornitología. Colabora en proyectos de monitoreo biológico y aviturismo comunitario.

rubenortega.al@gmail.com

SERGIO I. SALAZAR-VALLEJO Investigador Titular C de ECOSUR. Biólogo (1981), Maestro en Ciencias en Ecología Marina (1985), Doctor en Biología (1998). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1985 (Investigador Nacional desde 1988, Emérito desde 2022, SNI 3901). 237 publicaciones totales: 124 artículos en revistas JCR (26 revisiones) y 3 en revistas non-JCR, 47 capítulos de libro, 8 libros y 59 publicaciones de divulgación. Veintiocho tesis dirigidas: 9 de doctorado, 11 de maestría y 8 de licenciatura. Treinta y nueve distinciones académicas incluyendo un género y 15 especies nombradas en mi honor. Arbitro de 39 revistas o series y miembro del comité editorial de cuatro de ellas. Treinta una estancias de investigación en Museos e Instituciones de Estados Unidos, Europa y Sudamérica. Areas de investigación: biodiversidad costera, taxonomía de invertebrados marinos, política ambiental y científica (evaluación académica).

ssalazar@ecosur.mx

TANIA C. CARRIZALES-GONZÁLEZ Estudiante de la Licenciatura de Biólogo en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

VIANEY GONZÁLEZ-VILLASANA Químico Bacteriólogo Parasitólogo y Doctora en Ciencias con Acentuación en Biotecnología. Grados otorgados por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Posdoctorado en el laboratorio del Dr. Gabriel López Berestein. Departamento de Terapia Experimental, Universidad de Texas MD Anderson Cancer Center, Houston Texas. Profesora e investigadora en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Imparte los cursos de Biología Molecular. Forma parte del Posgrado con Orientación en Inmunobiología en la Facultad de Ciencias Biológicas. Su línea de investigación es en terapia experimental en cáncer. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. vianey.

gonzalezv1@uanl.edu.mx

VÍCTOR SÁNCHEZ-CORDERO Doctor en ciencias, miembro del SNII. Doctorado en la University of Michigan, EUA. Investigador Titular "C" de la UNAM, PRIDE D y SNI Emérito. Su investigación se enfoca

a (1) cuantificar el impacto de la deforestación y cambio climático sobre la distribución actual y a futuro de la fauna, proponiendo redes de áreas prioritarias de conservación, e (2) identificar zonas geográficas de riesgo de zoonosis emergentes de importancia en salud pública. Ha publicado 7 libros, 176 artículos, 45 capítulos y 21 informes. Tiene 72 tesis dirigidas, ha sido responsable de 40 proyectos, editor asociado de revistas internacionales indizadas. Es miembro fundador de la Asociación Mexicana de Mastozoología. Fue Director del Instituto de Biología, UNAM (2011-2019).

victor@ib.unam.mx

VALERIA VILLARREAL-GARCÍA Químico Bacteriólogo Parasitólogo, Maestra en Ciencias con Orientación en Inmunología Médica y estudiante del programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Inmunobiología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Actualmente realiza su proyecto de investigación evaluando el efecto de miRNAs en cáncer de mama. Imparte el curso de Genética a estudiantes de licenciatura en la Facultad de Ciencias Biológicas.

valeria.villarrealgrc@uanl.edu.mx

VÍCTOR MANUEL CHÁVEZ JACOBO Instituto de Biotecnología, UNAM. Se encuentra realizando una estancia posdoctoral con financiamiento de la SECIHTI con el proyecto titulado "Búsqueda de compuestos con actividad antimicrobiana producidos por bacterias aisladas de insectos". También está interesado en la búsqueda y caracterización de microorganismos patógenos y multiresistentes a antibióticos. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores con el Nivel 1. Cuenta con diversas publicaciones internacionales y diversos trabajos de divulgación de la ciencia.

XIMENA OCAMPO ZARATE Tecnológico Nacional de México, Campus Zacatepec. Actualmente se encuentran en proceso de titulación para obtener el grado de Ingeniera Bioquímica. Realizó sus prácticas profesionales en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. Ha publicado anteriormente otro artículo de divulgación científica.

Biología y Sociedad



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FCB

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS