

Biología y Sociedad



Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Mario Alberto Garza Castillo
Secretario General

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario Académico

Dr. José Javier Villarreal Tostado
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Publicaciones

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

Cuerpo Editorial de Biología y Sociedad

Dr. Jesús Ángel de León González
Editor en Jefe

Dra. María Elena García Garza
Editor Técnico

Editores adjuntos:

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

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

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

Dr. Reyes S. Tamez Guerra
Dr. Jorge Enrique Castro Garza
Dr. Iram P. Rodríguez Sánchez
Dr. Ivan Delgado Enciso
Salud

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

Jorge Ortega Villegas
Diseñador Gráfico

Ing. Jorge Alberto Ibarra Rodríguez
Página web

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD, año 8, No. 16, segundo 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 flejan la postura del editor de la publicación. **Queda prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido de la publicación sin previa autorización.**

CONTENIDO

ÉTICA EN LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN ZOOLOGICAS	4
MICROBIOMAS: LA INFLUENCIA INVISIBLE EN LA EVOLUCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS ORGANISMOS	17
MAMÍFEROS ICÓNICOS DE LA SIERRA SAN PEDRO MÁRTIR, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO: UNA ISLA DE MONTAÑA	26
BABOSAS MARINAS, SUPERVIVIENTES NATOS	52
BOLAS GELATINOSAS EN EL AGUA: EL CASO DEL BRIOZOO DULCEACUÍCOLA PECTINATELLA MAGNIFICA EN MÉXICO	58
¿QUÉ ATRAE A LAS HEMBRAS DE LOS MOSQUITOS A OVIPONER? LOS SECRETOS DETRÁS DE SUS ELECCIONES.	68
LOS SECRETOS DEL NÉCTAR: UNA VENTANA A LOS RECURSOS FLORALES DE MELIPONA BEECHEII (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI)	86
CALIDAD SANITARIA DEL AGUA EN TIEMPOS DE SEQUÍA: UN ASPECTO QUE NOS ATAÑE A TODOS	96
¿TODAS LAS VACUNAS PARA COVID-19 SON IGUALES? CONOCE ALGUNAS DIFERENCIAS EN ESTRUCTURA Y EFECTIVIDAD	104
UTOPIA ANTIMICROBIANA	108
EL CEREBRO SOCIAL COMO BASE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: POTENCIAL USO EN NEURORREHABILITACIÓN	118
REVOLUCIONANDO LA ENTOMOLOGÍA: EL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA CRISPR EN INSECTOS	124
MIGRACIÓN TERRESTRE DE SUDAMÉRICA A NORTEAMÉRICA: ANÁLISIS DE LA POSIBLE DISPERSIÓN DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS EN MÉXICO	130
UNA VIDA DEDICADA A LA HERPETOLOGÍA: TRIBUTO AL DR. DAVID LAZCANO VILLARREAL HERPETÓLOGO COMPROMETIDO CON EL MEDIO AMBIENTE	138

En esta nueva edición de Biología y Sociedad presentamos un collage de temas por demás interesantes, los cuales reflejan la diversidad de estudios relacionados con la actividad científica, sin duda el trabajo conjunto de investigadores, técnicos y estudiantes que dedican su tiempo al mejor entendimiento de los fenómenos de la naturaleza.

Iniciamos este número con un trabajo que nos habla de la Ética en la docencia e investigación Zoológica, incluyendo una serie de reflexiones y recomendaciones sobre el Código de nomenclatura Zoológica, sobre aspectos del trabajo de muestreo, sobre las colecciones científicas, hasta el marco legal para la obtención de permisos de colecta.

El microbioma, su importancia toma cada vez más relevancia, las interacciones de microorganismos en los diferentes hospederos, pueden ser capaces de modificar la expresión génica, la disponibilidad de nutrientes, o facilitar la adaptación a condiciones extremas. El uso reciente de tecnología CRISPR-Cas para la modulación de la biota intestinal en humanos ha ido en aumento. En este artículo, los autores abordan los efectos potenciales de la actividad microbiológica sobre la adaptación de hospederos, revisando la importancia de estos microbiomas para la conservación del medio ambiente.

En la narrativa de los mamíferos terrestres, se nos presenta un panorama para aquellos que habitan la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, nos describen detalles de 14 de estas especies, destacando características morfológicas distintivas, y otras de tipo ecológico y biogeográfico.

Entraremos al mundo de unos moluscos marinos impresionantes por su habilidad para sobrevivir a lo largo del tiempo, organismos que han sido capaz de encontrar mecanismos para capturar cloroplastos y tomar energía del sol, su poder de camuflaje para escapar de los depredadores, o crear un llamativo color anunciando su toxicidad, nos referimos a las babosas marinas o heterobranquios.

En el ambiente dulceacuícola del hemisferio norte podemos encontrar una criatura colonial que presenta un poder de dispersión tal, el briozoo o animal musgo *Pectinatella magnifica* que después de haberse originado en el Noreste de Norteamérica ha invadido la costa Oeste de

Estados Unidos de Norteamérica, Europa Central y algunos países de Asia como Japón, Corea y China. Su forma peculiar llama la atención, ya que construye una base gelatinosa sobre la cual cientos de colonias de este briozoo. En este trabajo se reporta el hallazgo por primera vez para México, aunque ya se sospechaba con antelación que podría desplazarse de forma natural hasta nuestro país.

Los mosquitos son una verdadera molestia en la vida cotidiana de las zonas tropicales y subtropicales de cualquier parte del mundo. En este trabajo se explica cómo las hembras de mosquitos mediante adaptaciones evolutivas, señales químicas, factores físicos seleccionan sitios de oviposición. Los autores en este artículo exploran los mecanismos involucrados en esta actividad, advirtiendo que el cambio climático ha alterado los patrones de oviposición.

La Ciudad de Monterrey, Nuevo León sufrió una crisis hídrica en 2022, mediante este artículo, los autores determinan el impacto de la sequía en la potabilidad del agua destinada para la red de consumo humano en esa ciudad y su zona metropolitana, así como los riesgos sanitarios que conllevó el consumo del agua en ese tiempo.

El COVID-19 sigue siendo un tema presente en el ámbito cotidiano. Se desarrollaron múltiples vacunas con diferentes resultados, en este trabajo, los autores realizan un estudio a pacientes vacunados y no vacunados llegando a la conclusión que una vacuna en particular tuvo mejor desempeño en protección con respecto a las demás.

Usar antibióticos de manera desmedida ha sido la causa principal de desarrollo de resistencia por parte de las bacterias a tales medicamentos, a las farmacéuticas no les interesa desarrollar fármacos cuya vida útil sea corta, por lo que los autores voltean a la etnobotánica como alternativa para tratar enfermedades, debido a los metabolitos secundarios de ciertas plantas, ha sido posible la obtención de nuevas moléculas para la generación de fármacos.

El término neurorrehabilitación es novedoso, en este trabajo los autores nos hablan de la evolución del cerebro para su humanización, socialización y adaptación al entorno tras un período de millones de años. Nos hablan de como la Inteligencia Artificial puede contribuir a la rehabilitación neuronal de personas con diversas discapacidades neurológicas.

Controlar las plagas de insectos en cualquier ámbito de desarrollo social, ha sido un problema que ha ocupado a la humanidad desde el pasado reciente. El desarrollo del sistema CRISPR ha revolucionado la entomología ya que es una herramienta para la edición genómica precisa. Muchos son los ámbitos donde esta tecnología se ha utilizado, desde verificar funciones genéticas, la mutagénesis o la creación de insectos modificados genéticamente. En este trabajo nos adentramos a conocer parte del beneficio al utilizar este sistema.

En los últimos años hemos sido testigos de olas de migración desde Centro y Sudamérica hasta Norteamérica, con los miles de personas que se desplazan hacia el norte, enfermedades infecciosas son acompañantes silenciosos de viajes, aunque estas son de bajo riesgo cuando se trata de una migración por vía terrestre. En este trabajo los autores mencionan algunos ejemplos de enfermedades que pudieran llegar a ser un problema de salud pública.

Por último, se hace un humilde tributo al trabajo titánico realizado por un hombre verdaderamente excepcional, el Dr. David Lazcano Villarreal conocido en el mundo de la herpetología mexicana e internacional, dejó una huella por demás imborrable a lo largo de su vida. Su carisma y buen humor iban de la mano con su capacidad para entender la biología de los reptiles, dejó un legado de conocimiento tal que se refleja en sus más de 250 artículos científicos y libros publicados, así como en la motivación que hizo que otros colegas siguieran su camino. Sirva este trabajo para enaltecer su esfuerzo.

Como siempre, la publicación de este Decimosexto Número de Biología y Sociedad no podría ser posible sin el apoyo de los autores que nos hacen llegar sus manuscritos, los revisores anónimos y los integrantes del Comité Editorial, a todos ellos, muchas gracias por su confianza y soporte.

ÉTICA EN LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN ZOOLOÓGICAS

/// AXI RAMOS-MORALES¹, NORMA EMILIA GONZÁLEZ², YANET E. AGUILAR-CONTRERAS¹,
JULIO D. GÓMEZ-VÁSQUEZ¹, JUAN J. SCHMITTER-SOTO², LUIS F. CARRERA-PARRA², SERGIO
I. SALAZAR-VALLEJO^{2*}

¹Programa de Doctorado en Ciencias, El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo, México

²Departamento de Sistemática y Ecología Acuática, El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México

*Correspondencia: ssalazar@ecosur.mx

RESUMEN

En esta contribución, presentamos una serie de reflexiones o recomendaciones sobre la dimensión ética de la docencia e investigación zoológicas. Revisamos algunas cuestiones relevantes que atañen al Código Internacional de Nomenclatura Zoológica en los nombres derivados de personas (epónimos) o de localidades (topónimos). En los aspectos docentes, recomendamos acciones concretas para la recolecta y tratamiento de materiales, así como para la generación y crecimiento de las colecciones incluyendo evitar el sobre-muestreo. En los aspectos de investigación recomendamos que el crecimiento de las colecciones sea selectivo y no exhaustivo, y evitar dañar materiales durante las visitas de investigación en colecciones, y hacemos eco de una serie de sugerencias para evitar problemas en la determinación de autorías en las publicaciones. También presentamos algunas consideraciones sobre el marco legal nacional para obtener permisos de colecta para la fauna continental y la acuática, e incluimos algunos aspectos referentes a la importación o exportación de materiales para investigación científica.

ABSTRACT

In this contribution, we present a series of ideas or recommendations about ethical dimensions in zoological teaching and research. We review some relevant issues in the International Code of Zoological Nomenclature regarding names made after people (eponyms), or localities (toponyms). We recommend some specific actions during teaching for collecting and treatment of specimens, including collections establishment and growth, and emphasize avoiding over-sampling. For zoological research, we recommend that collection growth must be selective rather than exhaustive, and to avoid damaging specimens during research visits in large collections; some suggestions for avoiding problems regarding how to define authorships in publications are briefly reviewed. We also include comments about the National legal framework regarding collecting permits for continental and aquatic biotas, including some details regarding importing or exporting materials for scientific research.

INTRODUCCIÓN

Como en previas ocasiones, en esta contribución brindamos unas reflexiones colectivas sobre la ética en la docencia e investigación zoológicas emanadas del Seminario sobre Sistemática Avanzada, del programa doctoral de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal.

A partir de una búsqueda en el Google Académico, se encontró mucha información concerniente a la ética en la investigación: más de 16,000 resultados desde 2020, y la progresiva restricción a cuestiones de investigación zoológica (que parece referirse a los jardines zoológicos), arroja 6,730, y si la búsqueda se hace sobre Zoología, surgen casi 3,500 resultados. Entonces, no parece faltar información sobre lo que queremos comentar en esta ocasión. Lo hacemos porque falta el análisis crítico de varias cuestiones que tienen relevancia en ética y en investigación por varias razones. En particular, porque ha habido una serie de acciones dirigidas a reducir o evitar el estudio de organismos en vida para fines de disección y docencia y, por otro lado, en el incremento de restricciones para la recolección y estudio de materiales por científicos de la misma nación, o de otras naciones, como lo muestra la Convención sobre Diversidad Biológica con el Protocolo de Nagoya (<https://www.cbd.int/abs/about>). En realidad, hay muchos aspectos éticos que son importantes en la investigación y docencia en Zoología y queremos analizar distintas

situaciones y recomendar acciones concretas para optimizar la situación en el país.

La investigación en Zoología, y no sólo la generación de conocimiento nuevo, sino también la formación de nuevo personal investigador a través de la docencia, requiere del trabajo directo con organismos, que ya procesados denominamos ejemplares. Si bien el material biológico ya depositado en colecciones científicas puede atender esta necesidad, en ocasiones será inevitable realizar expediciones para obtener especímenes. En ambos casos hay temas éticos que atender, en aras de la conservación de la biodiversidad.

Siqueiros-Beltrones (2002) realizó una reflexión sobre la temática que nos interesa y sus conclusiones y recomendaciones merecen actualizarse y complementarse, y ese es uno de nuestros objetivos. Los otros apuntan a clarificar algunas cuestiones importantes y poco atendidas, o incentivar la reflexión sobre aquellos que no se han dimensionado adecuadamente en medio de la crisis ambiental en la que nos encontramos.

En ese sentido, Quesada-Rodríguez (2024) enfatizó que debemos movernos en la integración de la ética y la política ambiental en la bioética para responder sistemáticamente a los retos que plantea el cambio climático. El método propuesto incluye mejorar la educación en filosofía y ética, y optimizar la participación democrática en la toma de decisiones (Kottow, 2007; Leyton-Donoso, 2008; Morales-González *et al.*, 2011).

ÉTICA

Definiciones. Intuitivamente, y de manera un tanto simplista y hasta circular, la ética tiende a entenderse como la rama de la filosofía que estudia qué es lo moralmente correcto o incorrecto; esto es, lo bueno y lo malo, normalmente en términos de la conducta humana; de hecho, el término proviene del griego *etikos* (ἠθικός), “relativo al carácter, costumbre o hábito” (Pabón de Urbina 2000).

En el contexto de la labor científica Merton (1942) señaló los elementos éticos que deben ser adoptados por los científicos: comunidad, universalidad, escepticismo organizado e imparcialidad; sin embargo, estos principios giran en torno al entorno cultural y el actuar humano hacia sus congéneres (Rolston, 1991). Por ello se requiere la inclusión del mundo natural no humano, fuera del margen cultural, que deviene un conjunto de principios morales y valores que guían las decisiones y acciones para asegurar el respeto a la naturaleza humana y no humana, ya que de no hacerlo podríamos ocasionar una mayor degradación del ambiente, generando una amenaza hacia la vida.

Con el surgimiento y organización de las sociedades modernas alcanzamos varias normas sociales de distinta relevancia. Las naciones cuentan con constituciones, leyes, normativas, regulaciones y vigilancia para que se mantengan vigentes los preceptos emanados y aprobados colectivamente. Lo mismo puede esperarse de las instituciones u organizaciones formales tales como universidades o sociedades científicas.

En el ámbito de la conservación biológica, Leopold (1949) subrayó que la ética consiste en limitar la libertad de acción; esto es, controlar el egoísmo en beneficio de un bien mayor. Este “bien mayor” se ha identificado a veces con el bienestar humano (antropocentrismo), pero también con el valor de la naturaleza, o ética de la tierra, ya sea intrínseco o instrumental (Callicott, 1994). Cuando se refiere al valor de la naturaleza, también cabe distinguir el beneficio para el ecosistema y las especies, lo que se denomina ecocentrismo (Márquez-Vargas, 2020; Osorio-García & Roberto-Alba, 2023). Esto contrasta con los denominados derechos de los animales, el biocentrismo, dedicado meramente a evitar el sufrimiento de organismos individuales (Singer, 1985). Este debate puede devenir álgido como en el caso de los hipopótamos invasores del río Magdalena, Colombia, donde hay que elegir entre proteger a un animal carismático y capaz de sufrir, o proteger a todo un ecosistema seriamente amenazado por la presencia de ese mismo animal, al cual sería imprescindible erradicar (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2021).

A pesar de la creciente conciencia sobre la importancia de la ética ambiental y la búsqueda de la descripción de los valores que posee el mundo natural no humano y de explicar mejor nuestras obligaciones morales hacia la naturaleza no humana (Light & Rolston, 2003; McShane, 2009), hay una brecha significativa entre los principios éticos y su aplicación práctica; esta brecha se manifiesta en diferentes ámbitos, desde la gestión ambiental hasta la toma de decisiones individuales.

La falta de una ética ambiental en la población en general, y con mayor razón entre académicos, refleja una falla fundamental en los programas educativos (Martín-López *et al.*, 2007). La educación es parte fundamental para generar conciencia crítica e integral de la situación en el planeta; sin embargo, a menudo se enfoca en conceptos abstractos que no permiten la generación de herramientas prácticas para la aplicación de los conceptos en situaciones reales; por ello, se requiere reevaluar la educación ambiental en programas educativos (Martínez, 2010).

Códigos de nomenclatura y ética. La respuesta frecuente de las instituciones ha sido el establecer códigos y comités de ética. Los casos más sonados en el pasado se referían a cuestiones inherentes al plagio o invención de datos, incluyendo cuestiones relativas a la autoría, así como al hostigamiento laboral. En muchas instituciones, este tipo de problemas mantienen vigentes los comités de ética para normar y mejorar las interacciones entre el personal de las instituciones.

Dos ejemplos pueden ilustrar la situación. La Comisión Internacional sobre Nomenclatura Zoológica generó un código de nomenclatura, y agregó un código de ética nomenclatural como el apéndice A (<https://www.iczn.org/the-code/the-code-online/>), que incluye siete aspectos a considerar en esas cuestiones. El punto cuatro ha cobrado especial relevancia en las últimas décadas ya que establece que “ningún autor o autora debería proponer un nombre que, para su conocimiento o creencia, pudiera ofender en cualquier circunstancia.” La relevancia se generó porque algunos colegas reclaman que nombres de especies que honran a otras personas (epónimos) deberían modificarse, por cuestiones éticas, si se derivan de tiranos, dictadores, colonialistas o esclavistas (Bae *et al.*, 2023) y entre los ejemplos que se enlistan destacan el escarabajo *Anophthalmus hitleri* Scheibel, 1937 por Adolf Hitler; el homínido fósil *Homo rhodesiensis* Woodward, 1921, por Cecil Rhodes (funcionario en Sudáfrica); y el arbusto *Hibbertia* Andrews, 1800 por George Hibbert (esclavista británico). El segundo ejemplo es desafortunado ya que el nombre indica la procedencia de los fósiles y no honra a persona alguna, aunque el nombre de la región lo hiciera.

Además de cuestiones éticas, recordamos que, en un congreso de ciencias del mar en Baja California en los años

80 del siglo pasado, un diputado local propuso cambiar el nombre de la ballena gris, *Eschrichtius robustus* (Lilljeborg, 1861), por *E. mexicanus* dado que paría sus crías en lagunas costeras de la península de Baja California, por lo que era mexicana por nacimiento.

El Código Internacional de Nomenclatura Zoológica indica las razones por las que los nombres pueden devenir inválidos, las cuales obedecen a la forma cómo se haya publicado el nuevo nombre, además de indicar el depósito del material tipo para las publicaciones más recientes. Sin embargo, no se cambian los nombres por cuestiones que emanen del malestar de algunas personas aisladas u organizadas, o del reclamo de pueblos o naciones. Las razones centrales son la estabilidad de los nombres reconocidos, por un lado y, por el otro, el principio de prioridad; si se considera que un 30% de los nombres científicos de los animales son epónimos (20%) o topónimos (basados en la localidad del hallazgo, 10%), sería muy alto el número de nombres que podrían cambiarse porque algunas personas se sientan ofendidas por lo que las personas homenajeadas hicieron, o por los nombres de lugares que ya no se usan más (Ceríaco *et al.*, 2023). La respuesta de la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica fue terminante y rechazó implementar dichos cambios (Ceríaco *et al.*, 2023). Asimismo, un grupo internacional de más de 1,500 taxónomos se pronunciaron por proteger la estabilidad de los sistemas de nomenclatura biológica contra los embates del revisionismo histórico, que trata de cambiar los epónimos y topónimos que ahora parecen insultantes (Jiménez-Mejías *et al.*, 2024).

El segundo ejemplo es la Sociedad Ecológica de los Estados Unidos. Generaron un código con 31 puntos en tres secciones (ESA, 2021): general (interacción y colaboración), práctica profesional y publicaciones. En la última sección la esencia sería cómo determinar autorías, algo que es problemático y consideraremos a detalle más adelante, ya que muchos problemas en las autorías de publicaciones son tema recurrente en muchas contribuciones sobre la ética en la investigación (Weinbaum *et al.*, 2019; Orozco & Lamberto, 2022).

Hay otro aspecto ético en la Zoología, más cercano a la taxonomía y en particular al acto de ponerle nombre a una nueva especie. El principio de prioridad convierte el descubrimiento de especies en una carrera que no todos los taxónomos atienden con ética. Ha habido quien “ahorra tiempo” en el arbitraje de la descripción de una nueva especie mediante el camino “práctico” de autopublicarse. Tal es el caso de los colegas que llegan a inventar un boletín, publicar allí sus propios resultados, a menudo sin evaluación por pares, e imprimirlo en el propio escritorio, y consiguen distribuirlo a suficientes bibliotecas para cumplir el requisito de disponibilidad amplia (Kaiser *et al.*, 2013).

DOCENCIA

Richard Louv (2005) acuñó el término “trastorno del déficit de naturaleza” para enfatizar que la mayoría de la gente, especialmente los niños, pasan cada vez menos tiempo en la naturaleza abierta, lo que reduce su capacidad de disfrutar y defender la naturalidad de los paisajes, si ha pasado la mayor parte del tiempo en casa. La obra ha sido muy influyente y tiene casi 10,000 citas al momento de redactar estas líneas; por ejemplo, se ha comprobado que las conexiones físicas y psicológicas con la naturaleza redundan en la mejora de nuestro bienestar y de la bioconservación (Barragán-Jason *et al.*, 2023).

El abandono de las actividades de campo, en contacto directo con la naturaleza, es lesivo para todos, y seguramente tiene un impacto peor en la formación de los profesionales en las ciencias ambientales. La reducción de las actividades de campo se puede explicar por el incremento en la inseguridad, o su percepción, en muchas regiones de México. También podría explicarse por el abandono del enfoque de historia natural e investigación básica para la formación de los profesionales en estas áreas (Nanglu *et al.*, 2023). En cualquier caso, las instituciones deben tener un código de ética o bioética, así como vigilancia efectiva de su cumplimiento para mejorar la imagen y confianza sociales, incluso cuando se trabaje con invertebrados (Brunt *et al.*, 2022). Por tanto, recomendamos que las instituciones generen un código de ética, cuenten con un sistema de vigilancia de su cumplimiento, y manifiesten en cualesquiera participaciones sociales, que sus actividades docentes y de investigación sigan los mejores estándares internacionales.

Debe mencionarse, empero, que a veces los comités de ética pueden extralimitarse y tomar decisiones negativas que detengan o bloqueen algunos tipos de investigación, por lo que se recomienda estudiar cuidadosamente los perfiles académicos de los potenciales miembros de dichos comités (Chuck & Old, 2012; Jones *et al.*, 2012).

RECOLECTA Y TRATAMIENTO DE MATERIALES

Como se ha mencionado, ya sea para investigación o docencia, la necesidad de observar y manipular organismos y ejemplares es de vital importancia para la formación de estudiantes en ciencias en general. Una de las actividades primordiales es la recolecta de organismos y, como lo estipularon De la Rosa-Belmonte *et al.* (2015), se consideran cinco fases al momento de trabajar con organismos: previo a la recolecta, durante la recolecta, traslado de organismos, mantenimiento de éstos, y disposición final.

En cuanto a estas fases, en primera instancia se requiere de una planeación y definición de un protocolo

de trabajo; con esta guía, empleando conocimientos generados previamente sobre fauna y ambiente, se puede disminuir el impacto sobre poblaciones silvestres. Sin embargo, esto no ocurre en ambiente marinos, puesto que en general son organismos y ambientes escasamente estudiados.

Los autores recién mencionados también sugirieron que el manejo y traslado de los organismos deben en todo momento ser por un responsable que tenga las herramientas y conocimientos para hacerlo. En ocasiones, los organismos se dispondrán para ser estudiados en laboratorio y eventualmente ser regresados al medio silvestre; sin embargo, si el estudio lo requiere, los organismos serán procesados para almacenarlos en colecciones; por ello, se busca mantenerlos con el estrés mínimo posible, y llegado el momento, se emplearán anestésicos u otros tratamientos para el proceso de eutanasia (De la Rosa-Belmonte *et al.*, 2015).

Si se ha recolectado un organismo, lo ético implica sacar el mayor provecho posible. Eso implica no sólo, o no tanto, estudiarlo a fondo de inmediato, sino hacerlo disponible para toda la comunidad académica. Los acervos de las colecciones biológicas, en particular el material tipo, son "propiedad de la ciencia", de acuerdo con el ICZN. Con demasiada frecuencia, los curadores se creen los dueños de las colecciones que administran y a menudo dificultan el préstamo o incluso consulta de los ejemplares (Raikow, 1985). Desde luego, también quien recibe el material en préstamo tiene obligaciones éticas sobre su cuidado y devolución, así como brindar el crédito debido al museo (Merritt, 1992).

Cabe añadir que las preparaciones para estudio de un ejemplar le confieren valor adicional al ejemplar y a la

colección que lo alberga (Cato & Jones, 1991), aunque siempre deberá ponderarse con cuidado el equilibrio entre preservación y uso antes de realizar preparaciones destructivas; por ejemplo, una revisión parasitológica interna o una micrografía de barrido de organismos pequeños.

Ya que las tesis están perdiendo su relevancia tradicional como ejercicios de titulación en licenciatura, recomendamos que las salidas de campo se organicen para cursos del mismo semestre y que los estudiantes realicen una investigación semestral sobre alguno de los grupos muestreados. La experiencia será más completa y enriquecedora para la formación de los estudiantes, y la calidad del proceso de los materiales será mejor si las responsabilidades se asignan antes de las salidas de campo, de modo que se optimicen recolecta, tratamiento e identificación de los materiales.

Furlan & Fischer (2020) compilaron métodos alternativos al uso de organismos para la enseñanza de la Zoología; notaron que hay muchos recursos en Google y, podríamos agregar, también en YouTube, para mostrar las propiedades de muchos grupos de organismos, sin tener que recolectar o dañar organismos adicionales. En cualquier caso, nada supera la observación directa, o la realización de disecciones de los ejemplares por lo que, aunque se reduzca la intensidad de su uso, deben mantenerse como indispensables para la formación de recursos humanos en ciencias biológicas y ambientales.

En realidad, hay muchas actividades alrededor de las salidas de campo que deben considerarse para aminorar el impacto y porque en la mayoría de los casos parece que no se toman en cuenta (Lunney 1998), los editores de la revista Biological Conservation (Costello *et al.*, 2016) recomendaron varias cuestiones a revisar antes, durante y después del muestreo (Tabla 1).

Tabla 1. Cuestiones a revisar para muestreos de campo (Costello *et al.*, 2016).

Antes

1. Justificar los efectos adversos potenciales de la investigación en términos de la mejora del conocimiento.
2. Cumplir las regulaciones institucionales y nacionales sobre la investigación, cuidado y uso responsables de los animales, muestras o ejemplares y para laborar en áreas protegidas.
3. Aplicar el principio de precaución al estimar los daños potenciales por la investigación en las especies y sus hábitats, incluyendo el transporte inadvertido de plagas, patógenos o especies introducidas.

Durante

4. Evitar matar animales o plantas, especialmente las especies críticas para la conservación o las de áreas protegidas.
5. Minimizar la perturbación a la vida silvestre y sus hábitats y asegúrese de que los animales capturados accidentalmente serán liberados.
6. Minimizar el estrés a los animales que sean muestreados o manipulados.

Después

7. Recoger el equipo y materiales de investigación de los sitios de estudio.
8. Optimizar los beneficios futuros de la investigación al almacenar

- muestras para futuros estudios o usos educativos.
9. Reportar información oportuna que las autoridades deban conocer tales como contaminación, u observaciones de especies raras o invasoras.
10. Publicar los hallazgos y datos en archivos permanentes accesibles a la población general.

COLECCIONES DE DOCENCIA O ENTRENAMIENTO

El material recolectado en campo pasa entonces a formar parte de un acervo en las diferentes instituciones, llamadas colecciones; este material pasará a ser de referencia, por lo que se debe asegurar su preservación y accesibilidad para quien lo requiera, para futuros estudios y la reproductibilidad de investigaciones y aprovechar la mayor cantidad de información que se pueda obtener de los ejemplares (Muñoz-García *et al.*, 2016; Buckner *et al.*, 2021).

Además, se debe considerar que el personal encargado de mantener las colecciones y los que recurren a ellas para utilizarlas en enseñanza deberán ser responsables y contar con entrenamiento para mantener los ejemplares.

También deberían tener vocación docente, ya que además de conservar el valioso material, están encargados también de enseñar y orientar mentes en formación. Mayormente el material de apoyo generado con las colecciones de docencia es igualmente importante para instruir futuras generaciones, algunos de estos materiales pueden ser usados para generar guías ilustradas, claves de identificación y acervos fotográficos (Delgadillo & Góngora 2009, Darrigan *et al.*, 2022).

RECOLECTA Y CONSERVACIÓN: SOBRE-MUESTREO

Cuando es posible controlar la cantidad de organismos capturados por unidad de esfuerzo, es preferible dejar libres a aquellos que se puedan identificar, incluso medir

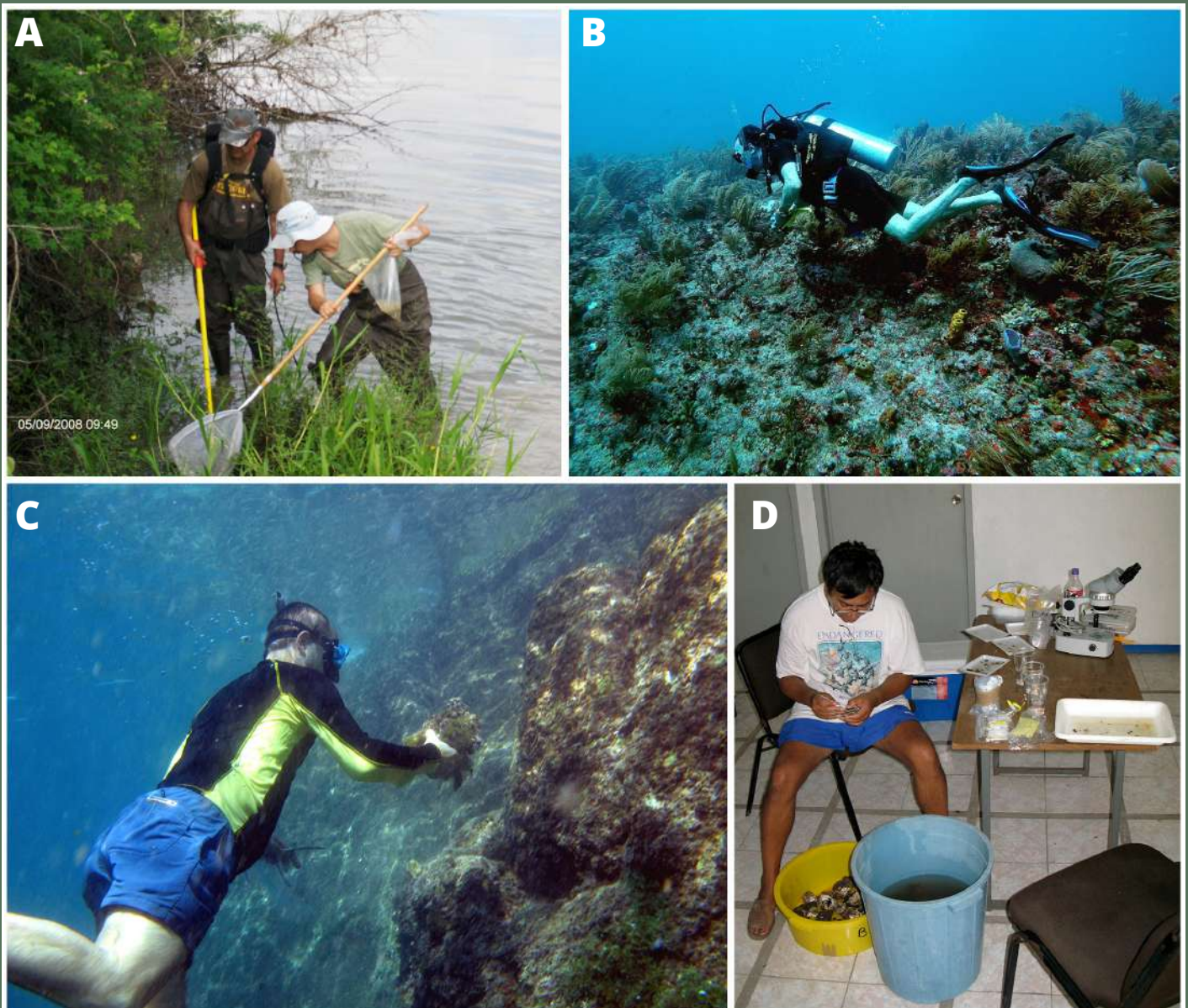


Figura 1. Muestreo y procesamiento de muestras. A. Muestreo con electricidad; Roberto Herrera y Juan J. Schmitter-Soto (la electricidad aturde a los peces, pero no los mata, lo que permite revisar los organismos y devolverlos al ambiente). B. Censo visual de peces; J.J. Schmitter-Soto (el censo permite evitar la captura de especies bien conocidas). C. Extracción de rocas sublitorales; Luis F. Carrera-Parra (se seleccionan las rocas con mejores posibilidades de contener organismos perforadores). D. Separación y procesamiento de muestras; Sergio I. Salazar-Vallejo (se separan, fijan y preservan todos los organismos hallados). (Fotos: A, Lissie Ruiz; B, Alicia Díaz; C y D, Humberto Bahena).

y tomarles muestra de tejido no letal, sin conservarlos. O bien, en estudios pesqueros o autoecológicos, determinar cuidadosamente el tamaño de muestra mínimo para el objetivo del estudio y ceñirse al mismo.

El material para docencia o entrenamiento puede provenir de capturas excesivas realizadas en el pasado. Aunque el valor formativo de las salidas de campo es claro, y porque es doloroso que la inseguridad en muchas regiones del país y del mundo las dificulte o impida, raramente es obligatorio recolectar material nuevo para estudiar Zoología.

Por otro lado, la inestabilidad de las instituciones, la falta de recursos físicos como espacio e inmobiliario, o económicos para tener personal permanente en las colecciones, han motivado que muchos investigadores realicen colecciones personales. Son particularmente frecuentes en algunas áreas como entomología, malacología, ornitología o paleontología, y los ejemplares son exhibidos o considerados como joyas, dependiendo de la rareza de su hallazgo. El problema medular es que contribuyen al tráfico ilegal de fauna o fósiles y raramente se asocian a investigación científica (García *et al.*, 2022). En consecuencia, la mejor recomendación es fortalecer las instituciones y colecciones, de manera que se garantice su salvaguarda, y que se optimice el uso de los materiales en docencia e investigación.

INVESTIGACIÓN

COLECCIONES DE INVESTIGACIÓN

Nos hemos referido en otra parte (Chávez-López *et al.*, 2024), a la dinámica de las colecciones y sobre cómo pueden transformarse, con mayores esfuerzos de almacenamiento, identificación y estudio, en una serie que desencadene en el establecimiento de una colección de investigación. Ahora podemos agregar que algunos métodos no selectivos como las trampas de luz, o los arrastres de plancton o de redes de pesca, resultan en un gran número de ejemplares y como la mayoría de ellos no son estudiados a profundidad, dichos métodos de muestreo exhaustivo debieran transformarse en selectivos, para reducir el impacto de la remoción de un gran número de ejemplares del entorno natural.

CRECIMIENTO DE COLECCIONES: SELECTIVO O EXHAUSTIVO

Para evitar sobremuestreo, el crecimiento de una colección biológica debería ser planeado. También sería deseable la coordinación interinstitucional para evitar redundancia, desde luego aunada a facilidades para préstamos de un museo a otro, incluidos los trámites de exportación temporal de materiales. El crecimiento planificado y coordinado de las colecciones biológicas optimizará el uso de los recursos, y garantizará la representatividad y durabilidad de las mismas, lo

cual permitirá el cumplimiento de objetivos en la investigación científica, el conocimiento y conservación de la biodiversidad (Simmons & Muñoz-Saba, 2005).

Si se estableciera una red nacional de museos de historia natural, como propusimos recientemente (Chávez-López *et al.*, 2024), podrían alcanzarse acuerdos no sólo sobre el ámbito geográfico de cada museo, sino incluso sobre su énfasis taxonómico, basado en la presencia de expertos consolidados o en formación, en la institución o al menos con experiencia en la región.

Asimismo, hay que considerar la responsabilidad que tienen las instituciones que brindan financiamiento para proyectos de investigación. En ocasiones los proyectos van condicionados a la entrega de colecciones y bases de datos con un número fijo de ejemplares a recolectar (e.g., CONABIO). En ocasiones basta la recolecta de uno o dos ejemplares de un sitio y los demás ejemplares de otros sitios del área de estudio sólo se fotografían in situ. Si la fotografía se hace de buena calidad puede servir incluso para describir nuevas especies, aunque sigue siendo de manera excepcional (Marshall & Evenhuis, 2015).

VISITAS DE INVESTIGACIÓN EN MUSEOS: ENRIQUECIMIENTO VS SAQUEO

Todos los museos tienen su propio código de ética. Generalmente cada visitante debe conocer las restricciones que implican la visita y manipulación de materiales tipo y no-tipo. Hay libertad y confianza por parte de algunos curadores de museos que permiten al visitante la libre actuación en la misma. Sin embargo, se menciona frecuentemente la pérdida o extravío de material en las publicaciones. Las causas no necesariamente se atribuyen a personas, pudieron deberse a eventos de otro tipo como ocurrió con los bombardeos durante la segunda guerra mundial. Nuestra responsabilidad como visitantes implica que al notar un recipiente, viales, frasco o caja que estén vacíos, o con los ejemplares deshidratados, despedazados o rotos, debemos notificar al curador, pero la mayoría de las veces no lo hacemos. Hasta que otro interesado en estudiar el mismo material lo solicita y no se halla, entonces el curador revisa los archivos de visita o préstamo para indagar en dónde podría estar, o quién podría ser responsable de su daño o extravío. Por ello, es recomendable realizar informes de las actividades realizadas durante las visitas a las colecciones. Por supuesto, siempre es una grave pérdida, ya que los materiales son extremadamente valiosos e irrecuperables, incluso si no se trata de materiales recolectados en siglos pasados.

Por otro lado, varios de los principales museos estadounidenses o europeos contienen ejemplares recolectados en nuestro país, desde antaño, lo que ha

enriquecido el acervo de dichas instituciones. Y aunque hubo algunas iniciativas de “repatriación” documental por parte de CONABIO, sólo sirvió para conocer el acervo de algunos museos y no para la recuperación de los materiales. La repatriación de dichos ejemplares difícilmente se podría conseguir, porque algunos fueron recolectados en visitas de “vacaciones” o recolectas “informales”, peor aún si hubiera impedimentos legales. Por ejemplo, los materiales recolectados con fondos federales estadounidenses caen en lo que se llama Ley Ferroviaria, e implica que no podrán salir del territorio de ese país. Además, en varios países de Europa como Alemania, Francia o Países Bajos, el acervo de los museos de historia natural se considera patrimonio nacional, con lo que se ha hecho más complicado que puedan exportarse a otros países, así sea temporalmente, con lo que su estudio implica estancias de investigación en museos de esas naciones, así sea para estudiar los tipos.

Debido a que las estancias de investigación en museos de otros países pueden resultar muy onerosas, deberá de tratarse de optimizarse al máximo los recursos. Por ello, se recomienda tomar fotografías de buena calidad de los ejemplares tipo, topotípicos y adicionales, que puedan ser resguardados en repositorios institucionales y accesibles en la web, con lo que podrían reducirse costos y tiempo en cada estancia. Ya nos referimos a estas cuestiones en una nota previa (Chávez-López *et al.*, 2024), por lo que no abundaremos en estos tópicos para esta contribución.

Para terminar, debemos comentar sobre las restricciones que en nombre de la seguridad se han implementado en varios museos. Por ejemplo, los visitantes no pueden ingresar o permanecer en el museo fuera del horario de oficina, e incluso en Naturalis, en Leiden, Holanda, no puede uno ingresar con el bolso de la computadora, sino poner en una charola los equipos a ingresar, en el entendido de que puede haber una revisión antes de salir del museo. La medida ha sido efectiva para reducir el saqueo o robo de materiales en seco, como corales o conchas de moluscos.

Una restricción adicional es la de evitar muestreos destructivos tales como disecciones o tinciones que modifican de manera permanente el material a estudiar. Por ello, la mayoría de los museos requieren que dichas actividades sean indicadas y que se solicite autorización para realizarlas. El impacto sobre los organismos llevó a que Linda Ward, una colega del Museo de Washington, denominara al material tipo “leftotypes”, porque era lo que quedaba de ellos (Ward, 2002, com. pers.).

Otra cuestión importante es que algunos colegas solicitan en préstamo materiales de museos y los

retienen de manera indefinida, a veces por más de una década, con lo que evitan que alguien más investigue el grupo en cuestión. Lo peor es que al perder interés la persona que los retiene, los materiales se pueden secar o ser atacados por hongos, con lo que ocasionan un impacto mucho mayor al de limitar su acceso temporalmente.

AUTORÍA DE PUBLICACIONES

Además de los casos de hostigamiento laboral o sexual, la mayoría de los asuntos tratados en los comités de ética se refieren a las publicaciones y a conflictos sobre la autoría de las mismas. Del mismo modo, se han generado muchas más contribuciones sobre estos conflictos que sobre cualesquiera otros asuntos tratados en los comités, y entre los antecedentes o ejemplos destacan algunos de los científicos más productivos. En realidad, si lo más importante en las evaluaciones curriculares era el número de publicaciones, no debería sorprender que hubiera mecanismos diversos para aumentar dicho número a cualquier costo. Esto ha derivado en prácticas generalizadas, o incluso legalizadas, en distintas instituciones. Por ejemplo, en ECOSUR se da por sentado que todos los miembros del comité tutelar de un estudiante serán coautores en las publicaciones que se generen, independientemente de la calidad de su participación en el proyecto, y a pesar de que el Reglamento del Posgrado señala que “la inclusión de los asesores o el tutor de un estudiante como coautores de las publicaciones derivadas de la tesis dependerá de los acuerdos entre ellos”. En otra institución del norte de México, se reglamentó que si la persona egresada no publicaba su tesis en un plazo perentorio, quien hubiera dirigido la tesis podría publicarla y decidir la secuencia de autores.

Otros problemas relacionados a las publicaciones emanadas de las tesis van desde la preparación del artículo sin asesoría o conocimiento de su director de tesis, sin la autorización del uso de datos (sobre todo cuando la tesis fue financiada con un proyecto), cuando se usa una adscripción distinta a la institución donde se realizó la investigación, o la omisión de una sección de agradecimientos a las personas o instituciones que apoyaron la investigación.

Consideramos que, de acuerdo con Albert & Wager (2003), debe ser autor quien haya aportado intelectualmente de manera sustancial a la publicación en cuestión. Esa aportación puede haber ocurrido en cualquiera de las fases del trabajo: idea original, labores de campo o laboratorio, análisis de los datos, o redacción. En cambio, no es coautor quien simplemente aportó financiamiento, dirigió el laboratorio, o fue curador o incluso recolector original de los ejemplares de la colección. Dicho lo anterior, es una gentileza

elemental tener comunicación con el responsable de la colección para detectar si puede y quiere aportar algo al estudio, en términos intelectuales. Al ser autor se asume una responsabilidad por las palabras y contenido de la publicación, teniendo en cuenta que están sujetas al escrutinio científico y se adquiere un compromiso con la comunidad científica y la sociedad en general; por ello, la responsabilidad ética se extiende más allá de la publicación (Koepsell & Ruiz-de Chávez, 2015).

Lo “sustancial” de la aportación intelectual debería ser decidido por el colectivo de autores para cada uno de los candidatos a serlo. Se han propuesto rutas para evitar conflicto en este tema; por ejemplo, las recomendaciones por Galindo-Leal (1996).

En este rubro, Rozo-Castillo & Pérez-Acosta (2019) analizaron las cuestiones éticas a considerar en el proceso de publicación (Tabla 2).

Tabla 2. Cuestiones éticas a considerar en el proceso de publicación (Roza-Castillo & Pérez-Acosta, 2019).

Antes (preparación a remisión)

1. Conflicto de intereses.
2. Autoría inmerecida.
3. Fraccionar resultados (“salami science”).
4. Plagio y autoplagio.
5. Fabricación de datos.
6. Remisión en paralelo.

Durante (evaluación)

7. Conflicto de intereses.
8. Pares amigos o falsos.
9. Plagio por revisores.
10. Invasión de autoría.

Después (aceptación a publicación)

11. Alteración de los factores de impacto.

Una serie de recomendaciones más detallada sobre los aspectos éticos, de registro, edición y publicación fue actualizado recientemente por parte del ICMJE (2024) y puede descargarse libremente.

MARCO LEGAL

PERMISOS DE COLECTA: FAUNA SILVESTRE VS PESCA DE FOMENTO.

El marco legal de los permisos de colecta científica de flora y fauna silvestre en México está regido principalmente por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General de Vida Silvestre (LGVS), y la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (LGPAS), las cuales establecen los lineamientos para la obtención de permisos y la protección de la biodiversidad.

La LGEEPA, promulgada en 1988 y reformada en 2024, es la ley fundamental en materia ambiental en México. Su objetivo principal es garantizar el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. En este contexto, la recolecta científica de especies debe realizarse bajo estrictas regulaciones para asegurar la conservación de los recursos biológicos. Según el artículo 87 de esta ley, la recolecta de especies de flora y fauna silvestre, así como de otros recursos biológicos con fines de investigación científica, requiere de autorización de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y deberá sujetarse a los términos y formalidades que se establezcan en las normas oficiales mexicanas que se expidan, así como en los demás ordenamientos que resulten aplicables (DOF, 2024a).

La LGVS, por otro lado, es más específica en cuanto a la protección de la vida silvestre. Establecida en 2000 y reformada en 2021, esta ley regula el uso y aprovechamiento de especies de flora y fauna silvestres, así como sus hábitats. Cabe señalar que la LGVS en su artículo 49 define vida silvestre como los organismos que subsisten sujetos a los procesos de evolución natural y que se desarrollan libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como los ferales (DOF, 2021). Sin embargo, esto solo compete a las especies de hábitat terrestres o aquellas incluidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, dado que el artículo 10 establece que las especies cuyo medio de vida total sea el agua, será regulado por la Ley General de Pesca (DOF 2021).

Con respecto a los permisos de colecta, el artículo 97 de la LGVS señala que la recolecta de ejemplares de especies silvestres con fines de investigación científica y con propósitos de enseñanza requiere de una autorización previa de la SEMARNAT. Además, de acuerdo con el artículo 98, las personas autorizadas para las recolectas científicas deberán de presentar informes de actividades y destinar al menos un duplicado del material biológico recolectado a instituciones o colecciones científicas mexicanas, salvo que la Secretaría determine lo contrario (DOF, 2021).

Por su parte, la LGPAS, promulgada en 2007 y reformada en 2024, regula, fomenta y administra el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas en el país. Según esta ley, en su artículo 32, la pesca de fomento es aquella que se realiza con fines de investigación científica, exploración, experimentación, conservación, evaluación de los recursos acuáticos, creación, mantenimiento y reposición de colecciones científicas y desarrollo de

nuevas tecnologías (DOF, 2024b). Con respecto a la autorización de recolecta de especies acuáticas, los artículos 41 y 60 establecen que, para realizar actividades de pesca de fomento, se requiere un permiso expedido por la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Este permiso se otorga bajo la condición de que las actividades no afecten negativamente los recursos pesqueros ni el ecosistema acuático. Cabe señalar que de acuerdo con el artículo 64, la Secretaría podrá otorgar permisos para realizar pesca de fomento a las personas que acrediten capacidad técnica y científica para tal fin; mientras que el artículo 65 aborda los permisos para realizar pesca didáctica a las instituciones de enseñanza que tengan programas educativos de pesca (DOF, 2024b). A diferencia de la LGVS, en la LGPAS no existe ningún artículo que promueva que los recolectores destinen al menos un duplicado de las especies recolectadas a colecciones científicas mexicanas.

Además de estas leyes, existen normativas complementarias que especifican los procedimientos y requisitos para la obtención de permisos de colecta científica. Por ejemplo, la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 que establece los criterios para la determinación de especies en riesgo y sus respectivas medidas de protección.

Es un contrasentido mayúsculo el hecho de que resulta más sencillo obtener un permiso de colecta de fauna silvestre para capturar, digamos, una mariposa en peligro de extinción, que lograr el permiso denominado absurdamente "de pesca de fomento" para coleccionar con fines de investigación un organismo acuático común y abundante.

El intento de 1994 a 2000 de unir en una sola secretaría de estado los temas ambientales y pesqueros (SEMARNAP, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, hoy SEMARNAT, sin pesca) no era descabellado. Si ahora la CONABIO, la comisión antes intersecretarial sobre conocimiento y uso de la biodiversidad, se ha integrado de manera lógica a la

SEMARNAT, el ministerio del medio ambiente podría probar de nuevo la sensata inclusión de la CONAPESCA.

IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE MATERIALES

Las instituciones que albergan colecciones y los museos de historia natural tienen dos compromisos con la comunidad académica. Primero, la salvaguarda indefinida de sus colecciones; segundo, la disponibilidad para permitir el estudio de sus materiales por cualesquiera interesados. El primer compromiso no ha cambiado en teoría, aunque sabemos que cuando un investigador o responsable de colecciones se jubila o muere, sus materiales son abandonados o desechados para proporcionar espacio a otros investigadores. El segundo compromiso ha cambiado mucho durante las últimas décadas.

En efecto, los materiales eran de libre acceso y se remitían sin restricciones a quienquiera los pidiese. Los museos pagaban los costos de remisión y los interesados, o sus respectivas instituciones, pagaban los costos de regresarlos. Dos hechos cambiaron mucho esta dinámica. Primero, el ataque y destrucción de las torres gemelas en Nueva York en septiembre de 2001, ligado con la remisión de ántrax por correo, hicieron que las aduanas en los Estados Unidos sometieran a calentamiento extremo, con la intención de matar las esporas del bacilo del ántrax, todos los paquetes que llegaban a esa nación, independientemente de su destino final. El resultado fue que muchos materiales enviados en seco, como plantas de herbario, o animales delicados que se mantienen en seco como los insectos, fueron quemados durante ese procedimiento. La primera reacción fue por parte del Museo Británico de Historia Natural que prohibió remitir materiales al continente americano.

El segundo hecho fue el incendio del Museo Nacional de Brasil en Río de Janeiro en septiembre de 2018, en el que se consumieron buena parte de sus colecciones, así como de un gran número de materiales tipo remitidos en préstamo de muchas otras instituciones. El resultado fue que muchas instituciones ahora evitan remitir materiales tipo y sólo envían materiales de su colección general y en número reducido.

Figura 2. Vistas aéreas del Museo Nacional de Historia Natural, Río de Janeiro, Brasil, antes y después del incendio (Fots: La Nación).



También se generaron cambios para la remisión de materiales en etanol, ya que es inflamable. En principio, la restricción obligaba a que todos los paquetes fueran enviados a Toluca, y sacarlos de ahí implicaba trámites en una agencia aduanal. Pocos años después, se relajaron las medidas por parte del órgano internacional regulador (IATA: International Air Transport Association), y las normas se actualizan cada año. Ahora es posible llevar consigo, o en el equipaje, organismos no infecciosos en alcohol siempre que se cumplan ciertos requisitos de empaque (Provisión especial A180), entre los que destacan que deben estar en recipientes sellados térmicamente, con menos de 30 ml de líquido cada uno, y que lleven un rótulo que indique que los ejemplares son para investigación científica.

Hay otros requisitos para la importación o exportación de materiales biológicos. La Ley General de Vida Silvestre (DOF, 2021) indica que no se requiere autorización de la secretaría (Art. 53, fracción b) siempre que se trate de: "material biológico ... de colecciones científicas ... debidamente registradas, con destino a otras colecciones científicas en calidad de préstamo o como donativo ... siempre y cuando no tenga fines comerciales ni de utilización en biotecnología." Luego, para la importación de ejemplares (Art. 54, fracción a), se repite la misma redacción. Entonces, la primera recomendación será proceder al registro de la colección de nuestra institución para estar acordes al texto de la ley. Sin embargo, dado que México es miembro de la convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), la exportación o importación de ejemplares o fragmentos de especies que estén bajo algún tipo de protección de esta convención debe de cumplir con los lineamientos internacionales (Artículo 4 CITES; <https://cites.org/esp/disc/text.php#IV>)

Por otro lado, la Ley de Sanidad Animal (DOF, 2007) establece que serán sujetos de inspección y de expedición de un certificado zoosanitario para importación (Art. 24, fracc. 3), para lo que deben llenarse una forma de requisitos zoosanitarios (Art. 32). Sin embargo, dado que los organismos a estudiar generalmente fueron muertos y están preservados, no representan riesgo alguno de contagio o de enfermedades, por lo que el trámite debería ser lo más sencillo posible.

No obstante, otro obstáculo se presenta por parte de los servicios postales y de paquetería que realizan diferentes procesos, además de que la confiabilidad, rapidez de envío y eficiencia del servicio varía mucho entre varios países. Esto también puede ocasionar retrasos, o peor aún, que los paquetes puedan perderse al usar estos servicios.

Para terminar, la nueva Ley de Ciencia (DOF, 2023) establece que el Gobierno Federal brindará facilidades administrativas para la realización de la investigación científica (Arts 54, 63 fracc. 19, 77 fracc. 3, 88). Estas propuestas no han tenido tiempo de materializarse y ahora se puede anticipar que habrá que actualizar la ley dado que para este sexenio el Consejo Nacional ha pasado a ser Secretaría de Estado.

En suma, consideramos que deben minimizarse las barreras institucionales y gubernamentales que impiden la realización de una colaboración científica eficaz. En la mayoría de los casos, las normativas y su gran estructura burocrática han logrado obstaculizar un crecimiento de las colecciones científicas y el conocimiento de la diversidad biológica, logrando que el envío de ejemplares (ya sea por préstamo o donación), sea una pesadilla para los investigadores (Fernández, 2002). Esto se relaciona con el Protocolo de Nagoya, mismo que puede impedir el acceso a recursos genéticos (muestras y datos), así como otras regulaciones de permisos como la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies en peligro de extinción, permiso SEMARNAT-08-009 y otras regulaciones de bioseguridad y seguridad química (Poo *et al.*, 2022; SEMARNAT, 2022).

Lo anterior refleja que la salida de ejemplares reduce la participación de taxónomos foráneos para su descripción, lo que implica cierto abandono porque hay pocos expertos locales. Por lo tanto, compartir ejemplares con especialistas de diferentes regiones del mundo, ayuda a generar cooperación internacional, misma que proporciona oportunidades para que jóvenes interesados en esta disciplina, se involucren con expertos de otros países, lo que mejoraría la formación de especialistas a nivel local (Swing *et al.*, 2014).

Por lo tanto, es necesario que las normas reguladoras eliminen los retrasos y obstáculos burocráticos para la exportación e importación de material científico y a su vez promover, facilitar e incrementar el financiamiento para las colecciones científicas, siendo esta una gran inversión para la investigación y el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Durante la evaluación de nuestra contribución sobre las colecciones y museos de historia natural, María Ana Tovar-Hernández señaló la necesidad de discutir cuestiones éticas. No lo hicimos en esa ocasión ya que preferimos generar una contribución centrada en estos aspectos. Esperamos que la nota resulte de alguna utilidad para los lectores y que el contenido satisfaga la recomendación de Tovar-Hernández. Dos revisores anónimos mejoraron mucho la presentación final de esta contribución.

Literatura citada



- Albert, T. & E. Wager. 2003. How to handle authorship disputes: a guide for new researchers. The COPE (Committee on Publication Ethics) Report 2003: 32-34. DOI: <https://doi.org/10.24318/cope.2018.1.1>
- Bae, C.J., P. Radović, X.J. Wu, E. Figueiredo, G.F. Smith & M. Roksandic. 2023. Placing taxonomic nomenclatural stability above ethical concerns ignores societal norms. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 199: 5-6. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlad061>
- Barragán-Jason, G., M. Loreau, C. de Mazancourt, M.C. Singer & C. Parmesan. 2023. Psychological and physical connections with nature improve both human well-being and nature conservation: A systematic review of meta-analyses. *Biological Conservation*. 277: 109842, 9 pp. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109842>
- Brunt, M.W., H. Kriebel & von A.G. Keyserlingk. 2022. Invertebrate research without ethical or regulatory oversight reduces public confidence and trust. *Human and Social Sciences Communications*. 9:250, 9 pp. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01272-8>
- Buckner, J.C., R.C. Sanders, B.C. Faircloth & P. Chakrabarty. 2021. The critical importance of vouchers in genomics. *eLife* 2021:10:e68264. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.68264>
- Callicott, J.B. 1994. *Conservation values and ethics*. pp. 24-49 in Meffe G.K. & C. R. Carroll (Eds.), *Principles of Conservation Biology*. Sinauer, Sunderland.
- Castelblanco-Martínez, D.N., R.A. Moreno-Arias, J.A. Velasco, J.W. Moreno-Bernal, S. Restrepo, E.A. Noguera-Urbano, M.P. Baptiste, L.M. García-Loaiza, & G. Jiménez. 2021. A hippo in the room: predicting the persistence and dispersion of an invasive mega-vertebrate in Colombia, South America. *Biological Conservation*. 253: 108923, 12 pp. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108923>
- Cato, P.S. & C. Jones (Eds.). 1991. *Natural history museums: directions for growth*. Texas Tech University Press, Lubbock, 252 pp.
- Ceríaco, L.M.P. (+ 25 coautores). 2023. Renaming taxa on ethical grounds threatens nomenclatural stability and scientific communication. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 197: 283-286. DOI:10.1093/zoolinnean/zlac107
- Chávez-López, Y., L.D. Ramírez-Guillén, J.J. Schmitter-Soto, L.F. Carrera-Parra & S.I. Salazar-Vallejo. 2024. Museos de historia natural, taxonomía, colecciones biológicas y plan de acción. *Biología y Sociedad*. 7: 4-17.
- Chuck, J.A. & J.M. Old. 2012. Education of undergraduate Animal Science and Zoology students in professional practice: Can we ensure ethical compliance and educational outcomes? *Australian Zoologist*. 37(2): 193-200. DOI: <http://dx.doi.org/10.7882/AZ.2014.022>
- Costello, M.J., K.H. Beard, R.T. Corlett, G.S. Cumming, V. Devictor, R. Loyola, B. Maas, J.M. Miller-Rushing, R. Pakeman & R.B. Primack. 2016. Field work ethics in biological research. *Biological Conservation*. 203: 268-271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.008>
- Darrigan, G., H. Custodio, T.I. Legarralde & A.M. Vilches. 2022. Colecciones biológicas y virtualidad: un recurso para la enseñanza de la biodiversidad. *Biografía*. 16(30): 132-141. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.16.num30-17823>
- De la Rosa-Belmonte, S.J., F. López-Carmen, J.E. Ramírez-Hernández, O.J. Sánchez-Núñez & R. Guerrero-Arenas. 2015. Consideraciones éticas en el manejo de animales en campo y laboratorio. *Ciencia y Mar*. 17(49):45-54.
- Delgadillo, I. & F. Góngora. 2009. Colecciones biológicas: estrategias didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la Biología. *Biografía*. 2(3): 148-157.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2007. Ley Federal de Sanidad Animal. Publicada 25 de julio de 2007. <https://mexico.justia.com/federales/leyes/ley-federal-de-sanidad-animal/gdoc/>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2021. Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Federación, publicada 3 julio 2000, reforma 20 mayo 2021. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2024a. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, publicada 28 enero 1988, reforma 1 abril 2024. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2024b. Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. Diario Oficial de la Federación, publicada 3 julio 2000, reforma 20 mayo 2024. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPAS.pdf>
- ESA (Ecological Society of America). 2021. Code of Ethics for the Ecological Society of America. 4 pp. (<https://www.esa.org/about/code-of-ethics/>)
- Fernández F. 2002. Filogenia y sistemática de los himenópteros con aguijón en la región neotropical (Hymenoptera: Vespomorpha). *Sociedad Entomológica Aragonesa, Monografías Tercer Milenio*. 2: 101-138.
- Furlan, A.L.D. & M.L. Fischer. 2020. Métodos alternativos ao uso de animais como recurso didático: Um novo paradigma bioético para o ensino da Zoologia. *Educação em Revista Belo Horizonte*. 36: e230590|2020
- Galindo-Leal, C. 1996. Explicit authorship. *Bulletin of the Ecological Society of America*. 77: 219-220.
- García, R.D., M. Villagrán, D.N. Wittner-Fernández & M.E. Kun. 2022. Colección biológica de insectos: de la recolección a la conservación. *Revista Producción Limpia*. 17: 187-200.
- ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors). 2024. Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals. 20 pp. <https://www.icmje.org/icmje-recommendations.pdf>
- Jiménez-Mejías, P., (+1560 autores). 2024. Protecting stable biological nomenclatural systems enables universal communication: A collective international appeal. *BioScience*. 74: 467-472. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae043>
- Jones, M., R. Hamede & H. McCallum. 2012. *The devil is in the detail: conservation biology, animal philosophies and the role of animal ethics committees*. Pp 79-88 En: Science under Siege: Zoology under Threat. Banks, P, Lunney, D & Dickman, C. (Eds), Royal Zoological Society of New South Wales, Mosman, NSW, Australia. DOI: 10.7882/FS.2012.040
- Kaiser, H., B.I. Crother, C.M.R. Kelly, L. Luiselli, M. O'Shea, H. Ota, P. Passos, W.D. Schleip, & W. Wüster. 2013. Best practices: In the 21st Century, taxonomic decisions in Herpetology are acceptable only when supported by a body of evidence and published via peer-review. *Herpetological Review*. 44(1): 8-23. <https://wlv.openrepository.com/bitstream/handle/2436/621767/Herpetological%20Review.pdf>
- Koepsell, D.R. & M.H. Ruiz de Chávez. 2015. Ética de la Investigación, Integridad Científica. Comisión Nacional de Bioética, México, 175 pp.

- Kottow, M. (Ed.) 2007. *Marcos Normativos en Ética de la Investigación Científica con Seres Vivos*. CONICYT, Santiago, 191 pp.
- Leopold, A. 1949. *A Sand County Almanac, and sketches here and there*. Oxford University Press, Nueva York, 228 pp.
- Leyton-Donoso, F. 2008. *Ética Ecológica y Bioética: Algunos Apuntes*. Universidad de Barcelona, Barcelona, 82 pp.
- Light, A. & H. Rolston. 2003. *Environmental Ethics: An anthology*. Blackwell Publishing, Oxford, 576 pp.
- Louv, R. 2005. *Last Child in the Woods: Saving our Children from Nature-Deficit Disorder*. Atlantic Books, Londres, 416 pp.
- Lunney, D. 1998. *The ethical zoologist*. Pp. 57-61. En: *Ethics. Money and Politics: Modern Dilemmas for Zoology*. Lunney, D. & Dawson, T. (Eds.). Transactions of the Royal Society of New South Wales ed by Daniel Lunney and Terry Dawson, Mosman, Australia.
- Márquez-Vargas, F. 2020. Hacia una fundamentación de la bioética ambiental desde la visión de Fritz Jahr, Aldo Leopold y Van Rensselaer Potter. *Revista Colombiana de Bioética*. 15(2): 1-26. <https://doi.org/10.18270/rcb.v15i2.3009>
- Marshall, S.A. & N.L. Evenhuis. 2015. New species without dead bodies: a case for photo-based descriptions, illustrated by a striking new species of *Marleyimyia* Hesse (Diptera, Bombyliidae) from South Africa. *ZooKeys*. 525: 117-127. doi: 10.3897/zookeys.525.6143
- Martín-López, B., C. Montes & J. Benayas. 2007. The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. *Biological Conservation*. 139: 67-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.06.005>
- McShane, K. 2009. Environmental Ethics: An overview. *Philosophy Compass*. 4: 407-420. <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2009.00206.x>
- Merritt, E. 1992. Conditions on outgoing research loans. *Collection Forum*. 8: 78-82.
- Morales-González, J.A., G. Nava-Chapa, J. Esquivel-Soto & L.E. Díaz-Pérez. 2011. *Principios de Ética, Bioética y Conocimiento del Hombre*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, 292 pp.
- Muñoz-García, C.I., E. Rendón-Franco, O. López-Díaz, R.A. Ruiz-Romero, N. Aréchiga-Ceballos, C. Villanueva-García, A.Z. Rodas-Martínez, C. Valle-Lira, C. Trillanes & O. Arellano-Aguilar. 2016. *Colección y conservación de muestras de fauna silvestre en condiciones de campo*. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, 196 pp.
- Nanglu, K., D. de Carle, T.M. Cullen, E.B. Anderson, S. Arif, R.A. Castañeda, L.M. Chang, R. Elji-Iwama, E. Fellin, R.C. Manglicmot, M.D. Massey & V. Astudillo-Clavijo. 2023. The nature of science: The fundamental role of natural history in ecology, evolution, conservation, and education. *Ecology and Evolution*. 13:e10621, 25 pp. <https://doi.org/10.1002/ece3.10621>
- Orozco, H. & J. Lamberto. 2022. La ética en la investigación científica: consideraciones desde el área educativa. *Perspectivas. Revista de Historia, Geografía, Arte y Cultura*. 10(19): 1-11.
- Osorio-García, S.N. & N.F. Roberto-Alba. 2023. Ética, ecología y ecosofía: perspectivas divergentes para refundamentar la bioética global. *Revista Latinoamericana de Bioética*. 23(1): 121-136. DOI: <https://doi.org/10.18359/rbi6392>
- Pabón de Urbina, J.M. 2000. *Diccionario manual griego clásico-español*. 18a ed. Vox, Barcelona, 711 pp.
- Poo, S. (+35 coaut). Bridging the research gap between live collections in zoos and preserved collections in Natural History Museums. *BioScience*. 72(5) 449-460. doi.org/10.1093/biosci/biac022
- Quesada-Rodríguez, F. 2024. Hacia una filosofía política de la crisis medioambiental y del cambio climático. *Revista de Filosofía, Universidad de Costa Rica*. 63(165): 39-59.
- Raikow, R.J. 1985. Museum collections, comparative anatomy and the study of phylogeny. *British Columbia Provincial Museum Occasional Papers*. 25: 113-121.
- Rolston, H. 1991. *Environmental ethics: values in and duties to the natural world*. Pp 73-96. En: Bormann, H., y Kellerts, R. (Eds.). *Ecology, Economics, Ethics: The broken Circle*. New Haven: Yale University Press. p. 73-96.
- Rozo-Castillo, J.A. & A.M. Pérez-Acosta. 2019. Ética e investigación científica: una perspectiva basada en el proceso de publicación. *Persona*. 22(1): 11-25.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2022. Trámites relacionados al tema de vida silvestre. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/tramites-relacionados-al-tema-de-vida-silvestre> acceso a versión electrónica 17/07/2024
- Simmons, J.E. & Y. Muñoz-Saba. 2005. *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 288 pp.
- Singer, P. 1985. *Liberación animal. Una ética nueva para nuestro trato hacia los animales*. Cuzamil, Ciudad de México, 423 pp.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. 2002. Experiencias en metodología, taxonomía y ética científica en la investigación en Biología. *Ludus Vitalis*. 10(18): 185-195.
- Swing, K., J. Denkinger, V. Carvajal, A. Encalada, X. Silva, L.A. Coloma, J.F. Guerra, F. Campos-Yáñez, V. Zak, P. Riera, J.F. Rivadeneira & H. Valdebenito. 2014. Las colecciones científicas: percepciones y verdades sobre su valor y necesidad. *Bitácora Académica Universidad San Francisco de Quito*. 1: 3-46 doi.org/10.18272/ba.v1i0.1083
- Weinbaum, C., E. Landree, M.S. Blumenthal, T. Piquado & C.I. Gutiérrez. 2019. *Ethics in Scientific Research: An Examination of Ethical Principles and Emerging Topics*. Rand Corporation, Santa Monica, 101 pp.



MICROBIOMAS:

LA INFLUENCIA INVISIBLE EN LA EVOLUCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS ORGANISMOS

✓ SANDRA E. RIVAS MORALES¹, GABRIEL RUIZ AYMA¹,
ALINA OLALLA KERSTUPP¹, MAYRA A. GÓMEZ GOVEA^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio
de Biología de la Conservación y Desarrollo
Sustentable.

*Correspondencia





Palabras clave: Microbioma; evolución; microbioma-hospedero; adaptación; conservación.

Key words: Microbiome; evolution; host-microbiome; adaptation; conservation.

RESUMEN

Los microorganismos se encuentran en casi todas las superficies terrestres y han influido en el desarrollo y evolución de los organismos pluricelulares gracias a complejas redes de interacción. Son capaces de modificar la expresión genética del hospedero, la disponibilidad de nutrientes, o facilitar la adaptación a condiciones extremas. La carga microbiana que se encuentra asociada a los huéspedes suele ser tan alta que nos obliga a cuestionar lo que significa ser un individuo realmente y reconsiderar nuestra forma de convivir con ellos en nuestro cuerpo. Para comprender la contribución de la microbiota a la evolución del hospedero, no solo es necesario observar la variación de la diversidad microbiana, igualmente debemos entender el lenguaje en el que las células interactúan. En la última década, los estudios que examinan el intercambio de metabolitos entre los microorganismos y sus hospederos se han incrementado exponencialmente. En el caso de la microbiota intestinal humana, se han propuesto diversas aplicaciones para la modulación del microbioma, como la suplementación de probióticos y prebióticos, terapias dirigidas (CRISPR-Cas), o incluso métodos radicales como los trasplantes de comunidades bacterianas completas. Lo novedoso de estas aplicaciones se ha extendido hasta el área de conservación de ecosistemas donde se intenta mejorar la supervivencia de los organismos a través del manejo de las comunidades microbianas, tanto intestinales como ambientales. Cabe resaltar que prevalecen importantes cuestiones por resolver en el estudio de los microbiomas y su aplicación, ya que la información genómica disponible públicamente es limitada, al igual que la habilidad para identificar las contribuciones de cada especie a la comunidad, y la comprensión de los procesos ecológicos involucrados. En este artículo abordaremos los efectos potenciales de la actividad microbiológica sobre la adaptación de los hospederos, además de revisar la importancia de los microbiomas para la conservación del medio ambiente.

ABSTRACT

Microorganisms are found on almost all terrestrial surfaces and have influenced the development and evolution of multicellular organisms thanks to complex interaction networks. They can modify the host's gene expression, alter nutrient availability in the environment, or facilitate adaptation to extreme diets. The microbial load within organisms is so high that it forces us to question what it truly means to be an individual and reconsider how we coexist with the guests in our bodies. To understand the contribution of the microbiota to host evolution, it's essential not only to observe variations in microbial diversity but also to comprehend the language in which cells interact. Over the last decade, studies examining metabolite exchange between the microbiome and its hosts have exponentially increased. Various ways to harness this communication have been proposed. For instance, in the case of the human gut microbiota, which has been linked to chronic diseases and postnatal development, novel approaches for modulating the microbiome include probiotic and prebiotic supplementation, targeted therapies like CRISPR-Cas, and even radical methods such as complete bacterial community transplants. These innovative applications have also extended to the area of ecosystems conservation where attempts are made to enhance organism survival through intestinal and environmental microbiome management. However, significant questions remain unresolved in microbiome research and application. Publicly available genomic information is limited, as is our ability to identify each species' contributions to the community and understand the ecological processes involved. In this article we will explore the effects of microbial activity over the host fitness and the relevance of microbiome conservation for sustainable development.



Figura 1. Representación de la diversidad microbiológica sobre las superficies del planeta. Ilustración realizada en la plataforma Clip Studio Paint v2.3.4 (CELSYS Inc., 2025).

INTRODUCCIÓN

Debido a la extensión cosmopolita y a su increíble capacidad metabólica, los microorganismos han influido en el desarrollo y evolución de la vida, modificando su entorno o extendiendo las capacidades adaptativas del hospedero (Hirt, 2020). Se estima que en la tierra existen más de 10 billones de especies de microorganismos como hongos, bacterias, arqueas, protistas y virus (Fig. 1) (Lennon y Locey, 2020), por lo que su taxonomía y ecología sigue despertando la fascinación de los investigadores.

Conforme se desarrollan los métodos masivos de análisis, como la metagenómica, se despierta el interés por enfoques más holísticos, que consideren las interacciones entre los microorganismos y su relación con el entorno como un todo, llamado “microbioma” (Tecon *et al.*, 2019). Esta perspectiva permite explorar la importancia de las interacciones en la adaptación de los microorganismos a cambios en el ambiente, o sobrevivir en ecosistemas para los que carecen de funciones metabólicas (Savaira *et al.*, 2021).

Mientras más información se obtiene de los microbiomas, más evidente es la conexión entre los microorganismos, la ecología y evolución de otros organismos. Un ejemplo de ello fue lo realizado en ratones por Liu y colaboradores, donde se encontró que los microbiomas del suelo del lugar de nacimiento influyen en el ensamble del microbioma intestinal. Esto

podría indicar que la adquisición de microbiota del entorno contribuye a la adaptación de los ratones a diferentes ecosistemas (Liu *et al.*, 2021).

Así mismo, la carga microbiana en el aparato digestivo humano nos obliga a plantearnos la pregunta de lo que significa realmente ser un individuo (Schneider y Winslow, 2014) y reconsiderar nuestra forma de convivir con el resto de los habitantes de nuestro cuerpo (Ironstone, 2019). Durante años hemos “combatido” la microbiota que nos habita y la que nos rodea, tratando de protegernos contra patógenos, cuando en realidad podríamos estar destruyendo el balance de nuestro ecosistema.

Desafortunadamente, las comunidades bacterianas se enfrentan a la constante descarga de contaminantes como pesticidas, fertilizantes, metales y otros residuos industriales, que terminan alterando su dinámica y comprometiendo las funciones ecosistémicas que sostienen (Samuel *et al.*, 2018; Hou *et al.*, 2020). Así mismo, desde el descubrimiento de cepas bacterianas resistentes a la penicilina en la década de los 40's, el interés en nuevos compuestos antimicrobianos y su uso indiscriminado, ha provocado una batalla contra la evolución acelerada de la resistencia antimicrobiana (Barathe *et al.*, 2024). En las últimas décadas, la detección de antibióticos en cuerpos de agua y en suelo, además de otros medicamentos (Martínez *et al.*, 2023), ha levantado las alarmas por la posible aparición de bacterias super resistentes que amenacen la salud

humana y la conservación del medio ambiente (Wang *et al.*, 2021).

Alterar la diversidad microbiana puede afectarnos en distintos niveles, desde la pérdida de funciones ecosistémicas, el aumento de la vulnerabilidad hacia enfermedades emergentes y la pérdida de valiosas aportaciones a la salud de humanos y animales, como se describe en la tabla 1.

INTERCONEXIÓN ENTRE EL MICROBIOMA, EL HOSPEDERO Y EL ENTORNO

Con frecuencia se encuentran patrones de asociación entre microorganismos con hospederos específicos. Sin embargo, aunque la diversidad de un microbioma varíe acorde al linaje evolutivo del hospedero, determinar la naturaleza de esa relación requiere un examen detenido de los siguientes aspectos: a) es necesario confirmar una asociación entre las variaciones fenotípicas del hospedero y la variación taxonómica o funcional del microbioma; b) el hospedero debería sustentar microbios adaptados localmente (Henry *et al.*, 2019); c) definir la unidad sobre la que actuarían las fuerzas evolutivas (Lewontin, 1970).

Respecto a la variación fenotípica del hospedero y su capacidad de sustentar microbios adaptados localmente, Gaulke *et al.* (2017) publicaron un estudio sobre la taxonomía del microbioma intestinal en distintos linajes de mamíferos. El trabajo reveló que

existían clados monofiléticos de bacterias que se conservaban en todos los linajes. Además, algunos clados bacterianos mostraban patrones filogenéticos que sugerían que podrían estar sujetos a selección por los hospederos.

Así mismo, se ha demostrado que el genoma de las plantas juega un papel importante en el ensamblaje de los microbiomas del suelo, particularmente en la zona de las raíces (Hartman *et al.*, 2023), ya que a través de ellas se mantiene un intercambio constante de nutrientes y señales moleculares (Havrilla *et al.*, 2020). Estas interacciones no solo permiten a la planta amortiguar los cambios en el entorno y protegerse contra patógenos, también favorecen a organismos fijadores de nitrógeno y otros nutrientes (Nevins *et al.*, 2022).

Debido a estas intrincadas relaciones, bajo ciertas circunstancias se puede considerar a los microorganismos y sus hospederos como una sola unidad de selección, a la cual se le llama holobioma u holobionte (Koskella & Bergelson, 2020). Este concepto implica que cada componente del holobionte está sometido a presiones selectivas, y que, a su vez, la suma de todas sus partes permite al holobioma sostener funciones de las que carecen los individuos (Wilson & Duncan, 2015).

Uno de los factores determinantes en la conformación del holobionte, es la “heredabilidad”, la heredabilidad de los microbios individuales o del microbioma completo puede resultar de la transmisión vertical

Tabla 1. Funciones en las que participa el microbioma abordadas desde el aspecto clínico y de bienestar animal.

Función	Clínico	Animales
Defensa contra patógenos	Algunas bacterias como <i>Staphylococcus epidermis</i> pueden acondicionar el sistema inmune para generar una mejor respuesta contra virus como la influenza (Gonzalez & Elena, 2021).	La introducción de algunas bacterias comensales (Bacterioidetes o Firmicutes) en la microbiota intestinal del pez cebra, pueden inducir cambios en los leucocitos y la expresión genética, lo cual puede proteger a los peces contra cáncer (Zhong <i>et al.</i> , 2022).
Promotores de crecimiento	Se ha detectado que la microbiota intestinal contribuye a la síntesis de nucleótidos y de vitamina B en niños, y por tanto se relaciona directamente al crecimiento y su velocidad (Robertson <i>et al.</i> , 2023).	Se ha reportado que existe una relación entre los taxones dominantes de la microbiota intestinal y la expresión de genes asociados al crecimiento celular en peces de agua dulce con diferentes dietas (Li <i>et al.</i> , 2023).
Ciclo de nutrientes	Las bacterias juegan un papel importante en la disponibilidad y absorción de micronutrientes como el hierro, el calcio, el selenio y el zinc (Bielik & Kolisek, 2021).	La microbiota del tracto intestinal en peces y crustáceos puede potenciar la digestión del hospedero por la liberación de enzimas digestivas y vitaminas (Diwan <i>et al.</i> , 2023).
Resistencia a estrés	El ácido indol acético es un metabolito del triptófano producido por bacterias que se está estudiando para regular los desórdenes de comportamiento relacionados al estrés crónico (Chen <i>et al.</i> , 2022).	Existe evidencia de que la introducción de bacterias benéficas como <i>Bifidobacterium infantis</i> en microbiota intestinal de ratón, puede reducir los niveles de la hormona adrenocorticotropa y corticosterona, relacionadas al estrés (Ch, Luo & Yan, 2021).
Indicadores	Cambios en la composición de las comunidades a nivel filo, están asociados a condiciones como la enfermedad inflamatoria de bowel (IBD), diabetes tipo 2, psoriasis, etc. (Manos, 2022).	Bajas abundancias de <i>Akkermansia muciniphila</i> y Parabacteroides se han asociado a mejor aprovechamiento del alimento en aves domésticas (Wen <i>et al.</i> , 2021).

de los padres a su descendencia, o de la genética específica del hospedero que “filtra” diferencialmente las comunidades microbianas. Por ejemplo, en las plantas se ha demostrado que algunos genes vegetales relacionados con la inmunidad, la integridad de la pared celular y el desarrollo, impactan en las asociaciones del rizobioma (Bergelson, Mittelstrass y Horton, 2019). Por tanto, la transmisión de esos genes en las plantas permite que los descendientes “seleccionen” microorganismos con características similares a las de los rizobios parentales (Deng *et al.*, 2021).

Cabe resaltar, que las interacciones del microbioma y el hospedero son influenciadas por múltiples factores, ya sea la salud del hospedero o las características abióticas y la composición de la comunidad microbiana del entorno. Además, estas interacciones no son estáticas, por lo que podríamos observar variaciones a lo largo del tiempo y el espacio, aumentando la complejidad del estudio de la evolución de los holobiontes.

COMUNICACIÓN INTERCELULAR HOSPEDERO-MICROBIOTA

Conocer la diversidad taxonómica del microbioma es un gran paso para desentrañar su relación con el hospedero, sin embargo, debemos entender el lenguaje en el que las células se comunican para comprender la historia completa (Sharpton, 2018). A nivel celular, la comunicación ocurre por señalización química e intercambio de metabolitos, lo que permite a los microorganismos como las bacterias, cooperar entre ellas para adaptarse a medios hostiles y colonizar nuevos entornos (Dominguez-Bello *et al.*, 2019).

Además, algunas de estas señales trascienden la barrera de los reinos, expandiendo el dialogo entre células eucariotas y procariotas (Fig. 2). Los mamíferos, por ejemplo, han desarrollado sofisticadas redes de receptores para detectar metabolitos, lo que les permite recibir y reaccionar a la abundante cantidad de moléculas bioactivas que se producen en los microbiomas. La interacción entre los metabolitos microbianos y las células del hospedero puede ocurrir a través de antígenos receptores o los receptores de reconocimiento de patrones, los cuales corresponden a la inmunidad adaptativa e innata respectivamente. Sin embargo, existe una categoría más, que corresponde a los quimiorreceptores, como los receptores de proteína G acoplada, receptores nucleares y el receptor de hidrocarburos de arilo (AhR por sus siglas en inglés) (Graham & Xavier, 2023). El AhR se encuentra en las células inmunitarias, y es activado al unirse a los metabolitos de ciertas bacterias intestinales. La unión de este receptor a los ligandos producidos por *Lactobacillus sp.* y otras bacterias comensales, activa las células inmunológicas que evitan la colonización de patógenos como *Candida albicans* (Wang *et al.*, 2023).

Descifrar todas las señales que se intercambian entre el microbioma y su hospedero, e incluso dentro del mismo microbioma, depende de la identificación y caracterización de los compuestos que participan en estas señalizaciones. En este sentido, las anotaciones metagenómicas y la secuenciación masiva de genes han ofrecido grandes ventajas, aunque en comparación con un genoma típico de mamífero que puede contener alrededor de 10,000 genes, el genoma microbiano intestinal puede sobrepasar los dos millones de genes (Xiao *et al.*, 2015).

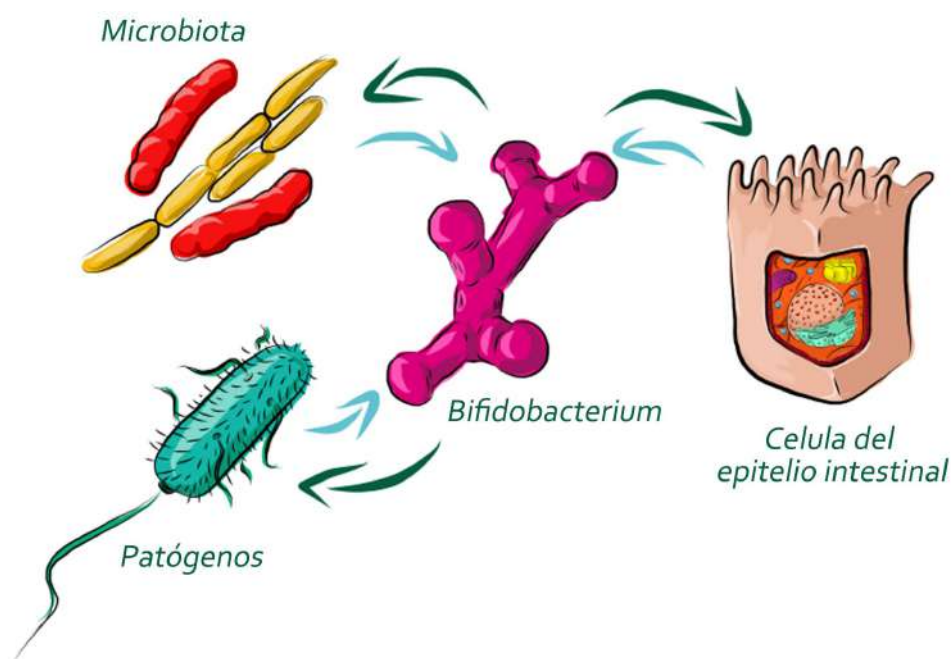


Figura 2. Interacciones putativas de los miembros del microbioma en un hospedero. Ilustración realizada en la plataforma Clip Studio Paint v2.3.4 (CELSYS Inc., 2025).

A la par de la anotación metagenómica, las herramientas bioinformáticas han permitido asociar los genes a rutas metabólicas, lo cual ha servido para predecir la capacidad funcional de las comunidades microbianas y su contribución en el ecosistema (Nayfach *et al.*, 2015). Por tanto, conocer el perfil funcional de una comunidad podría aclarar algunos aspectos de la relación entre microbiomas, hospederos, y su adaptación al entorno.

MICROBIOMA INTESTINAL Y EL DESARROLLO DEL HOSPEDERO

La microbiota intestinal ha sido la piedra angular en investigaciones que la vinculan a distintos aspectos de la salud del hospedero, como el desarrollo óseo post-natal (Hernandez & Moeller, 2022), enfermedades crónicas (Lin y Medeiros, 2023), padecimientos psicológicos (Simpson *et al.*, 2021), hasta el desarrollo cognitivo y el comportamiento (Davidson, Raulo & Knowels, 2020).

De este último, se ha considerado que la composición de la microbiota intestinal podría influir en la selección de dieta del hospedero, variando de acuerdo con el metabolismo del triptófano de las bacterias y la morfología del intestino (Trevelline & Kohl, 2022). Así mismo, se descubrió que la abundancia de microorganismos puede cambiar según la dieta de los hospederos, por ejemplo, una dieta basada en productos animales puede aumentar la abundancia de microbios tolerantes a la bilis (David *et al.*, 2014).

Moeller y Sanders (2020) proponen tres formas en las que la microbiota intestinal ha participado en la evolución de los mamíferos. En primer lugar, se sugiere que al facilitar las transiciones de dieta hacia fuentes de alimento anteriormente tóxicas o difíciles de digerir, la microbiota promovió la diversificación de las especies. Por otro lado, la comunidad microbiana intestinal contribuyó a la plasticidad fenotípica del desarrollo post-natal a través de la amplificación de señales del entorno. Además, contar con microbiomas especializados adaptados al entorno representó una ventaja que impulsó el desarrollo de mecanismos de selección por parte del hospedero, como las respuestas inmunes innatas y adaptativas.

Quizá el ejemplo mejor estudiado del ensamblaje de los microbiomas intestinales, y de cómo afectan el desarrollo de un individuo, es el de los humanos. Las crías humanas reciben su primera exposición a comunidades complejas de microbiota durante el parto (Dominquez-Bello *et al.*, 2019). En las primeras 6 semanas posteriores al nacimiento del infante, la composición de las comunidades microbianas se vuelve sitio específica para la piel, fosas nasales, cavidades

orales y excretas (Chu *et al.*, 2017). Posteriormente, durante los primeros 1000 días de la infancia, la microbiota intestinal interactúa con el metabolismo de las hormonas de crecimiento, lo que afecta el crecimiento y el desarrollo neuronal (Mady *et al.*, 2023; Robertson *et al.*, 2019). Además algunos autores hablan de cómo las disrupciones en las comunidades microbianas pueden generar alergias, enfermedades autoinmunes, obesidad y diabetes (Fujisaka, Watanabe & Tobe, 2023).

A pesar de la evidencia acumulada de la participación de los microbiomas en las diversas etapas del desarrollo y la salud de los hospederos, aún prevalecen dudas importantes sobre los factores que influyen la expresión genética y la adaptación de la comunidad microbiana. Podría tratarse de la composición y dinámica de la comunidad completa, o bien la acción de ciertos taxones en particular (Grieneisen, Muehlbauer y Blekhan, 2020).

INGENIERÍA DE MICROBIOMAS EN LA CONSERVACIÓN

La investigación sobre la influencia del microbioma en la evolución del hospedero también tiene implicaciones para la biología de la conservación. Tan solo en la última década se han incrementado exponencialmente los estudios sobre la relevancia del microbioma en la adaptación de los organismos, especialmente durante las reintroducciones de fauna en cautiverio (Zhu, Wang & Bahrndorff, 2021).

Se han encontrado diferencias interesantes en las rutas metabólicas activas en los microbiomas de animales en vida salvaje, comparadas con los organismos criados en cautiverio (Ning, *et al.*, 2020). Estos hallazgos han reforzado la sugerencia de incluir un periodo de adaptación a la dieta previo a la liberación de organismos en cautiverio (Yang *et al.*, 2020).

Por otro lado, al facilitarse la identificación de los componentes del microbioma y su función, se ha despertado gran entusiasmo por intervenir las relaciones entre microorganismos para aprovechar sus funciones ecológicas (Saraiva *et al.*, 2021). En este sentido, el área de la medicina ha contribuido en gran medida al conocimiento sobre los microbiomas y su intervención con fines terapéuticos. Comenzando por identificar la relación entre las disbiosis microbianas y los padecimientos gastrointestinales en diferentes animales en cautiverio.

Las disbiosis microbianas, se refieren a la disminución de la estabilidad de la comunidad, ya sea por la presencia-ausencia de ciertos taxones o por el cambio de sus abundancias, lo cual puede abrir oportunidades para la colonización de patógenos y dificultar la absorción de nutrientes (Zaneveld, McMinds & Vega, 2017). Estas

disbiosis pueden ocurrir por diversas razones como el estrés, el cambio en la dieta, cambios en las condiciones ambientales o infecciones.

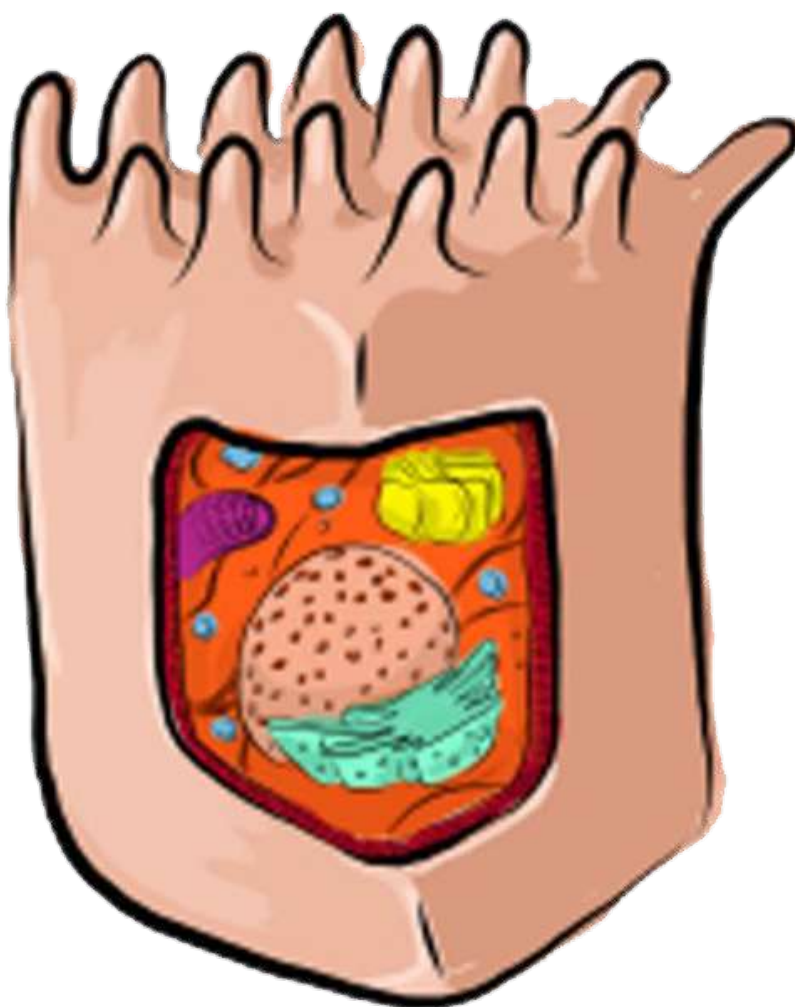
Para reestablecer el balance del microbioma, los antibióticos han sido la primera opción por décadas, siendo particularmente cierto en animales de consumo. Por desgracia, el uso indiscriminado de antibióticos ha elevado la aparición de los patógenos super resistentes, convirtiéndose en un problema que no se limita al ganado, sino que se ha extendido hacia los animales silvestres y los humanos (Lee *et al.*, 2022).

En búsqueda de nuevas alternativas para la modulación del microbioma en animales, se han explorado estrategias como la suplementación de probióticos y prebióticos, terapias dirigidas como el CRISPR-Cas, o incluso métodos radicales como los trasplantes completos de comunidades bacterianas (Jin *et al.*, 2019).

A pesar de los grandes avances en los diferentes campos del estudio de los microbiomas, aún prevalecen importantes cuestiones por resolver, ya que explorar las interacciones microbianas se limita por la información genómica disponible, la comprensión de los procesos ecológicos involucrados y la habilidad para identificar las contribuciones de cada especie al funcionamiento del ecosistema. Debido a ello, se hace un llamado a la colaboración para promover y apoyar la caracterización de los microbiomas y el desarrollo de nuevas herramientas de análisis y métodos de muestreo no invasivos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), mediante el proyecto CBF2023-2024-2946.

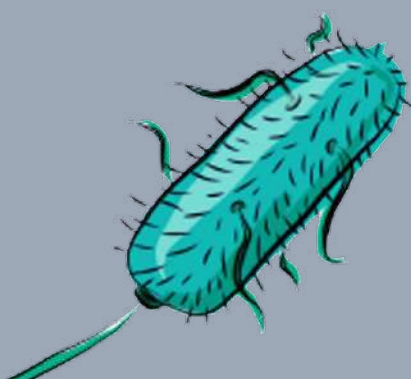


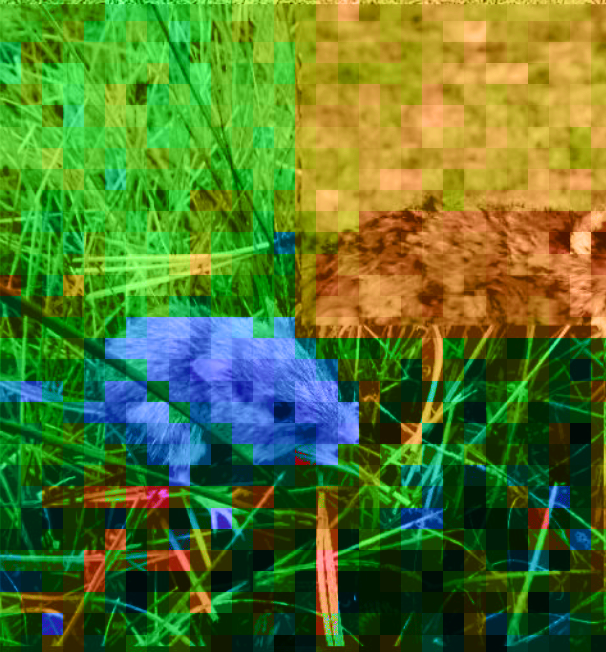


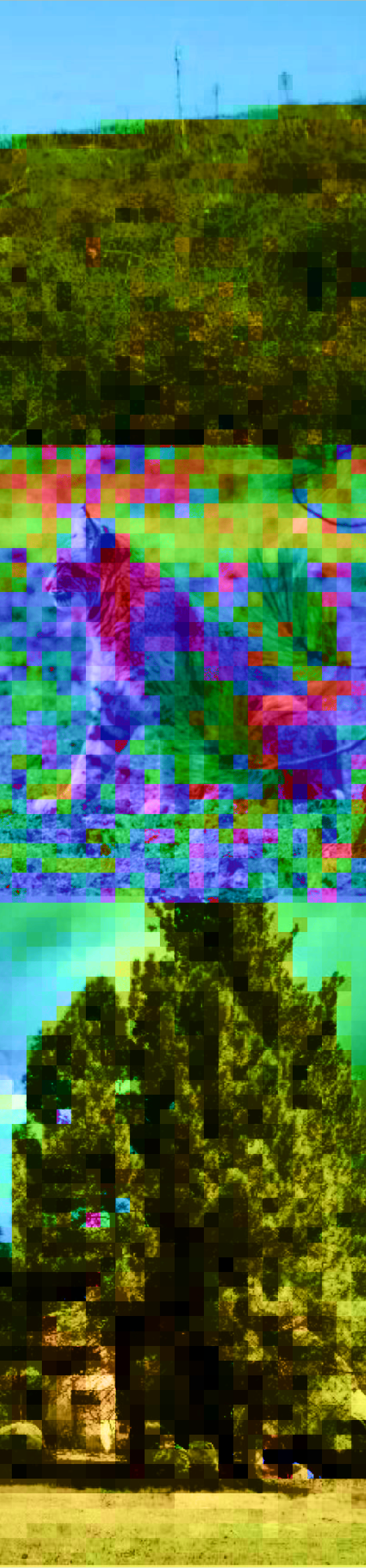
- Barathe, P., Kaur, K., Reddy, S., Shriram, V., & Kumar, V. (2024). Antibiotic pollution and associated antimicrobial resistance in the environment. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 100105. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2024.100105>
- Belkaid, Y., & Hand, T. (2014). Role of the microbiota in immunity and inflammation. *Cell*, 157, 121–141. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.011>
- Bergelson, J., Mittelstrass, J., & Horton, M. W. (2019). Characterizing both bacteria and fungi improves understanding of the *Arabidopsis* root microbiome. *Scientific Reports*, 9(1), 24. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37208-z>
- Bielik, V., & Kolisek, M. (2021). Bioaccessibility and bioavailability of minerals in relation to a healthy gut microbiome. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 6803. <https://doi.org/10.3390/ijms22136803>
- CELSYS, Inc. (2025). *CLIP STUDIO PAINT (versión 2.3.4)* [Software]. <https://www.clipstudio.net/>
- Chen, S., Luo, S., & Yan, C. (2021). Gut microbiota implications for health and welfare in farm animals: A review. *Animals*, 12(1), 93. <https://doi.org/10.3390/ani12010093>
- Chen, Y., Tian, P., Wang, Z., Pan, R., Shang, K., Wang, G., ... & Chen, W. (2022). Indole acetic acid exerts anti-depressive effects on an animal model of chronic mild stress. *Nutrients*, 14(23), 5019. <https://doi.org/10.3390/nu14235019>
- Chu, D. M., et al. (2017). Maturation of the infant microbiome community structure and function across multiple body sites and in relation to mode of delivery. *Nature Medicine*, 23(3), 314–326. <https://doi.org/10.1038/nm.4272>
- David, L. A., Maurice, C. F., Carmody, R. N., Gootenberg, D. B., Button, J. E., Wolfe, B. E., ... & Turnbaugh, P. J. (2014). Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome. *Nature*, 505(7484), 559–563.
- Davidson, G. L., Raulo, A., & Knowles, S. C. (2020). Identifying microbiome-mediated behaviour in wild vertebrates. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(11), 972–980. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.06.014>
- Deng, S., Caddell, D. F., Xu, G., Dahlen, L., Washington, L., Yang, J., & Coleman-Derr, D. (2021). Genome wide association study reveals plant loci controlling heritability of the rhizosphere microbiome. *The ISME Journal*, 15(11), 3181–3194. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-00993-z>
- Diwan, A. D., Harke, S. N., & Panche, A. N. (2023). Host-microbiome interaction in fish and shellfish: An overview. *Fish and Shellfish Immunology Reports*, 4, 100091. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2023.100091>
- Dominguez-Bello, M. G., Godoy-Vitorino, F., Knight, R., & Blaser, M. J. (2019). Role of the microbiome in human development. *Gut*, 68(6), 1108–1114. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2018-317503>
- Fujisaka, S., Watanabe, Y., & Tobe, K. (2023). The gut microbiome: a core regulator of metabolism. *Journal of Endocrinology*, 256(3). <https://doi.org/10.1530/JOE-22-0111>
- Gaulke, C. A., Arnold, H. K., Kembel, S. W., O'Dwyer, J. P., & Shapton, T. J. (2017). Ecophylogenetics reveals the evolutionary associations between mammals and their gut microbiota. *bioRxiv*, 182212. <https://doi.org/10.1101/182212>
- González, R., & Elena, S. F. (2021). The interplay between the host microbiome and pathogenic viral infections. *MBio*, 12(6), e02496–21. <https://doi.org/10.1128/mBio.02496-21>
- Graham, D. B., & Xavier, R. J. (2023). Conditioning of the immune system by the microbiome. *Trends in Immunology*, 44(7), 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.it.2023.05.002>
- Grieneisen, L., Muehlbauer, A. L., & Blekhan, R. (2020). Microbial control of host gene regulation and the evolution of host-microbiome interactions in primates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1808), 20190598. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0598>
- Hartman, K., et al. (2023). A symbiotic footprint in the plant root microbiome. *Environmental Microbiome*, 18(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s40793-023-00521-w>
- Havrilla, C., Leslie, A. D., Di Biase, J. L., & Barger, N. N. (2020). Biocrusts are associated with increased plant biomass and nutrition at seedling stage independently of root-associated fungal colonization. *Plant and Soil*, 446, 331–342. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04306-4>
- Henry, L. P., Bruijning, M., Forsberg, S. K., & Ayroles, J. F. (2019). Can the microbiome influence host evolutionary trajectories? *bioRxiv*, 700237. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/700237v1.abstract>
- Hernandez, C. J., & Moeller, A. H. (2022). The microbiome: A heritable contributor to bone morphology? *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 123, 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2022.03.008>
- Hirt, H. (2020). Healthy soils for healthy plants for healthy humans: How beneficial microbes in the soil, food and gut are interconnected and how agriculture can contribute to human health. *EMBO Reports*, 21(8), e51069. <https://doi.org/10.15252/embr.202051069>
- Hou, D., et al. (2020). Simultaneous removal of iron and manganese from acid mine drainage by acclimated bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 396, 122631.
- Ironstone, P. (2019). Me, myself, and the multitude: Microbiopolitics of the human microbiome. *European Journal of Social Theory*, 22(3), 325–341. <https://doi.org/10.1177/1368431018811330>
- Jin Song, S., et al. (2019). Engineering the microbiome for animal health and conservation. *Experimental Biology and Medicine*, 244(6), 494–504. <https://doi.org/10.1177/1535370219830075>
- Koskella, B., & Bergelson, J. (2020). The study of host-microbiome (co) evolution across levels of selection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1808), 20190604. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0604>
- Lee, S., et al. (2022). Transmission of antibiotic resistance at the wildlife-livestock interface. *Communications Biology*, 5(1), 585. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03520-8>
- Lennon, J. T., & Locey, K. J. (2020). More support for Earth's massive microbiome. *Biology Direct*, 15(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s13062-020-00261-8>
- Lewontin, R. C. (1970). The units of selection. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1(1), 1–18.
- Li, W., et al. (2023). Successional changes of microbial communities and host-microbiota interactions contribute to dietary adaptation in allopolyploid hybrid fish. *Microbial Ecology*, 85(4), 1190–1201. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-01993-y>
- Lin, D., & Medeiros, D. M. (2023). The microbiome as a major function of the gastrointestinal tract and its implication in micronutrient metabolism and chronic diseases. *Nutrition Research*. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2023.02.007>



- Liu, W., et al. (2021). Exposure to soil environments during earlier life stages is distinguishable in the gut microbiome of adult mice. *Gut Microbes*, 13(1), 1830699. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1830699>
- Lloréns-Rico, V., et al. (2021). Bacterial antisense RNAs are mainly the product of transcriptional noise. *Science Advances*, 7(14), eabc1306. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc1306>
- Macia, L., et al. (2019). Metabolite-sensing G protein-coupled receptors—facilitators of diet-related immune regulation. *Annual Review of Immunology*, 37, 371–400. <https://doi.org/10.1146/annurev-immunol-042718-041313>
- Maghini, D. G., et al. (2021). The gut microbiome modulates antibiotic resistance gene reservoir and homeostasis in the respiratory tract. *Cell Host & Microbe*, 29(4), 555–567.e5. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2021.02.002>
- Malmuthuge, N., & Guan, L. L. (2017). Understanding the gut microbiome of dairy calves: Opportunities to improve early-life gut health. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5996–6005. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12239>
- Martínez-Porchas, M., & Vargas-Albores, F. (2017). Microbial metagenomics in aquaculture: A potential tool for a deeper insight into the activity. *Reviews in Aquaculture*, 9(1), 42–56. <https://doi.org/10.1111/raq.12098>
- Meyer, K. M., et al. (2018). Microbiome definition re-visited: Old concepts and new challenges. *Microbiome*, 6(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0605-0>
- Mills, R. H., et al. (2018). Microbiota–host relationships in the pathogenesis and treatment of inflammatory bowel disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 34(4), 246–252. <https://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000441>
- Moya, A., & Ferrer, M. (2016). Functional redundancy-induced stability of gut microbiota subjected to disturbance. *Trends in Microbiology*, 24(5), 402–413. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.02.002>
- Mueller, U. G., & Sachs, J. L. (2015). Engineering microbiomes to improve plant and animal health. *Trends in Microbiology*, 23(10), 606–617. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2015.07.009>
- Nugent, S. G., et al. (2001). Intestinal luminal pH in inflammatory bowel disease: Possible determinants and implications for therapy with aminosalicylates and other drugs. *Gut*, 48(4), 571–577. <https://doi.org/10.1136/gut.48.4.571>
- Paredes-Sabja, D., et al. (2021). The impact of antibiotics on the human gut microbiome and the rise of antimicrobial resistance: The role of probiotics in reducing damage. *Nutrients*, 13(10), 3445. <https://doi.org/10.3390/nu13103445>
- Rosenberg, E., & Zilber-Rosenberg, I. (2016). Microbes drive evolution of animals and plants: the hologenome concept. *MBio*, 7(2), e01395–15. <https://doi.org/10.1128/mBio.01395-15>
- Round, J. L., & Mazmanian, S. K. (2009). The gut microbiota shapes intestinal immune responses during health and disease. *Nature Reviews Immunology*, 9, 313–323. <https://doi.org/10.1038/nri2515>
- Schneider, J. G., et al. (2022). Gut microbiome and obesity: From pathogenesis to therapy. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 129, 155173. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2022.155173>
- Sekirov, I., et al. (2010). Gut microbiota in health and disease. *Physiological Reviews*, 90(3), 859–904. <https://doi.org/10.1152/physrev.00045.2009>
- Shade, A., & Handelsman, J. (2012). Beyond the Venn diagram: The hunt for a core microbiome. *Environmental Microbiology*, 14(1), 4–12. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02585.x>
- Smits, S. A., et al. (2017). Seasonal cycling in the gut microbiome of the Hadza hunter-gatherers of Tanzania. *Science*, 357(6353), 802–806. <https://doi.org/10.1126/science.aan4834>
- Sonnenburg, J. L., & Bäckhed, F. (2016). Diet–microbiota interactions as moderators of human metabolism. *Nature*, 535(7610), 56–64. <https://doi.org/10.1038/nature18846>
- Turnbaugh, P. J., et al. (2006). An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature*, 444(7122), 1027–1031. <https://doi.org/10.1038/nature05414>
- Turnbaugh, P. J., et al. (2007). The human microbiome project. *Nature*, 449(7164), 804–810. <https://doi.org/10.1038/nature06244>
- Van Nood, E., et al. (2013). Duodenal infusion of donor feces for recurrent *Clostridium difficile*. *New England Journal of Medicine*, 368(5), 407–415. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1205037>
- Walter, J., & Ley, R. (2011). The human gut microbiome: Ecology and recent evolutionary changes. *Annual Review of Microbiology*, 65, 411–429. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-090110-102830>
- Zhang, J., et al. (2019). Impact of microbiota on central nervous system and neurological diseases: The gut–brain axis. *Journal of Neuroinflammation*, 16(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12974-019-1408-6>
- Zhou, X., et al. (2020). The cumulative antibiotic resistance and pollution of soil microbiota in different land uses. *Science of the Total Environment*, 712, 136492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136492>







MAMÍFEROS ICÓNICOS DE LA SIERRA SAN PEDRO MÁRTIR, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO: UNA ISLA DE MONTAÑA

✎ GORGONIO RUIZ-CAMPOS^{1*}, GONZALO DE LEÓN-GIRÓN¹, ALDO ANTONIO GUEVARA-CARRIZALES¹, EMMA FLORES-ROJAS¹, EDUARDO PRIETO-VALLES¹, ALEJANDRA ARGUELLES-CORRADO¹, DULCE MARÍA GONZÁLEZ-DE LA BARRERA¹, SAYURI MARTÍNEZ-RANGEL¹, Y ELÍAS ZAVALA-ORTIZ²

RESUMEN

Se ofrece una sinopsis de 18 especies de mamíferos representativas de la Sierra San Pedro Mártir, una isla de montaña en el noroeste de la península de Baja California, México. La sinopsis incluye para cada especie sus características morfológicas distintivas, estatus biogeográfico, distribución altitudinal por piso de vegetación, actividad diaria, composición de la dieta, estatus de conservación poblacional, entre otros.

ABSTRACT

A synopsis is provided of 18 representative species of mammals from the Sierra San Pedro Mártir, a mountain island in the northwest of the Baja California Peninsula, Mexico. The synopsis includes for each species its distinctive morphological characteristics, biogeographic status, altitudinal distribution by vegetation belt, daily activity, diet composition, population conservation status, among others.

¹Laboratorio de Vertebrados, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana Km 103 s/n, Ensenada, Baja California, 22860, México.

²Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, Carretera Díaz Ordaz al Observatorio km 82, Ejido México, Ensenada, Baja California, 22795, México.

*Correspondencia: gruiuz@uabc.edu.mx



Palabras clave: Mamíferos, isla de montaña, endemismos, pisos de vegetación, Baja California.

Key words: Mammals, mountain island, endemism, vegetation belts, Baja California.

INTRODUCCIÓN

En México existen 564 especies de mamíferos silvestres que lo ubican como el tercer país con mayor riqueza a nivel mundial después de Indonesia y Brasil, representando el 10% de la diversidad global de este grupo de vertebrados (Ceballos y Brown, 1995; Sánchez-Cordero et al., 2014). La descripción de las especies en nuestro país no ha sido homogénea a lo largo del tiempo y tuvo un mayor auge desde mediados de 1700 hasta 1950.

Las especies de mamíferos conocidas en México se reparten en 13 órdenes, 46 familias y 202 géneros, de las cuales 169 son endémicas (Ceballos y Arroyo-Cabral, 2012), con un mayor endemismo en el centro del país, además del estado de Chiapas y las costas oriental y occidental, mientras que las zonas con menos registros son las penínsulas de Baja California y Yucatán (Escalante et al., 2002).

El estado de Baja California tiene una riqueza de mamíferos representada por un total de 113 especies, de las cuales 18 son voladoras, 28 acuáticas marinas y 67 terrestres (Ramírez-Pulido et al., 2005). Esta riqueza mastofaunística en Baja California ha sido referida por diversos autores (Allen, 1893; Nelson y Goldman, 1909; Huey, 1964; Mellink, 1991; Mellink y Luévano, 1999; Álvarez-Castañeda y Patton, 1999, 2000; Martínez-Gallardo 2011; Guevara-Carrizales et al., 2016a); sin embargo, aún son escasos trabajos actuales de amplia cobertura geográfica sobre los mamíferos de esta región peninsular.

En el caso particular de la Sierra de San Pedro Mártir (SSPM) y sus adyacencias, en la parte centro norte del estado de Baja California, se conocen alrededor de 57 especies (cf. Guevara-Carrizales et al., 2016; Ruiz-Campos et al., 2018). Esta sierra es considerada una isla de montaña (*sky island*) de acuerdo con el concepto de Marshall (1957), el cual hace referencia a aquellos biotopos de montaña por arriba de los 2,000 metros de elevación que poseen vegetación de coníferas o encinos (Warshall, 1995). Es por ello por lo que la isla de montaña de SSPM, como analogía a una isla rodeada por el mar, está rodeada por diferentes pisos de vegetación y climas que actúan como barreras naturales para la dispersión de la biota, y como escenarios que promueven procesos de especiación y endemismo autóctono.

Uno de los grupos de vertebrados donde se manifiesta el concepto de isla de montaña en la SSPM es el mastozoológico, el cual está representado por alrededor de 57 especies registradas (Allen, 1893; Huey, 1964; Mellink, 1991; Ruiz-Campos, 1993, 2017; Guevara-Carrizales et al., 2016a), destacando ocho formas

endémicas como el topo *Scapanus anthonyi*, la ardilla *Tamiasciurus mearnsi*, el chichimoco *Neotamias obscurus obscurus*, los ratones *Microtus californicus hyperuthrus*, *Chaetodipus californicus mesopolius*, y *Peromyscus truei martinensis*, el murciélago *Myotis evotis milleri*, y la tuza *Thomomys bottae martirensis* (Ruiz-Campos, 1993, 2017; Minnich et al., 1997; Bojórquez-Tapia et al., 2004; CONANP, 2006, Guevara-Carrizales et al., 2016b).

ÁREA DE ESTUDIO

La península de Baja California con alrededor de 1,300 km de longitud y un ancho promedio de 120 km es una de las más extensas a nivel mundial, abarcando un intervalo de casi 10 grados de latitud norte, donde se presenta una fisiografía y geomorfología variada tanto en latitud como en altitud que se manifiesta en una diversidad de pisos bioclimáticos, pasando por ambientes de clima mediterráneo en la parte noroeste, bosques de coníferas en la norte-central, desiertos micrófilos en el noreste, matorral sarcocaul y selva baja caducifolia en el extremo sureste (Peinado et al., 1994; Garcillán et al., 2010).

Una de las regiones de la península que destaca por su clima mediterráneo, único en México, es la provincia Californiana y sus distritos o sectores San Dieguense y Martirenses, con un alto grado de endemismos de flora y fauna (Bancroft, 1926; Álvarez-Castañeda y Patton, 1999, 2000; Mellink, 2002; Riemman y Ezcurra, 2005; Ramírez-Acosta, 2012; Ruiz-Campos et al., 2018). También representa el límite de distribución conocido de varios taxones y posee el mayor número de subespecies de mamíferos endémicos por área de distribución en el país (Ríos y Álvarez-Castañeda, 2002).

La SSPM ubicada en la parte norte-centro del Estado de Baja California (Figura 1) posee cinco pisos de vegetación a través de un gradiente altitudinal (Peinado et al., 1994; Delgadillo, 2018) que ofrece una diversidad de condiciones ambientales y hábitats para las especies de mamíferos (Figura 2). Estos pisos se inician con el matorral costero que va desde las inmediaciones de la costa hasta los 500-700 m de altitud y es conocido como piso *inframediterráneo* (Figura 3-A), seguido por el chaparral montano llamado *termomediterráneo* que se extiende hasta los 1,300-1,500 m (Figura 3-B), después el bosque de coníferas heliófilas o *mesomediterráneo* entre los 1,500 y 2,000 m (Figura 3-C), continuando con el bosque de coníferas grandes o *supramediterráneo* (2,000 a 3,000 m; Figura 3-D), y finalmente, en la parte oriental y bastante escarpada de esta sierra, con dirección hacia el Golfo de California, se ubica el piso *mesotropical* o de vegetación xerófila (Figura 3-E).

Dentro del corazón de la Sierra de San Pedro Mártir se ubica El Parque Nacional Sierra San Pedro Mártir (PNSSPM, Figura 1), mismo que fue decretado primeramente como reserva forestal en 1923, posteriormente como parque nacional en 1947 y finalmente como reserva forestal nacional en 1951. En 2003 se firmó un convenio entre Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

(CONANP) y el gobierno del Estado de Baja California para la transferencia de acciones de manejo y conservación de esa zona (CONANP, 2006).

En este documento se ofrece información biológica, ecológica y estatus de conservación para las especies y subespecies de mamíferos más icónicos o representativas de los diferentes pisos de vegetación presentes en la SSPM.

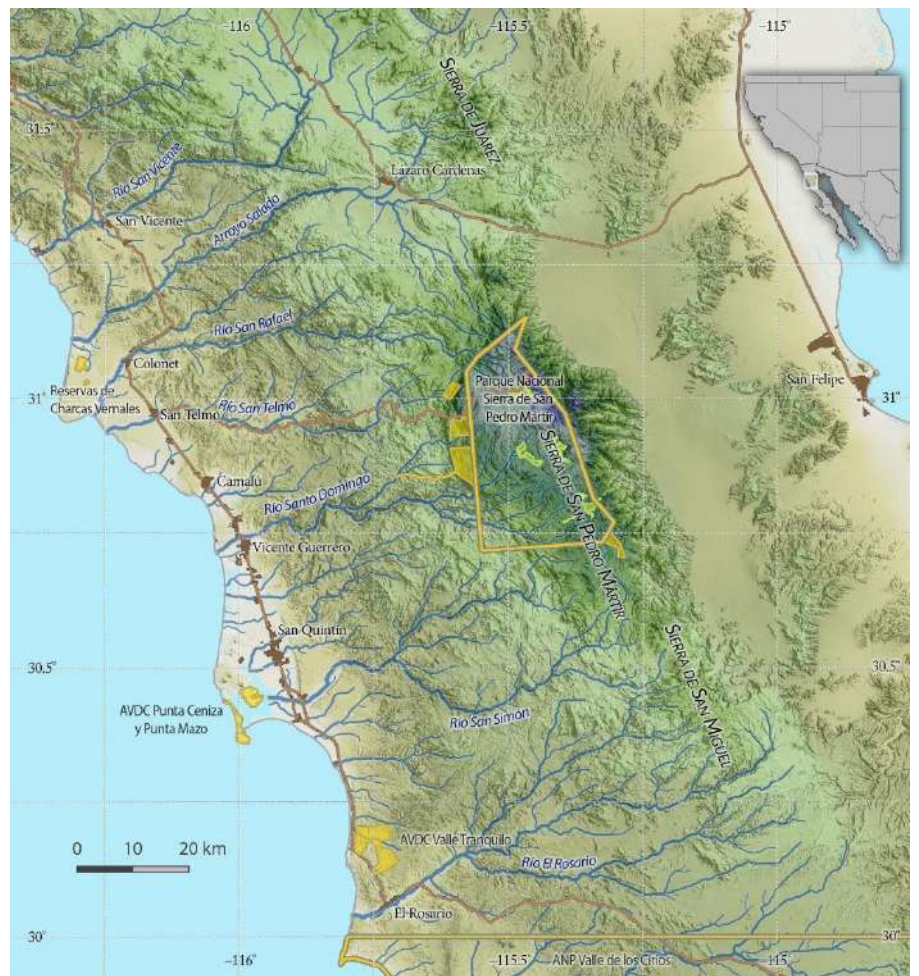


Figura 1. Ubicación de la Sierra de San Pedro Mártir y el polígono del Parque Nacional del mismo nombre, en el Estado de Baja California, México (Fuente: Harper et al., 2021).

Figura 2. Pisos bioclimáticos de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México, a través de un gradiente altitudinal denotando la isla de montaña que representa el piso supramediterráneo de afinidad boreal neártico (Fuente: Peinado et al, 1994; Delgadillo, 2018).

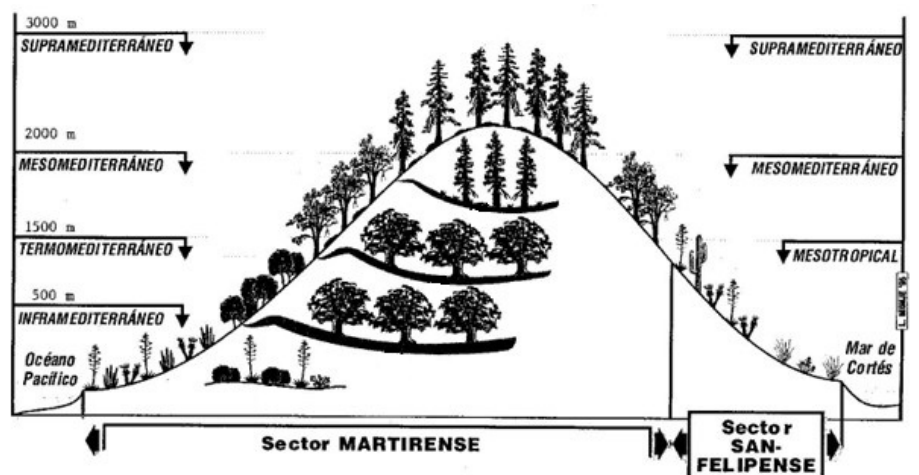




Figura 3. Asociaciones vegetales en los diferentes pisos bioclimáticos de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California. (A) inframediterráneo, (B) termomediterráneo, (C) mesomediterráneo, (D) supramediterráneo, y (E) mesotropical. Fotografías A-C y E José Delgadillo-Rodríguez, y D Gorgonio Ruiz-Campos.

SINOPSIS DE ESPECIES

ORDEN LAGOMORPHA

FAMILIA LEPORIDAE



Figura 4. Liebre cola negra *Lepus californicus martirensis* Stowell, 1895. Fotografía Gorgonio Ruiz-Campos.

Esta subespecie de lepórido (*Lepus californicus martirensis*) fue descrita a partir de ejemplares recolectados en el paraje La Grulla del piso supra mediterráneo de la Sierra San Pedro Mártir. El tamaño varía entre las subespecies reconocidas entre 523 y 606 mm de longitud total (Best, 1996). La especie se distingue por sus orejas largas con puntas negras, cola mayormente negra en la parte interna continuando con una raya en la parte de la espalda. Se distribuye en todos los pisos de vegetación de la SSPM, con una actividad predominante entre las 17:00 y 06:00 h. Activa principalmente en la noche, alimentándose básicamente de pastos (*Atriplex*, *Sporobolus*), arbustos y cultivos agrícolas. Es presa de varios depredadores que habitan en la sierra como el coyote, gato montés, zorra gris, aguililla cola roja, y águila real. Su estado de conservación poblacional es estable.

La subespecie de conejo *Sylvilagus audubonii sanctidiegi* que concurre en la SSPM es compartida con el sur de California, EUA (Chapman y Willner, 1978). Como especie se caracteriza porque la longitud de sus orejas es mayor que aquella de la cabeza, y con poco pelo entre las mismas. Los bigotes son en su mayoría negros. Cola de color gris oscuro arriba con base de pelos negros y una franja ancha de color gris blancuzca en la parte ventral. Ampliamente distribuido en el oeste de México, desde los bosques de coníferas hasta matorral costero. Presente en todos los pisos de vegetación en la SSPM, siendo más abundante en los pisos infra y termo mediterráneo. Más activo al amanecer y en el crepúsculo. La dieta consiste en pastos, juncias, malvas, entre otras plantas. Sus depredadores principales en el área son coyote, gato montés, zorrillo rayado, zorra gris, mapache, aguililla cola roja y águila real, entre otros. Su estatus de conservación poblacional es estable.



Figura 5. Conejo del desierto *Sylvilagus audubonii sanctidiegi* (Miller, 1899). Fotografía Gorgonio Ruiz-Campos.

ORDEN EULIPOTYPHLA

FAMILIA TALPIDAE

Este topo endémico de la SSPM (Figura 6) es el más pequeño del género, se distingue por su coloración dorsal negra, cola corta y las extremidades anteriores tan anchas como largas. Habita exclusivamente en el piso bioclimático supramediterráneo en praderas de *Astragalus circumdatus*, *Leptosiphon melingii*, y *Calyptridium monospermum* con suelos de tipo Fluvisol de 150 cm de profundidad. Desde su descripción y hasta 1982 solo 11 especímenes habían sido recolectados (Yates y Salazar-Bravo, 2005), pero recientemente (12 de noviembre de 2018 y 29 de abril de 2019) fueron recolectados dos especímenes (macho y hembra, respectivamente) en el Parque Nacional de la Sierra de San Pedro Mártir (PNSSPM) en elevaciones entre 2433 y 2510 msnm (Villarreal-Fletes et al., 2022). Su estado de conservación es considerado en peligro de extinción (Arguelles-Corrado, 2018).



Figura 6. Topo de San Pedro Mártir, *Scapanus anthonyi* J.A.Allen, 1893. Fotografía Aldo A. Guevara-Carrizales.

ORDEN CHIROPTERA
FAMILIA VESPERTILIONIDAE

Este murciélago (Figura 7) exclusivo de la SSPM se caracteriza porque su cabeza y cuerpo miden de manera combinada entre 43 y 52 mm, y la cola entre 36 y 45 mm, y pesa de 4 a 9 g. Su pelaje es largo y esponjoso, siendo el dorso amarillento y el vientre más pálido. La cara, las orejas y las membranas son desnudas y negras. Las orejas son muy largas y se extienden mucho más allá de la nariz cuando se colocan hacia adelante. Este murciélago ha sido registrado en varias localidades del piso bioclimático supramediterráneo, como son La Grulla y Venado Blanco, en los meses de primavera y verano (Flores-Rojas, 2006). Está catalogado como especie en protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Martínez-Rangel, 2022).

Figura 7. Murciélago oreja larga de San Pedro *Myotis evotis milleri* Elliot, 1903. Fotografía Aldo A. Guevara-Carrizales.



ORDEN CARNIVORA

FAMILIA CANIDAE

El coyote (Figura 8) es la especie más ubicua de mamífero y en todos los pisos bioclimáticos de la SSPM, con mayor incidencia en el piso supramediterráneo. Un carnívoro mediano con pelaje gris a castaño tanto en dorso, patas y parte de sus orejas, vientre y parte interna de las patas blancas a grisáceas. Cola espesa y orejas puntiagudas. Los machos son más pesados (8 a 20 kg) que las hembras (7 a 18 kg) (Bekoff, 1977). Su alimentación es principalmente de lagomorfos y roedores, pero también en algunas temporadas del año se alimentan de frutos, invertebrados y vertebrados. En la SSPM es activo durante todo el día, aunque muestra una mayor incidencia en el atardecer y en las primeras horas de la mañana (González-de la Barrera, 2020). Es muy común ver a esta especie en las praderas de esta sierra como La Grulla, La Tasajera y Vallecitos, entre otras. Su estatus de conservación poblacional es estable.



Figura 8. Coyote de San Pedro Mártir *Canis latrans clepticus* Elliot, 1903. Fotografía Gorgonio Ruiz-Campos.



La zorra gris (Figura 9) concurre en todos los pisos bioclimáticos de la SSPM y es una de las especies de mamíferos más frecuentes en esta sierra. Su longitud total varía de 0.80 a 1.13 m. Se distingue por una franja negra que discurre longitudinalmente en la mitad de la espalda y que se extiende hasta una llamativa melena negra de pelo grueso en la parte superior de la cola. Algunas partes del cuello, los costados y las extremidades son de color canela rojizo. El blanco se aprecia más en las orejas, la garganta, el pecho, el vientre y las patas traseras (Fritzell y Haroldson, 1982). En la SSPM es principalmente activa durante las primeras horas de la noche, siendo más recurrentemente observada desde la localidad de Venado Blanco hasta el camino a Botella Azul, donde se presentan pendientes más pronunciadas en el terreno y vegetación dominante de tipo coníferas-arbustivas (Prieto-Valles, 2016). Se considera un cánido con abanico de alimentos que van desde frutos, invertebrados y pequeños vertebrados. Su estatus de conservación poblacional es estable.

Figura 9. Zorra gris *Urocyon cinereoargenteus californicus* Mearns, 1897. Fotografía Elías Zavala-Ortiz.

FAMILIA FELIDAE

Este felino conocido como gato montés (Figura 10) habita en todos los pisos bioclimáticos de la SSPM, con mayor frecuencia en las estaciones de invierno y primavera en sitios con pendientes más abruptas y vegetación arbustiva más cerrada (Prieto-Valles, 2016). Su tamaño es casi el doble de un gato doméstico, y en promedio más pequeño que el linco canadiense, *L. canadensis*. La longitud total en machos varía de 0.48 a 1.3 m, y en hembras de 0.61 a 1.1 m (Larivière y Walton, 1997), se distingue por su cabeza pequeña con orejas puntiagudas y rectas, con terminaciones en un mechón de pelos y cola corta. El color puede variar por regiones, pero en general presenta tonalidades de café-amarillento y grisáceo, con patrones de parches en el lomo y piernas. La especie se distribuye a través de Canadá y Estados Unidos (excepto Alaska, islas Vancouver, Prince Edward y Newfoundland). La subespecie *peninsularis* es exclusiva de la península de Baja California (Larivière y Walton, 1997). En la SSPM es un felino con actividad tipo catemeral, aunque es más activo entre las 11:00 y 01:00 h (González-de la Barrera, 2020), alimentándose de mamíferos pequeños como ratas de campo (*Neotoma* spp.), juancitos (*Ammospermophilus leucurus*) y liebres (*Lepus californicus*) (Ponce-Mendoza, 1999). Su estatus de conservación poblacional es estable.



Figura 10. Linco de Baja California *Lynx rufus peninsularis* Thomas, 1898. Fotografía Gorgonio Ruiz-Campos.



Este felino *Puma concolor couguar* de amplia distribución en Norte y Mesoamérica concurre en todos los pisos de vegetación de la SSPM, prefiriendo los sitios de la parte oeste que se caracterizan por una zona de transición de coníferas y chaparral de montaña. Solo dos registros han sido obtenidos recientemente en 2015 (Prieto-Valles, 2016) y 2019 (González de la Barrea, 2020), el primero durante la media noche y el segundo en el mediodía. El pelaje de este felino es de color pardo uniforme, aunque presenta diferentes tonalidades que van desde blanco a grisáceo, amarillento, o rojizo. Presenta una cabeza pequeña proporcionalmente con orejas redondas y erectas. Estos llegan a pesar entre 30 a 100 kilogramos. Las crías presentan pelajes claros con pintas negras. Alimentación de mamíferos grandes a medianos principalmente, también incluye en su dieta aves y reptiles.

Figura 11. Puma norteamericano *Puma concolor couguar* (Kerr, 1792). Fotografía Elías Zavala-Ortiz.

FAMILIA MEPHITIDAE

El zorrillo manchado occidental (Figura 12) es pequeño, se distingue por su pelaje negro con líneas blancas en el dorso y tres rayas en los costados y la espalda. Poseen una mancha blanca entre los ojos y otra debajo de las orejas; el pelo de la cola es negro con puntas blancas. Pese a pesar de 200 a 800 gramos, son omnívoros y prefieren invertebrados y larvas (Jones et al., 2013). Son de hábitos solitarios y nocturnos (Pearson, 1964; Ingles, 1965). La subespecie *S. g. martirensis* fue originalmente descrita de la localidad tipo Vallecitos en la SSPM (Verts et al., 2001) y también reportada en El Álamo (ejido 18 de marzo) por Huey (1964) a 1,100 m de altitud. En el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir ha sido registrada recientemente en otoño en Punta San Pedro, donde domina vegetación arbustiva y de coníferas (Prieto-Valles, 2016). La IUCN la clasifica en preocupación menor, y en México no está catalogada como una especie en peligro (SEMARNAT, 2010).



Figura 12. Zorrillo manchado occidental *Spilogale gracilis martirensis* Elliot, 1903. Fotografía Eduardo Prieto-Valles.

El zorrillo listado norteño (Figura 13) es reconocido por sus orejas redondeadas, con piernas y cola largas. El pelaje es negro con las franjas dorsales blancas que salen como una sola franja en la nuca y se bifurca para unirse nuevamente en la punta de la cola, además de una delgada franja blanca en la frente. La subespecie que habita la Sierra de San Pedro Mártir es *M. m. holzneri* (Wade-Smith y Verts, 1982), con registros en Valle de la Trinidad (Huey, 1964), Punta San Pedro (Valles-Prieto, 2016) y rancho Mike's Sky (Valdez-Villavicencio et al., 2014) en los pisos bioclimáticos supramediterráneo y termomediterráneo. En la SSPM, el zorrillo rayado muestra una mayor actividad durante la noche, aunque también puede ser observado durante el día y el crepúsculo, y es concurrente con el zorrillo moteado en Punta San Pedro, donde predomina vegetación arbustiva y coníferas (Valles-Prieto, 2016). Se alimenta principalmente de insectos, aunque muestra oportunismo por presas disponibles en el ambiente como son ratones de campo, ratones meteoro, huevos de aves, y frutas de estación. Su estatus de conservación poblacional es estable.



Figura 13. Zorrillo listado norteño *Mephitis mephitis holzneri* Mearns, 1897. Fotografía Eduardo Prieto-Valles.

ORDEN ARTIODACTYLA
FAMILIA BOVIDAE



El borrego cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates*) se reconoce por su vellón marrón oscuro, semejante al chocolate, contrastando con el blanco de su hocico, trasero, la parte inferior de las extremidades y ciertas zonas del vientre, además de un parche en el ojo de igual coloración (Shackleton, 1985). Posee una cola corta de tonalidad marrón oscuro. Sus cuernos curvados hacia adelante representa uno de sus rasgos más distintivos, ya que en los machos pueden arquearse hacia arriba y atrás sobre las orejas y mejillas, e incluso obstruyendo parte del ojo (Krausman et al., 1999). Las hembras portan cuernos pequeños y finos, sin la formación de espirales. Los ejemplares adultos pueden medir hasta 1.95 metros de longitud y alcanzar una altura de un metro, con tendencia a formar grupos jerárquicos que favorecen la cohesión social (Leslie y Douglas, 1979). Habitualmente, se les encuentra en la zona oriental de la SSPM, adaptados al piso bioclimático mesotropical en las orillas de cañones rocosos y acantilados empinados, pero incursiona en el verano al piso supramediterráneo en busca de temperaturas más frescas. En el PNSSPM prefiere las zonas de cañones, situadas entre el parteaguas y el desierto, donde se combina vegetación de bosque y desértica que proveen refugio (echaderos) durante las temporadas secas, funcionando como zonas de resguardo (Valles-Prieto, 2016; Eaton-González y Martínez-Gallardo, 2017). La combinación de variables de hábitat como la altitud, pendiente, cobertura y pedregosidad explican la presencia del borrego cimarrón en la Sierra de San Pedro Mártir (Montoya y Martínez-Gallardo, 2017). Son de hábitos diurnos con preferencia de pastoreo sobre gramíneas, biznagas, hojas de ocotillos y palo verde (Ruiz-Campos et al., 2017). Se encuentra sujeta a protección especial y en veda permanente en Baja California.

Figura 14. Borrego cimarrón
Ovis canadensis cremnobates
Elliot, 1904. Fotografía Eduardo
Prieto-Valles.

FAMILIA CERVIDAE

El venado bura (Figura 15) es observado en todos los pisos de vegetación en la SSPM, con mayor frecuencia en el piso supramediterráneo como son los parajes de Venado Blanco, Punta San Pedro y La Tasajera, en todos ellos con poca o nula actividad antrópica vía turistas. Los registros de detección muestran una mayor actividad durante la noche en primavera y una menor actividad en otoño (Prieto-Valles, 2016; González-de la Barrera, 2020). En el periodo 2015-2016 en la pradera de La Grulla, el venado bura mostró dos picos de mayor actividad entre las 06:00-09:00 h y 18:00-00:00 h, siendo menos activos en las horas con presencia de ganado vacuno y caballar (González-de la Barrera, 2020). En la primavera en la SSPM, el venado bura es un consumidor generalista que se alimenta de alrededor de 40 especies de plantas, principalmente de formas arbustivas, seguidas de las hierbas perennes y anuales y los árboles caulescentes y acaulescentes, entre las que destacan *Allium* sp., *Fraxinus trifoliata*, *Quercus turbinella* y *Forestiera mexicana* (Salmón, 2006). Su estatus de conservación poblacional es estable.

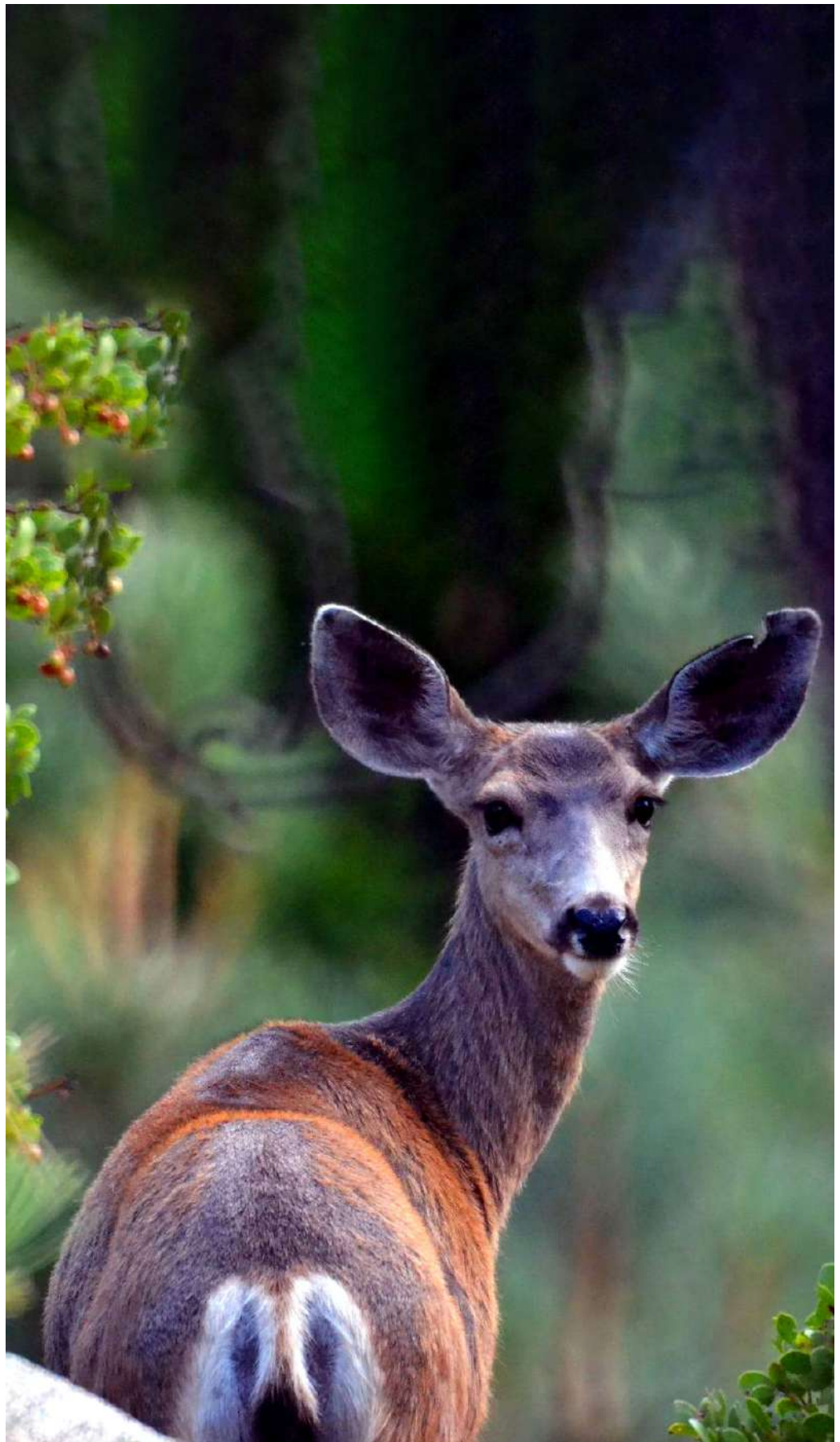


Figura 15. Venado bura
Odocoileus hemionus fuliginatus
Cowan, 1933. Fotografía Gorgonio
Ruiz-Campos.

ORDEN RODENTIA

FAMILIA CRICETIDAE

El ratón meteoro de California (Figura 16) es un roedor de tamaño mediano, con dimorfismo sexual donde los machos son en promedio 6% más grandes (13.6 y 19.8 cm) en longitud total y 11% más pesados (30-60 g) que las hembras. Su pelaje es denso y suave, con una coloración que varía de gris oscuro a marrón en la parte superior, mientras que las partes inferiores son de un gris a blanco desde el fémur hasta el ano (Verts y Carraway, 1998; Cudoworth y Koprowski, 2010). Su cola es bicolor, siendo negro arriba y gris abajo. Los juveniles tienden a tener un pelaje más oscuro que los adultos. El lomo presenta un color entre canela y oliva, con pelos de marrón oscuro a negro. Sus ojos son pequeños y oscuros, y las orejas también son pequeñas y apenas sobresalen del pelaje. La distribución de esta subespecie endémica de la Sierra San Pedro Mártir ha sido registrada en La Concepción, ciénaga Vallecitos, Aguaje de Las Fresas, ciénaga La Grulla, San Antonio de Murillos, y Mike's Sky (Guevara-Carrizales et al., 2016b). El ratón meteoro está comúnmente asociado con pastos perennes de corto a mediano tamaño, generando túneles para su desplazamiento. En la ciénaga La Grulla, se capturaron y liberaron 16 individuos en dos eventos de muestreo (septiembre de 2016 y marzo-abril de 2017), a partir de 225 trampas que operaron durante 300 horas (Arguelles-Corrado, 2018). El estatus de conservación de esta subespecie es en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059, siendo el principal factor que afecta su supervivencia en la localidad de La Grulla el pastoreo por el ganado vacuno, ya que el pisoteo y ramoneo de los animales modifica la altura y densidad de los pastos que forman parte esencial de su hábitat y de las rutas de movimiento dentro del pastizal (Harper et al., 2016; Ruiz-Campos, 2017; Arguelles-Corrado, 2018).

El ratón piñonero (Figura 17) es de tamaño mediano y de orejas grandes. El color varía de marrón amarillento pálido a negro parduzco y el pelaje es largo y sedoso. Con una longitud total de 17.1-23.1 cm y un peso de 20 a 25 g. Cuenta con una raya oscura en la parte dorsal de la cola que llega hasta la parte trasera del cuerpo. La cola está cubierta de pelos cortos excepto en la punta, donde sobresalen pelos más largos. El pecho posee una mancha de color ocre. Patas son de color más claro, variando entre grisáceo y blanco. Su presencia está principalmente asociada al piso bioclimático con pino piñonero-junípero y encino de chaparral, especialmente en áreas o pendientes rocosas (Hoffmeister, 1981). Su estatus de conservación poblacional es estable.

Figura 16. Ratón meteoro de California *Microtus californicus hyperuthrus* Elliot, 1903. Fotografía Gorgonio Ruiz-Campos.

Figura 17. Ratón piñonero *Peromyscus truei martirensis* (J.A.Allen, 1893). Fotografía Aldo A. Guevara Carrizales.



FAMILIA GEOMYIDAE

La tuza norteña endémica de la Sierra San Pedro Mártir (Figura 18) fue descrita de ejemplares capturados en la ciénaga La Grulla del piso bioclimático supramediterráneo. Esta tuza mide de 20.6 a 22.7 cm en longitud total. La cola mide entre 40 a 90 mm y pesa entre 45 a 55 g. De color marrón-oscuro en el dorso y naranja marrón en la parte ventral. Cabeza plana, bigotes largos, ojos y orejas pequeños cerradas por orejeras (Smith y Patton 1988). Se alimenta de una variedad de bellotas, bulbos, semillas y tubérculos de plantas (Jones y Baxter, 2004). Su estatus de conservación poblacional es estable.



Figura 18. Tuza norteña *Thomomys bottae martirensis* J.A. Allen, 1898.
Fotografía Aldo A. Guevara-Carrizales.



FAMILIA HETEROMYIDAE

Este ratón de abazones (Figura 19) mide más de 20 cm en longitud total, donde más de la mitad le corresponde a la cola. Los machos son más pesados que las hembras 28.2 y 24.5 g, respectivamente (Paulson, 1988). El pelaje es grisáceo en la parte superior, con diversos grados de amarillo claro. Las partes inferiores son blancas a grises claras. Presentan un pelaje más largo y suave a lo largo del cuerpo, con una cresta en la cola. Esta especie se distribuye en el este del Río Colorado y a través de la península de Baja California con poblaciones norteñas y sureñas en esta última (Riddle et al., 2000). Concorre en todos los pisos bioclimáticos de la SSPM. Se considera un ratón granívoro, pero también se alimenta de insectos, raíces y plantas verdes. Su estatus de conservación poblacional es estable.

Figura 19. Ratón de abazones de Baja California *Chaetodipus rudinoris* Elliot 1903. Fotografía Aldo A. Guevara-Carrizales.



FAMILIA SCIURIDAE

Esta subespecie de ardilla (Figura 20) es endémica de las sierras de San Pedro Mártir y Juárez en el norte de Baja California, y se distingue por su mayor tamaño (12.8-13 cm) comparado con la subespecie endémica (11.4 cm) de las sierras meridionales de la península de Baja California (Best y Granai, 1994). En la sierra San Pedro Mártir concurre en los pisos termo, meso y supramediterráneo, con una mayor abundancia en este último. Es principalmente activa durante el día entre las rocas batolíticas asociadas a los bosques de coníferas en altitudes entre 1379-1525 msnm (Callahan, 1977). Su pelaje es de color café-gris con franjas alternas de claro y oscuro en los costados, bandas claras en la cabeza y a lo largo de la cola, y cuatro líneas dorsales de color pardo claro o blanco grisáceo. Sus patas varían en tonos de ocre y la cola es parda rosada en la parte media. Sus tonalidades cambian en verano e invierno y se pueden observar en la zona de acampar y de recepción del Parque Nacional. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) ubica a esta subespecie en la categoría de preocupación menor, aunque no está listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Siordia-González, 2015).

Figura 20. Chichimoco de San Pedro *Neotamias obscurus obscurus* (J.A. Allen, 1890). Fotografía Gorgonio Ruiz-Campos.



La ardilla de San Pedro Mártir (Figura 21) es una especie endémica de esta sierra, confinada al piso supramediterráneo representado por bosque de coníferas en altitudes entre 2,100 y 2,750 m, con registros en localidades como La Grulla, La Tasajera, Vallecitos y otros sitios adyacentes. Es una ardilla pequeña y de hábitos diurnos. Tiene el lomo de color gris claro con una franja dorsal de color rojo amarillento y el vientre blanco con algunas manchas amarillas dispersas. Una franja lateral negra distinta separa el pelo del lomo y el vientre. Las patas delanteras son de color rojo amarillento. Su peso promedio es de 271 g. (Ramos-Lara, 2012; Koprowski et al., 2016). Se alimenta principalmente de semillas de abeto y pino y otros alimentos tales como polen, ramitas, brotes, y hongos basidiomicetes (Ramos-Lara, 2012). La densidad poblacional en la SSPM entre 2016 y 2017 varió de 20 a 80 ardillas/km² (Arguelles-Corrado, 2018). Esta especie se encuentra como especie amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Figura 21. Ardilla de San Pedro Mártir *Tamiasciurus mearnsi* (Townsend, 1897). Fotografía Gorgonio Ruiz-Campos.

DISCUSIÓN

La Sierra San Pedro Mártir encierra uno de los últimos vestigios de hábitats inalterados de la región mediterránea de América del Norte, representando hábitats con especies y subespecies endémicas que distinguen al mediterráneo californiano (Bojórquez-Tapia et al., 2004). Se localiza dentro de la Región Terrestre Prioritaria para la Conservación con clave RTP-11, de acuerdo con lo establecido por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Arriaga et al., 2000).

Dentro de las presiones y amenazas en la PNSSPM, Duarte (2010) y Arguelles-Corrado (2018) identificaron factores que ejercen presión sobre este parque, destacando el turismo recreativo sin control, la actividad ganadera, actividades ilegales como la caza y tala furtiva, problemas en la tenencia de tierra y los incendios forestales. Con respecto a la presión por la actividad ganadera, dicha actividad se ha practicado desde antes de decretarse Parque Nacional y ha impactado principalmente las praderas de Vallecitos, La Encantada, La Grulla y La Tasajera.

Recientes evaluaciones de la comunidad de mamíferos medianos y grandes en la pradera de La Grulla mediante técnicas de fototrampeo, en periodos de alta y baja actividad de pastoreo por el ganado vacuno (González-de la Barrera, 2020), demuestran como la actividad de ganado reduce la cobertura de pastizal y promueve la compactación del suelo, además de reducir la presencia de mamíferos pequeños como el ratón meteoro (*Microtus californicus huperuthrus*), el topo de San Pedro Mártir (*Scapanus anthonyi*) y mamíferos grandes nativos como el venado bura (*Odocoileus hemionus fuliginatus*).

En suma, la Sierra de San Pedro Mártir de Baja California, representa el bioma de bosque de coníferas más austral en la vertiente del Pacífico de Norteamérica, donde muchas especies de afinidad boreal alcanzan sus límites más meridionales, con niveles de endemismos a nivel de especies y subespecies debido a su aislamiento geográfico al ser una isla de montaña, rodeada al oeste y al norte por el chaparral mediterráneo, y al este y sureste por el desierto Coloradense y Vizcaíno (Desierto Central), respectivamente. Es por ello por lo que este sistema montañoso es el hogar de un buen número de especies de vertebrados que han alcanzado un grado de diferenciación evolutiva como reflejo de la historia y evolución geológica, climática y biológica de esta formación orográfica peninsular.

AGRADECIMIENTOS

Al personal administrativo y técnico del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir por las facilidades otorgadas durante los monitoreos de mamíferos en el periodo 2014-2024. Así mismo, agradecemos al Programa de Conservación de Especies en Riesgo a través del proyecto PROCER/CCER/DRPBCPN/03/2016 Evaluación del estado actual de conservación de seis especies de vertebrados endémicos del PN Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, y el proyecto interno UABC 400/3190 Mamíferos endémicos y nativos selectos de Sierra San Pedro Mártir y otras islas de montaña de la península de Baja California, México. Un revisor anónimo hizo comentarios y sugerencias muy valiosas al manuscrito que mejoraron el contenido y alcance.

Literatura citada

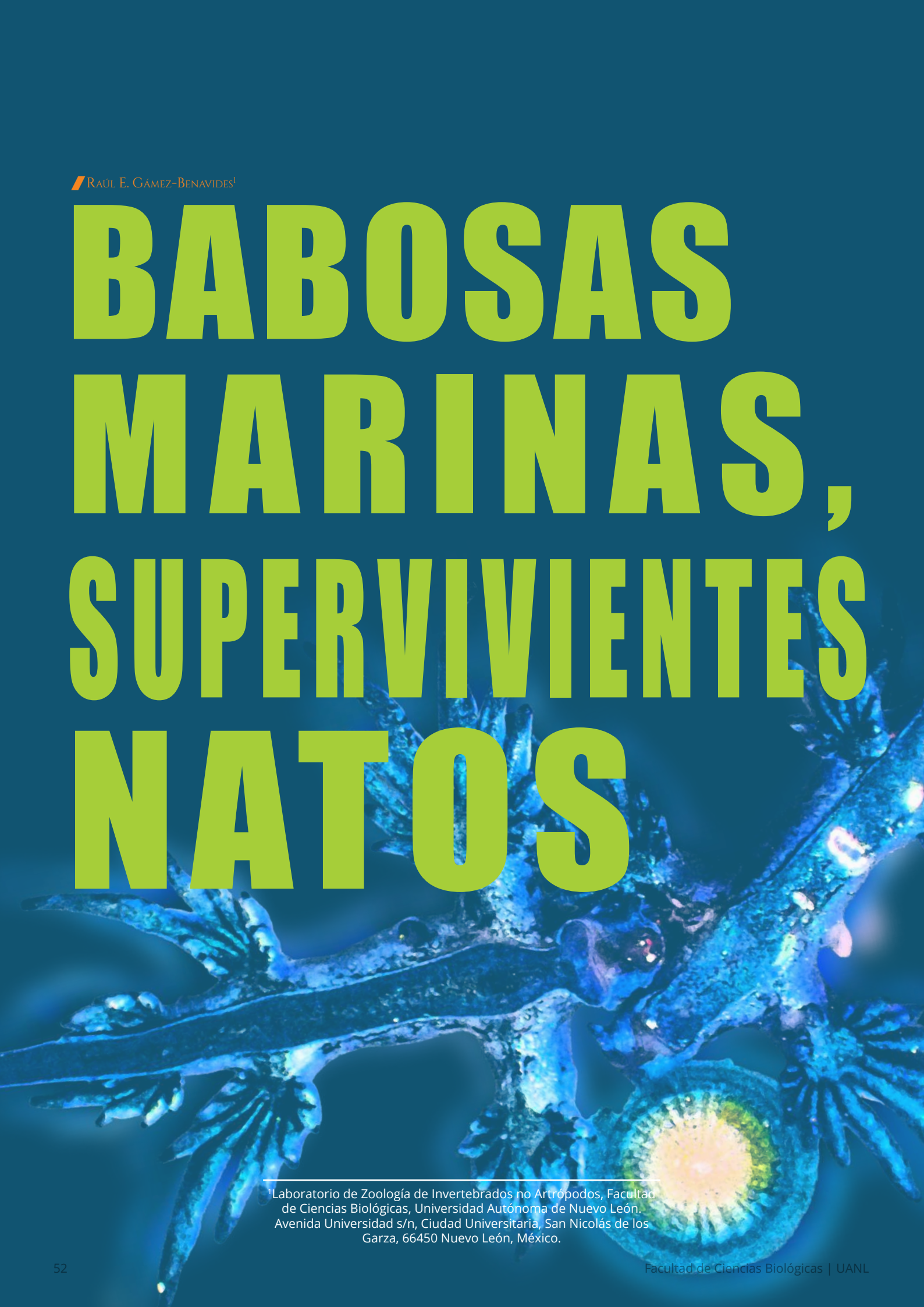


- Allen, J.A. 1893. On a collection of mammals from the San Pedro Mártir region of Lower California: with notes on other species, particularly of the genus *Sitomys*. Bulletin of the American Museum of Natural History, Vol. 5 Art. 12:181-206.
- Arriaga L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Arguelles-Corrado, A. 2018. Estado de conservación actual de mamíferos endémicos del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México, y sus perspectivas de manejo. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.
- Álvarez-Castañeda, S. T. y J. L. Patton. 1999. Mamíferos del Noroeste de México I. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, México.
- Álvarez-Castañeda, S. T. y J. L. Patton. 2000. Mamíferos del Noroeste de México II. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, México.
- Bancroft G. 1926. The faunal areas of Baja California Norte. The Condor, 28:209-215.
- Bekoff, M. 1977. *Canis latrans*. Mammalian Species, 79:1-9.
- Best, T. L., y Granai, N. J. 1994. *Tamias obscurus*. Mammalian Species, 472:1-6.
- Best, T.L. 1996. *Lepus californicus*. Mammalian Species, 530:1-10.
- Bojórquez-Tapia L.A., H. De la Cueva, D. Salomón, G.A. Mergarejo, M.J. Solares, G. Grobet, y G. Cruz-Bello. 2004. Environmental conflicts and nature reserves: Redesigning Sierra San Pedro Mártir National Park, México. Biological Conservation, 117:111-126.
- Callahan, J. R. 1977. Diagnosis of *Eutamias obscurus* (Rodentia: Sciuridae). Journal of Mammalogy, 58(2):188-201.
- Ceballos, G., y J.H. Brown. 1995. Global patterns of mammalian diversity, endemism, and endangerment. Conservation Biology, 9:559-568.
- Ceballos, G., y J. Arroyo-Cabrales. 2012. Lista actualizada de los mamíferos de México 2012. Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época), 2(1): 27-80.
- Chapman, J.A., y G.R. Willner. 1978. *Sylvilagus audubonii*. Mammalian Species, 106:1-4.
- Cudworth N.L., J. L. Koprowski. 2010. *Microtus californicus* (Rodentia: Cricetidae), Mammalian Species, Volume 42, Issue 868, 24 November 2010, Pp. 230-243.
- CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F.
- Delgadillo-Rodríguez, J. 2018. El Bosque. Cap. 2, Pp. 37-58. En: Semeel Jak: Historia natural de la sierra de San Pedro Mártir (E. Garduño y E. Nieblas, eds.). Tirant lo Blanch, Ciudad de México.
- Duarte-Méndez, M. E. 2010. Evaluación de la Efectividad en el Manejo del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Elliot, D. G. 1903. A list of mammals collected by Edmund Heller, in the San Pedro Mártir and Hanson Laguna mountains and the accompanying coast region of Lower California with description of apparently new species. Field Columbian Museum Zoology, Vol. III. Chicago.
- Eaton-González, R. y R. Martínez-Gallardo. 2017. Estrategia de manejo para el borrego cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates* Elliot, 1903), basada en los elementos estructurales del hábitat, en la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Pp. 97-118. En: Estudios sobre el borrego cimarrón en el noroeste de México (R. Eaton-González, A.A. Guevara-Carrizales, J. Tapia-Mercado, G. Ruiz-Campos, y J. Alaníz-García, eds.). Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California.
- Escalante, T., D. Espinosa, y J.J. Morrone. 2002. Patrones de distribución geográfica de los mamíferos terrestres de México. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), 87:47-65.
- Flores-Rojas, E. G. 2006. Composición de la quiróptero-fauna de Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez. Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Fritzell, E.K., y K.J. Haroldson. 1982. *Urocyon cinereoargenteus*. Mammalian Species, 189: 1-8.
- Garcillán, P.P., C.E. González-Abraham, y E. Ezcurra. 2010. The cartographers of life: Two centuries of mapping the natural history of Baja California. Journal of the Southwest, 52:1-40.
- González-de la Barrera, D.M. 2020. Distribución y abundancia de mamíferos medianos y grandes en diferentes niveles de pastoreo por ganado en la pradera de La Grulla, sierra de San Pedro Mártir, Baja California: Período 2015-2019. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Guevara-Carrizales, A. A., G. Ruiz-Campos, J. Escobar-Flores y R. Martínez-Gallardo. 2016a. Mamíferos terrestres de las ecorregiones áridas del estado de Baja California. Pp. 63-90 en Riqueza y Conservación de los Mamíferos en México a Nivel Estatal (Briones-Salas, M., Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas y J. E. Sosa-Escalante, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato, Ciudad de México, México.
- Guevara-Carrizales, A.A., A. Peralta-García, J.H. Valdez-Villavicencio, C.R. Mahrdt, y G. Ruiz-Campos. 2016b. Confirmation of the presence of *Microtus californicus* in Baja California, México. The Western North American Naturalist, 76(4):493-496.
- Hoffmeister, D.F. 1981. *Peromyscus truei*. Mammalian Species, 161:1-5.
- Harper, A., E. Mellink, S. Tremor y S. Vanderplank. 2016. Rediscovery of a high-altitude vole, *Microtus californicus*, in Baja California, Mexico. Southwestern Naturalist, 61:333-338.
- Harper, A., S. Vanderplank y J. Rebman. 2021. A guide to the flora of the Sierra de San Pedro Mártir. BRIT Press & California Native Plant Society, Fort Worth, TX & Sacramento, CA.
- Huey, L.M. 1964. The mammals of Baja California. Transactions of the San Diego Society of Natural History, 13(7): 85-168.
- Ingles L.G. 1965. Mammals of the Pacific states: California, Oregon, and Washington. Stanford, CA: Stanford University Press. 506 pp.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). 2014. IUCN. Red List of Threatened Species. Version 2012.2. Disponible en www.iucnredlist.org.
- Jones, C.A., y C.N. Baxter. 2004. *Thomomys bottae*. Mammalian Species, 742:1-14.
- Jones, K. L., Van Vuren, D. H., McEachern, M. B., Crooks, K. R., Drago, J. W., y May, B. (2013). Spatial and Genetic Organization

- of the Island Spotted Skunk, *Spilogale gracilis amphiala*. *The Southwestern Naturalist*, 58:481-486.
- Koprowski, J. L., Steele M. A. y Ramos-Lara, N. (2016). *Tamiasciurus mearnsi* (Rodentia: Scuridae). *Mammalian Species*, 936:66-72.
- Krausman, P., A. Sandoval, y R. Etchberger. 1999. Natural history of desert bighorn sheep. Pp. 139-191 en Mountain sheep of North America (R. Valdez y P.R. Krausman, eds.). The University of Arizona Press, Tucson.
- Larivière, S., y L. R. Walton. 1997. *Lynx rufus*. *Mammalian Species*, 563: 1-8.
- Leslie, D. M., Jr., y C. L. Douglas. 1979. Desert bighorn sheep of the River Mountains, Nevada. *Wildlife Monographs*, 66:1-56.
- Marshall, J.T. 1957. The birds of the pine-oak woodland in southern Arizona and adjacent Mexico. *Pacific Coast Avifauna* No.32. 125 pp.
- Martínez-Gallardo, R. 2011. Inventario de los mamíferos pequeños y medianos de las zonas áridas y semiáridas de Baja California. Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Facultad de Ciencias. Informe final. SNIB-CONABIO México.
- Martínez-Rangel, S.G. 2022. Murciélagos del Parque nacional sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México: Recomendaciones para su conservación. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Mellink, E. 1991. Mamíferos conocidos de la Sierra San Pedro Mártir. Memoria de la III Semana de la Exploración y la Historia: Sierra de San Pedro Mártir. Universidad Autónoma de Baja California (UABC).
- Mellink, E. y J. Luévano. 1999. Mamíferos de la península de Baja California (excluyendo cetáceos). Guía para su identificación en campo. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, México.
- Mellink E. 2002. El Límite sur de la Región Mediterránea de Baja California, con base en sus Tetrápodos Endémicos. *Acta Zoológica Mexicana*, 85:11-23.
- Minnich, R. A., Franco-Vizcaíno, E., Sosa-Ramírez, J., Burk, J. H., W. J. Barry, W. J., Barbour, M. G. y de la Cueva-Salcedo, H. 1997. A land above: Protecting Baja California's Sierra San Pedro Mártir within a biosphere reserve. *Journal of the Southwest*, 39:613-695.
- Montoya, M., y R. Martínez-Gallardo. 2017. Evaluación del hábitat del borrego cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates*) in la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Pp. 75-94 en Estudios sobre el borrego cimarrón en el Noroeste de México (R. Eaton-González, A.A. Guevara- Carrizales, y J.C. Tapia-Mercado, coords.). Libro LX Aniversario de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C.
- Nelson, E.W., y E.A. Goldman. 1909. Eleven new mammals from Lower California. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 22: 23-28.
- Paulson, D.D. 1988. *Chaetodipus baileyi*. *Mammalian Species*, 297:1-5.
- Pearson O.P. 1964. Carnivore-mouse predation: an example of its intensity and bioenergetics. *Journal of Mammalogy*, 45:177-188.
- Peinado, M., C. Bartolomé, J. Delgadillo, y I. Aguado. 1994. Pisos de vegetación de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México *Acta Botánica Mexicana*, 29:1-30.
- Ponce-Mendoza, I.M. 1999. Determinación de la dieta de lince (*Lynx rufus*) en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California México. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México.
- Prieto-Valles, E.L. 2016. Estimación de Abundancia por fototrampeo de mamíferos medianos y grandes en el Parque Nacional Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México.
- Ramírez-Acosta, J. 2012. Efectividad de las áreas protegidas terrestres en la conservación de vertebrados endémicos de la península de Baja California. Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Ramírez-Pulido, J., J. Arroyo-Cabrales, y A. Castro-Campillo. 2005. Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 21: 21-82.
- Ramírez-Pulido, J., N., Gonzales-Ruiz, A. L., Gardner y J. Arroyo-Cabrales. 2014. List of and mammals of Mexico, 2014. Special Publications. Museum of Texas Tech University, Num. 6:1-69.
- Ramos-Lara, N. 2012. Ecology of the endemic Mearns's Squirrel (*Tamiasciurus mearnsi*) in Baja California, Mexico. PhD with a major in wildlife and fisheries science in The Graduate College. The University of Arizona.
- Riemann, H., E. Ezcurra. 2005. Plant Endemism and natural protected areas in the peninsula of Baja California, Mexico. *Biological Conservation*, 122:141-150.
- Riddle, B.R., Hafner, D.J., y Alexander, L.F. 2000. Comparative phylogeography of Baileys' pocket mouse (*Chaetodipus baileyi*) and the *Peromyscus eremicus* species group: Historical vicariance of the Baja California Peninsular Desert. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 17:161-172.
- Ríos, E., T Álvarez-Castañeda. 2002. Mamíferos de la reserva del Valle de los Cirios, Baja California, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 86:51-85.
- Ruiz-Campos, G. 1993. Bionomía y ecología poblacional de la trucha arcoiris, *Oncorhynchus mykiss nelsoni* (Evermann), de la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ruiz-Campos, G. 2017. La trucha arcoiris de la sierra San Pedro Mártir: Bionomía, ecología poblacional, hábitat y conservación. Tirant lo Blanch, Ciudad de México.
- Ruiz-Campos, G., M. Rodríguez-Meraz, G. López, J. Alaníz- García, y A.A. Guevara-Carrizales. 2017. Densidad y composición poblacional del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) y su relación con el hábitat en el noreste de Baja California (Cañada Jaquejel y Arroyo Grande), México. Pp. 40-55 en Estudios sobre el borrego cimarrón en el Noroeste de México (R. Eaton-González, A.A. Guevara- Carrizales, y J.C. Tapia-Mercado, coords.). Libro LX Aniversario de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C.
- Ruiz-Campos, G., A. Tapia-Landeros, y G. De León-Girón. 2018. Fauna. Pp. 77-108 en Semeel Jak: Historia natural y cultural de la Sierra de San Pedro Mártir (Garduño E. y E. Nieblas, eds.). Tirant-lo Blanch, Ciudad de México.
- Salmón, E.H. 2006. Hábitos alimentarios del venado bura (*Odocoileus hemionus* Rafinesque, 1817) en San Pedro Mártir, Baja California, México. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. Ley General de Cambio Climático. Publicada el 6 de junio de 2012 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 11 de mayo de 2022.
- Shackleton, D.M. 1985. *Ovis canadensis*. *Mammalian Species*, 230:1-9.
- Sánchez-Cordero, V., Botello F., Flores-Martínez J. J., Gómez-Rodríguez R. A., Guevara L., Gutiérrez-Granados G., y Rodríguez-Moreno Á. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Suplemento-Biodiversidad de México, 85:496-504.
- Siordia-González, N.F. 2015. Modelado de la distribución potencial de dos especies de ardillas en la Península de Baja California: *Tamias obscurus* y *Xerospemophilus tereticaudus*. Tesis Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, México.
- Smith M. Patton J. 1988. Subspecies of Pocket Gophers: Causal Bases for Geographic Differentiation in *Thomomys bottae*. *Systematic Zoology*, 37:163-178.
- Townsend, C. H. 1897. Descriptions of a new eagle from Alaska and a new squirrel from Lower California. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 11:145-146.
- Valdez-Villavicencio, J.H., G. Ruiz-Campos, J. Escobar-Flores, A.A. Guevara-Carrizales, y S. González-Guzmán. 2014. Current

- distributional status of the striped skunk, *Mephitis mephitis*, in Baja California, Mexico. *Western North American Naturalist*, 74:467-471.
- Verts, B.J., L.N. Carraway, y A. Kinlaw. 2001. *Spilogale gracilis*. *Mammalian Species*, 674:1-10.
- Verts B.J., L.N. Carraway. 1998. Land Mammals of Oregon. *Journal of Mammalogy*. 80: 694-695
- Villarreal-Fletes, J.A., A.A. Guevara-Carrizales, G. Ruiz-Campos, G. De León-Girón, y S. Tremor. 2022. Recent records of Anthony's Mexican mole (*Scapanus anthonyi* Allen, 1893) in Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. *Western North American Naturalist*, 82:599-602.
- Wade-Smith, J., y B.J. Verts. 1982. *Mephitis mephitis*. *Mammalian Species*, 173:1-7.
- Warshall, P. 1995. The Madrean Sky Island Archipelago: A planetary overview. En: DeBano, L. F., P.F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G. Gottfried, R. H. Hamre, C. B. Edminster (Tech. Coord.). *Biodiversity and management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico* Technical Report RM-GTR-264. U.S. Dept. of Agriculture, U.S. Forest Service, Ft. Collins, CO. Pp. 6-18.
- Yates, T.L, y J.A. Salazar-Bravo. 2005. Revisión de *Scapanus latimanus* con la revalidación de una especie de topo mexicano. En: Sánchez-Cordero, V., Medellín R.A. eds.) *Contribuciones mastozoológicas en homenaje a Bernardo Villa*. Instituto de Biología e Instituto de Ecología. UNAM. Ciudad de México. Pp. 479-496.





RAÚL E. GAMEZ-BENAVIDES¹

BABOSAS MARINAS, SUPERVIVIENTES NATOS

¹Laboratorio de Zoología de Invertebrados no Artrópodos, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Avenida Universidad s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, 66450 Nuevo León, México.



Palabras clave: Interacciones ecológicas, gasterópodos, cleptoplastia, cripsis, coloración aposemática

Keywords: Ecological interactions, gastropods, kleptoplasty, crypsis, aposematic coloration

RESUMEN

Dentro del phylum Mollusca, se encuentra un grupo llamado comúnmente como babosas marinas que ha desarrollado impresionantes y distintivas habilidades de supervivencia a lo largo del tiempo, de las cuales se destacan tres: cleptoplastia, cripsis y coloración aposemática. Hablaremos de especies de moluscos como las babosas del género *Elysia* y su capacidad fotosintética al capturar los cloroplastos de las algas. También, sobre la habilidad de estos organismos para poder camuflarse con su entorno y pasar desapercibidas. Y, por último, algunas otras presentan colores llamativos como una señal de peligro para sus posibles depredadores. Además, se resalta la importancia de los diversos enfoques de estudio sobre la biología y ecología de las babosas marinas.

ABSTRACT

Within the phylum Mollusca, there is a group commonly known as sea slugs that has evolved remarkable and distinctive survival adaptations over time. Among these, three strategies stand out: kleptoplasty, crypsis, and aposematic coloration. This discussion focuses on molluscan species such as those of the genus *Elysia*, which exhibit photosynthetic potential through stealing chloroplasts from algae. Additionally, it addresses the ability of these organisms to blend into their environment through camouflage, this avoiding detection by predators. Finally, certain species display bright, contrasting coloration as a warning signal to potential predators, indicative of chemical defenses or unpalatability. Furthermore, the importance of studying this group through various research topics in biology and ecology is emphasized.

INTRODUCCIÓN

Cuando uno habla sobre los moluscos lo primero que se nos viene a la mente son las conchas que podemos observar a las orillas del mar y sentir en nuestros pies mientras vamos caminando por la playa. Éstas son más que solo unas simples conchas, son los restos de un organismo, más específicamente, una estructura fortificada y complejamente diseñada de tal manera que sea casi impenetrable ante diversos depredadores, y resistente a las presiones ambientales a los que están expuestos constantemente. No obstante, existe un grupo dentro de los moluscos que no es tan fácil de encontrar sobre las playas arenosas, donde a veces es necesario buscar entre las rocas, o entre las algas que viven adheridas a ellas, incluso dentro de los arrecifes de coral. Este otro grupo, a pesar de ser sumamente colorido y llamativo con mecanismos de defensa únicos que han ido desarrollando con el tiempo, son poco conocidos: las babosas de mar.

Antes de empezar, hay que aclarar que las babosas marinas siguen siendo moluscos, un grupo diverso que abarcan formas tan distintas como los calamares, ostiones, mejillones y pulpos (Brusca et al, 2016), que a pesar de haber perdido la distintiva concha con las que los representamos comúnmente, siguen compartiendo características propias de los moluscos

como la presencia de una masa visceral donde se localizan los órganos internos, cuerpo no segmentado, una rádula que les servirá en ocasiones para raspar su alimento y un pie reptante en la mayoría de los casos, el cual les ayudara a desplazarse y sujetarse a través de diversos sustratos (Ruppert y Barnes, 1996). A diferencia de los moluscos con concha, las babosas marinas son organismos que han perdido de manera parcial o completamente la concha a través del tiempo, desarrollando una gran variedad de mecanismos de supervivencia que les ayudaran a sobrevivir en el ambiente, hasta ver lo que hoy en día conocemos como, liebres de mar, nudibranquios o simplemente babosa marinas (Hermosillo, 2006).

FOTOSÍNTESIS ROBADA

Las especies que pertenecen al numeroso y distintivo género *Elysia*, poseen un poder especial, la capacidad de hacer fotosíntesis (Hermosillo et al, 2006). Estos organismos cuentan con un cuerpo blando y una cabeza semi desarrollada que presenta una rádula especializada, una estructura que consta de un solo diente para el caso de los sacoglossos (Mikhlin et al, 2024), y que le ayudara a succionar su alimento el cual está conformado principalmente de algas (Galvão, 2013). Los cloroplastos provenientes de su alimento



Figura 1. *Elysia diomedea* con su particular coloración verdosa y parapodios con líneas naranjas tomada por Héctor Hernández en Cuastecomates, Jalisco.

son transferidos y canalizados sin dañarlos a través de su sistema digestivo hasta depositarlos en unos sacos situados en los parapodios, estructuras con funciones que modulan la entrada de luz hacia el organismo (Schmitt et al, 2014). Al final, los cloroplastos de las algas al ser engullidos por la babosa marina seguirán conservando la función fotosintética, a dicho proceso se le conoce como “cleptoplastia” (Maeda et al, 2010).

Los cloroplastos secuestrados tienen un tiempo de vida limitado determinado por algunos factores como lo es la especie del alga, la especie de la babosa marina, entre algunos otros. Un ejemplo de una babosa marina capaz de realizar cleptoplastia es el de *Elysia diomedea* (López-Martínez, 2018) conocida comúnmente como danzarina mexicana (Fig. 1), la cual puede mantener activos los cloroplastos durante un tiempo (Herrera, 2021). Por otra parte, la particular coloración verdosa característica de la mayoría de las especies que pertenecen a dicho grupo es dada por los plastos que logran incorporar dentro de su cuerpo, pudiendo variar en la intensidad de sus colores debido a su alimentación, si este ha comido recientemente o si no se ha alimentado de algas durante un tiempo determinado (Schmitt et al, 2014). No obstante, podrían perder su distintiva coloración si son privados de iluminación, incluso

llegando a disminuir en su tamaño y peso debido a la falta de luz solar (Herrera, 2021).

CRIPSIS O CAMUFLAJE

La falta de una concha como refugio o escudo ha llevado a las babosas marinas a desarrollar distintos mecanismos de defensa. Por ejemplo, la cripsis, dicho mecanismo les dará la capacidad de ocultarse y pasar desapercibidos dentro de su entorno debido a que han desarrollado coloraciones y patrones que pueden llegar a confundir a los depredadores (Cetra, 2022). El uso del entorno para su beneficio es crucial, puesto que, al ser organismos con lento desplazamiento en su forma adulta, requieren desarrollar maneras que les ayuden a sobrevivir durante las distintas etapas de su vida sin necesidad de recorrer distancias largas, utilizando principalmente su alimento como un lugar para camuflarse, como lo son algunas algas, corales, esponjas, anémonas, entre otros organismos. Un ejemplo uso de este mecanismo es el de *Stylocheilus rickettsi* (Fig. 2), especie que presenta coloraciones y patrones muy similares a las de la cianobacterias del género *Lyngbya* (Clark et al, 2021) que se encuentra dentro de su dieta principal, llegando a pasar desapercibido, siendo una estrategia esencial para sobrevivir en ambientes hostiles.

COLORACIÓN APOSEMÁTICA

En la naturaleza, los métodos de defensa o supervivencia en cada una de las especies son muy importantes, ya que ayudarán a sus poblaciones a tener mayores posibilidades de subsistir dentro de su entorno y poder transmitir sus genes a las siguientes generaciones. Si bien ya hablamos sobre algunos ejemplos que buscan principalmente pasar desapercibidos, hay otros, para quienes la discreción no forma parte de sus hábitos, que podrían estar advirtiéndolo a sus atacantes a través de sus colores llamativos que están frente a una presa potencialmente peligrosa. Dicho método de defensa llamado aposematismo, muestra patrones y colores intensos, como por ejemplo el rojo, morado o amarillo (Herrero, 2015). Si bien, la coloración aposemática tan solo es una denotación visual de la posible capacidad de la presa para defenderse, si este decide ignorar la señal de advertencia, entonces tendrá que sufrir las consecuencias de sus acciones. Para empezar, algunas babosas marinas a través de diversos metabolitos y

sustancias químicas que alberga en su cuerpo los cuales son obtenidos a través de su dieta, les dará la capacidad de defenderse químicamente contra los depredadores (Winters et al, 2018). Otro ejemplo será a través de los cnidocitos (Aguado y Marín, 2007), unas células que contienen unas estructuras llamadas nematocitos con características urticantes y con forma de “arpón”, las cuales son específicas del grupo de los cnidarios (grupo donde podemos encontrar a las medusas, anémonas y corales). Estos arpones serán secuestrados (Goodheart y Bely, 2016; Pisionero-West, 2012) por unas células llamadas cnidofagos que poseen algunas especies de babosas y posteriormente depositadas dentro de unas estructuras llamadas “cnidosacos” ubicadas en la parte superior de las ceratas (estructuras que funcionan para el intercambio gaseoso). Los nematocitos servirán como método de defensa ante una situación de peligro, como por ejemplo la especie *Glaucilla marginata* (Fig. 3) y su adaptación para mantener activos nematocitos en su cuerpo.

Figura. 2. *Stylocheilus rickettsi* tomada por Héctor Hernández en Isla Socorro, Revillagigedo.



IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LAS BABOSAS MARINAS

Con el paso de los años la curiosidad y el interés hacia este grupo han ido en aumento, así como su conocimiento. Esto puede deberse a diversas razones, primero, el gran interés que existe por parte de los buceadores y aficionados de la vida marina por ver estos organismos en vida libre. Segundo, sus brillantes y extravagantes colores junto con sus formas tan únicas y distintivas que son verdaderamente atractivos para el ojo humano. Sin embargo, las babosas también han captado mucho el interés por parte de los científicos, en áreas como la ecología y la biología. Gracias a eso, ahora conocemos algunas interacciones tan específicas como la del antes mencionado *G. marginata*, que presenta un cuerpo pequeño y completamente adaptado a los hábitos bentónicos, dada por características que le proporcionan facilidad a la hora de alimentarse de presas como las colonias de cnidarios flotantes como *Physalia physalis* y *Porpita porpita*, los cuales forman parte de su dieta principal (Churchill et al, 2014). Pero también existen

capacidades tan impresionantes e inimaginables como la de *E. tímida* de mantener cloroplastos funcionales durante más de 90 días (Schmitt et al, 2014). Aun así, sea cual sea el enfoque, conocer las interacciones y como sobreviven estos organismos dentro del ecosistema, nos ayudara a entender mucho más cómo funcionan los ambientes marinos y a las presiones a las que se enfrentan. Por lo que es importante mencionar que la generación de conocimiento siempre empieza con la curiosidad y procede con una pregunta, y en cuanto a las babosas marinas, aún existen muchas preguntas sin responder.

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a la Dra. Alejandra Elizabeth Arreola Triana por orientarme en la escritura y estructura de este artículo y al Dr. Jesús Ángel de León González por orillarme a escribirlo. A mi amigo y colega Héctor Hernández por siempre encontrarse disponible para compartir sus hermosas fotografías para compartírselas al público.

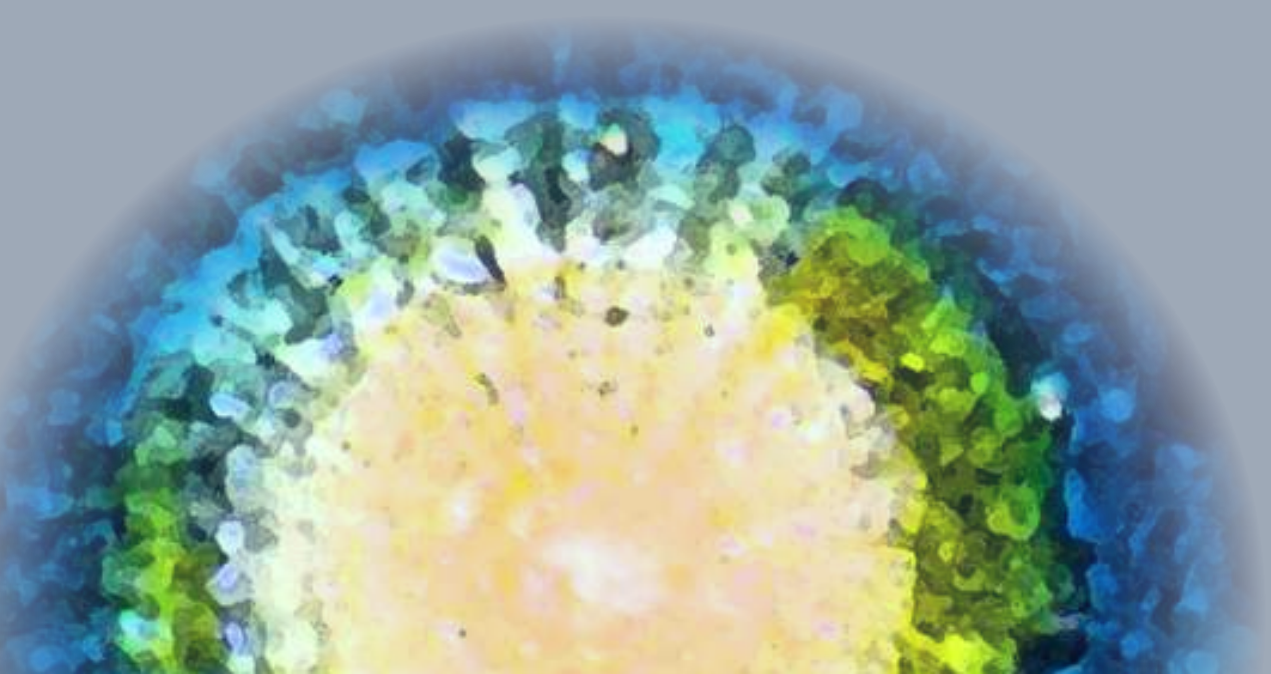
Figura 3. Dos individuos de *Glucilla marginata* alimentándose del cnidario *Porpita porpita*.



Literatura citada



- Aguardo, F. y Marín, A. 2007. Warning coloration associated with nematocyst-based defences in aeolidiodean nudibranchs. *Journal of molluscan Studies*.
- Cetra, N. (2022). Abundancia, diversidad y variabilidad temporal de un ensamble de nudibranchios en un arrecife costero del Golfo San Matías. Tesis Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Nacional de Comahue, 107pp.
- Churchill, C.K. Valdés, Á. y Foighil, D. Ó. 2014. Molecular and morphological systematics of neustonic nudibranchs (Mollusca: Gastropoda: Glaucidae: Glaucus), with descriptions of three new cryptic species. *Invertebrate Systematics*, 28(2), 174-195.
- Clark, K.E. Capper, A. Liu, W. Fenner, A.M. Almanza, A. Togna, G.D. Herrera, L. Johns, T. Paul, V.J. Dorrestein, P.C. Capson, T.L. y Balunas, M.J. 2021. Sequestration and cyanobacterial diet preferences in the opisthobranch molluscs *dolabrifera nicaraguana* and *Stylocheilus rickettsi*. *Frontiers in Marine Science*, 8, 766282.
- Galvão, H.C. 2013. Taxonomía de espécies do gênero *Elysia* Risso, 1818 (Mollusca: Gastropoda: Sacoglossa) do Brasil. Tesis licenciatura. Instituto Ciencias do Mar, Universidade Federal do Ceará. 135pp.
- Goodheart, J.A. y Bely, A.E. 2016. Sequestration of nematocysts by divergent cnidarian predators: mechanism, function, and evolution. *Invertebrate Biology*. 136(1): 75-91.
- Gorrostieta, E. Falcón, A. Aguilar, M.B. y Heimer, E.P. 2011. El sistema nervioso de los gasterópodos. *Revista Digital Universitaria*, 12(3), 1-9.
- Hermosillo, A. Behrens, D. y Jara, E. 2006. Opisthobranchios de México: guía de babosas marinas del Pacífico, Golfo de California y las islas oceánicas. (No. C/594.34 H4). México: Conabio.
- Hermosillo, A. 2006. Ecología de los opisthobranchios (mollusca) de Bahía de Banderas, Jalisco Nayarit, México. Tesis de doctorado. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 163pp.
- Herrera, D.F. 2021. Dieta alimenticia de la "babosa marina" *Elysia diomedea*, Opisthobranchio (Mollusca: Gastropoda) en cautiverio. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador. 96pp.
- Herrero, A. 2016. Biología y ecología de tres especies de nudibranchios de la familia Polyceridae, Tesis doctoral. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 225pp
- Lopez-Martinez, R. 2018. Poderes ocultos en los colores: diversidad de babosas marinas en El Salvador. Blog RBT.
- Maeda, T. Kajita, T. Maruyama, T. Y Hirano, Y. 2010. Molecular Phylogeny of the sacoglossa, with a discussion of gain and loss of kleptoplasty in the evolution of the group. *The Biologican Bulletin*. Volumen 219.
- Mikhlin, A. Khramova, Y. Nikitenko, E. Y Vortsenpneva, E. 2024. Radula formation and development in *Limapontia senestra* (Quatrefages, 1844) (Heterobranchia, Gastropoda) from the White Sea. *Zoologischer Anzeiger*.
- Pisionero-West, N. 2012. Systematics and phylogeny of *favorinus*, a clade of specialized predatory nudibranchs. Tesis maestría. Faculty of San Francisco State University.
- Ruppert, E.E. y Barnes, R.D. 1996. *Zoología de los Invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana. Sexta Edición.
- Sánchez, R. 2004. Preparación de protoplastos de *Macrocystis pyrifera* mediante digestión enzimática. Tesis maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 92pp.
- Schmitt, V. Handeler, K. Gunkel, S. Escande, M. Menzel, D. Gould, S.B. Martin, W.F. Y Wagele, H. 2014. Chloroplast incorporation and long-term photosynthetic performance through the life cycle in laboratory cultures of *Elysia timida* (Sacoglossa, Heterobranchia). *Frontiers in Zoology*. Volume 11.
- Winters, A.E. White, A.M. Dewi, A.S. Mudianta, I.W. Wilson, N.G. Forster, L.C. Garson, M.J. y Cheney, K.L. 2018. Distribution of defensive metabolites in nudibranch molluscs. *Journal of Chemical Ecology*. Volume 44.



**BOLAS GELATINOSAS EN EL AGUA:
EL CASO DEL BRIOZOO
DULCEACUÍCOLA *PECTINATELLA*
MAGNIFICA EN MÉXICO**



✓ JESÚS ÁNGEL DE LÉON-GONZÁLEZ, MARÍA ELENA GARCÍA-GARZA Y MARÍA ANA TOVAR-HERNÁNDEZ

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Zoología de Invertebrados No Artrópodos
Correspondencia: jesus.deleongn@uanl.edu.mx



Palabras clave: Ectoprocta, Bryozoa, Pectinatellidae, animales musgo, nuevo registro, bioinvasiones

Key words: Ectoprocta, Bryozoa, Pectinatellidae, moss animals, new record, bioinvasions

RESUMEN

Se proporciona información sobre los animales musgo (Bryozoa o Ectoprocta), un panorama general de lo que se sabe de ellos en México, con énfasis en las especies dulceacuícolas y se reportan por primera vez colonias de *Pectinatella magnifica* en la Presa El Cuchillo, municipio de China, Nuevo León. Se describe la estructura de la especie, los métodos de dispersión, impactos y distribución mundial.

ABSTRACT

Information of moss animals (Bryozoa or Ectoprocta) is provided, a general overview about these in Mexico, with emphasis on freshwater species, and colonies of *Pectinatella magnifica* are reported for the first time in the El Cuchillo Dam, China Municipality, Nuevo Leon. Structure, dispersal methods, impacts and worldwide distribution of the species are described

INTRODUCCIÓN

Los briozoarios, también conocidos como “animales musgo”, son un grupo de invertebrados formado por más de 8,000 especies que han sido descritas en el mundo. Son principalmente marinos, pero existen 88 especies dulceacuícolas (Massard & Geimer 2008) y, además, su registro fósil es extenso. Su origen proviene del Cámbrico Temprano, hace 35 millones de años (Zhang et al. 2021).

Los animales musgo pertenecen al Phylum Ectoprocta (o Bryozoa), son coloniales salvo algunas especies intersticiales. Las colonias pueden tener diferentes formas: masivas, incrustantes, arborescentes o estoloníferas, y son esencialmente sésiles. Presentan un exoesqueleto, que puede ser flexible o rígido, formado por material orgánico o calcáreo. La unidad básica de una colonia es un zooide, que es de talla microscópica (Fernández-Álamo & Rivas, 2018).

La mayoría de los briozoos se encuentran fijos a sustratos duros (rocas, corales, conchas, objetos sumergidos o flotantes), o sobre algas y fanerógamas acuáticas. Pocas especies tienen la capacidad de arrastrarse lentamente sobre el sustrato y existe por lo menos, una especie planctónica que forma colonias esféricas que flotan en el agua, en o cerca de los hielos en la Antártida. Son animales filtradores, que se alimentan de bacterias, algas unicelulares, protozoos, rotíferos, microcrustáceos y detritos (Fernández-Álamo & Rivas, 2018).

ANIMALES MUSGO EN MÉXICO

En el país los briozoos son en general, poco conocidos, en comparación con otros invertebrados como moluscos, crustáceos o incluso poliquetos. En el medio marino se cuenta con registros antiguos que datan de 1850's, realizados principalmente por investigadores extranjeros. En los últimos años se han publicado algunos trabajos de tesis de licenciatura sobre aspectos taxonómicos (Tovar-Hernández et al. 2021), así como reportes de briozoos exóticos invasores (Medina-Rosas & Tovar-Hernández, 2012; Humara-Gil & Cruz-Gómez, 2009, Key & Hendrickx, 2022; Ramos-Morales et al. 2024).

En cambio, los briozoos de agua dulce en el país son mucho menos conocidos. Enrique Rioja, un naturalista español refugiado en México tras la dictadura franquista, generó un gran conocimiento sobre los invertebrados de agua dulce y marinos de México (Dosil Mancilla y Cremades Ugarte, 2004). En 1940 reportó dos trabajos sobre briozoarios dulceacuícolas, uno para el lago de Pátzcuaro (Rioja, 1940a) en el que reportó una especie

(*Plumatella repens*) y cinco variedades, de las cuales dos, ahora son consideradas especies diferentes a *P. repens* (*P. emarginata* y *P. jugalis*), y otra de las variedades se ubica actualmente en otro género (*Alcyonella flavellum*). En el segundo trabajo para el lago de Xochimilco (Rioja, 1940b), encontró tres especies (*Fredericella sultana*, *Hyalinella punctata* y *Plumatella repens*), y seis variedades en diversas fases, de estas variedades una se considera una especie diferente (*P. fructicosa*).

Por otro lado, Bushnell (1971) reportó tres especies de briozoos para los estados de Chihuahua, Durango y Sinaloa (*Fredericella australiensis*, *F. sultana* y *Plumatella repens*). Sin embargo, no sabemos nada más allá de los registros de esos briozoos dulceacuícolas en el país.

PRESENCIA DE EXTRAÑAS BOLAS GELATINOSAS EN UNA PRESA DE NUEVO LEÓN

La presa El Cuchillo-Solidaridad se ubica en el municipio de China, Nuevo León, México (25°39'33" N, 94°17'55" W). Entre el 25 de abril y el 1 de mayo de 2025 la presa fue sujeta a un desfogue, perdiendo por este medio 58 millones de metros cúbicos de agua, por lo que el nivel de la presa disminuyó aproximadamente 1.5 metros, dejando al descubierto una gran porción de área que antes estuviera cubierta bajo el agua.

Inmediatamente después, por medio de redes sociales pescadores deportivos locales comenzaron a alertar sobre la presencia de unas extrañas bolas de gelatina de color verde olivo, las cuales estaban sujetas a ramas de arbustos y árboles de una gran porción del cuerpo de agua (Fig. 1). Se opinó que se trataba de huevos de moluscos o alguna otra especie acuática, otros aficionados con más conocimiento en biología, pensaron que se trataba de ascidias o tunicados (invertebrados conocidos como “chorros” o “meones de mar”).

Este hallazgo y la polémica que generó, nos motivó a hacer una visita de exploración al embalse del 10 al 11 de mayo. Se encontró que la porción Este y Oeste de la presa estaba saturada de colonias de lo que identificamos como un briozoo. Las colonias, presentaron diversidad de formas (alargadas, globulares, esféricas, o como tapetes) y tamaños, las mayores, fijas a troncos de árboles, tenían un área de aproximadamente 40 x 30 cm en forma de tapete (Fig. 2), y otras mucho menores de unos 10-15 cm de diámetro, como estructuras amorfas (Fig. 1, 2). La temperatura del agua osciló entre 26-28°C, según la localidad en la presa. Se trasladaron algunas colonias vivas al laboratorio, donde con ayuda de literatura especializada las identificamos como *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851), pero no fue posible mantenerlas vivas por más de tres días.



Figura 1. Colonias de *Pectinatella magnifica* sujetas a ramas de arbustos. Presa El Cuchillo, China, Nuevo León, México.



Figura 2. Colonia de *Pectinatella magnifica* en proceso de desecación; Colonias sueltas, lotando durante el proceso de descomposición. Colonias en forma de tapetes sujetas a troncos de árboles en el arroyo "Las Riatas" Presa El Cuchillo, China, Nuevo León, México.

¿QUÉ ES *PECTINATELLA MAGNIFICA*?

Pectinatella magnifica es un briozoo dulceacuícola cuya estructura es por demás extraña, está constituida por una masa gelatinosa y viscosa de diversas formas, sobre la cual cientos de individuos (zooides) se desarrollan; fue descrita por Leidy (1851) para el río Delaware, en los alrededores de Philadelphia, Estados Unidos de América. Su distribución nativa abarca el este de Norteamérica, desde Nuevo Brunswick y Ontario en Canadá, hasta Luisiana y Texas en Estados Unidos (Marine Exotic Species Information System, 2025). No obstante, *P. magnifica* ha sido introducida en el oeste de Estados Unidos (Oregón y Washington), varios países de Europa y Asia (Balounova et al. 2013, Marine Exotic Species Information System, 2025). A pesar de que en México existen hábitats (ríos, presas y lagos) favorables para el establecimiento de este animal en forma de bolas gelatinosas, no existe un reporte concreto en nuestro país sobre esa especie, ni científico, ni anecdótico.

ESTRUCTURA DE *PECTINATELLA MAGNIFICA*

Las colonias de *Pectinatella magnifica* forman una masa gelatinosa viscosa al tacto con una consistencia firme. Su estructura principal gelatinosa está cubierta por colonias poligonales que constan de varias decenas de zooides (Fig. 3 A-B), cada uno compuesto por una parte anterior, el polípido, que posee una corona en forma de "U" con 40-60 tentáculos llamada lofóforo, y una parte posterior, los cístidos, correspondiente a la pared corporal (Lacourt, 1968). En una colonia individual, los zooides están en grupo con forma de roseta con hasta 30 individuos. Las masas gelatinosas constan de altas concentraciones de agua, proteínas, aminoácidos (tirosina, triptófano y cistina), calcio, quitina y glucosamina (Morse, 1930). Según d' Hondt & Mignot (2010), a medida que envejecen, las colonias pueden desprenderse del sustrato y flotar a media agua.

¿LOGRARON PERMANECER LAS COLONIAS DE EN LA PRESA EL CUCHILLO-SOLIDARIDAD?

Un mes después de la detección de *P. magnifica* en la presa, estas comenzaron a desprenderse de las ramas donde se encontraban, perdieron su masa y se desgarraron. Muchas se podían observar flotando a la deriva (Fig. 2) y aquellas que se encontraban fuera del nivel del agua se deshidrataron hasta quedar secas. Las que quedaron bajo el nivel del agua a 40 cm de profundidad, en menos de un mes se soltaron del sustrato y fue común verlas flotando a media agua cerca de la superficie (Fig. 2). Se desconoce qué factores biológicos propios de la especie o ambientales ocasionaron este colapso, en el que las colonias casi desaparecieron del embalse. Sin embargo, el bajo nivel de agua y la resultante exposición a las

diversas condiciones climáticas, con calores extremos que en ocasiones llegaron a los 45°C, pudieron ser determinantes para que las masas gelatinosas de *P. magnifica* desaparecieran casi por completo un mes después de la primera detección.

BENEFICIOS E IMPACTOS NEGATIVOS DE *PECTINATELLA MAGNIFICA*

Pectinatella magnifica, al igual que todos los briozoos, es micrófago, utiliza los tentáculos del lofóforo para capturar y transportar a la boca partículas suspendidas en el agua. Al capturar la materia orgánica suspendida, ayuda a clarificar los cuerpos de agua donde se encuentren, por lo que presentan una función ecológica importante en los cuerpos de agua de su rango de distribución nativa. Pero, por ser animales con alimentación suspensívora estos impactan el ciclo de nutrientes y la cadena alimenticia en los lugares donde han sido introducidos. Además, por su forma de alimentación pueden acumular sustancias contaminantes. Simionov et al. (2022) en un estudio desarrollado en el lago Soschi en el delta del Río Danubio (Europa), encontraron que *Pectinatella magnifica* acumula trazas de varios metales pesados como Fierro, Zinc, Manganeso, Cobre, Níquel, Cromo, Cobalto, Cadmio y Plomo. De acuerdo con Todorov et al. (2020), la invasión de *P. magnifica* en Europa causa impactos negativos en la industria pesquera, acuicultura, producción eléctrica e irrigación agrícola.

¿CÓMO SE DISPERSA *PECTINATELLA MAGNIFICA*?

Los modos de dispersión de *Pectinatella magnifica* no están estudiados completamente. Su dispersión natural puede hacerse de manera pausada, con ayuda de las corrientes de agua o a través de vectores biológicos, pero también su dispersión puede estar mediada por vectores antropogénicos como se explica a continuación. Como todos los briozoos, su ciclo de vida contempla tanto la reproducción sexual como la asexual, en zonas templadas, la reproducción sexual ocurre durante los meses de mayo y junio (Rodríguez & Vergon 2002).

Para la reproducción asexual, *Pectinatella magnifica* genera unas estructuras denominadas estatoblastos (Fig. 3C), que son componentes asexuales de reproducción con un diámetro de 1.6 mm, están levemente curvados y tienen un contorno circular. Estos estatoblastos se componen de una cápsula que alberga material germinativo y están incrustados en un anillo neumático periférico que le ayuda a flotar, lo que les facilita su dispersión en el agua; a estas estructuras se les conoce también como *flotoblastos*. El anillo posee espinas en forma de ancla, con un cuerpo aplanado con dos ganchos laterales (Fig. 3D), estas espinas son pequeñas, tienen una longitud de

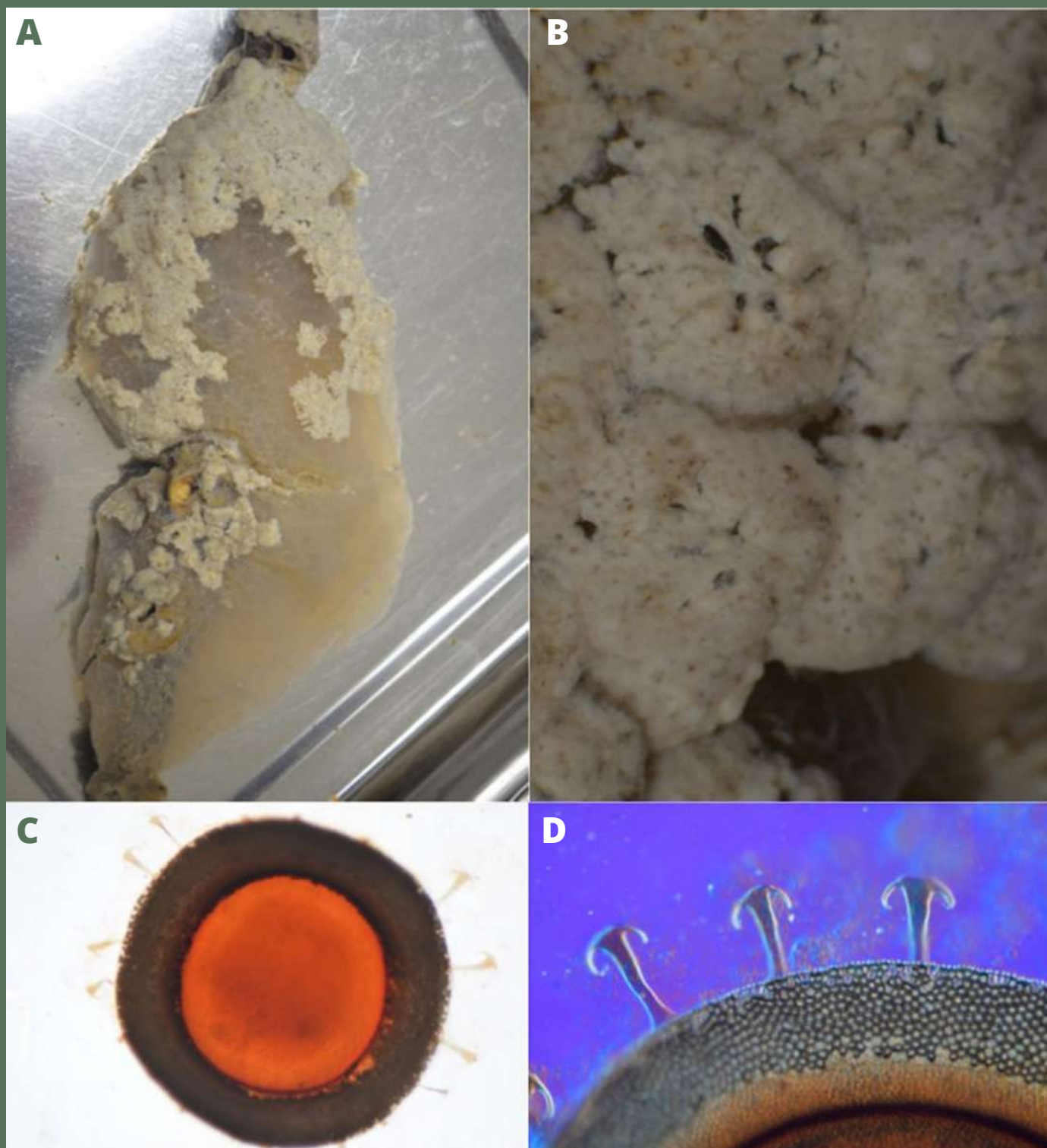


Figura 3. A. Estructura gelatinosa de *Pectinatella magnifica* en laboratorio; B. Detalle de la imagen anterior mostrando las colonias de forma poligonal; C. Estatoblasto; D. Espinas bifurcadas de los estatoblastos, detalle. Medidas: C= 0.8mm; D= 0.2mm.

0.2 mm. Los ganchos sirven para adherirse al cuerpo, pelos o plumas de animales acuáticos, lo que facilita su dispersión mucho más allá del lugar donde se originaron. Cuando el transporte de estatoblastos se da en las plumas de las aves, el proceso se conoce como “zoocoria” (Oda, 1974, Balounova et al 2013), y gracias a estas estructuras y a su vector biológico, las aves, la especie puede alcanzar otros cuerpos de agua lejanos a su área de distribución natural. Otra forma de dispersión es el constante movimiento de embarcaciones de recreo o de pesca deportiva entre lagos, ya que los flotoblastos fácilmente se pueden adherir a las estructuras de madera recubiertas por alfombra que sirven de soporte para las embarcaciones en sus remolques, y como pueden estar un tiempo considerable fuera del agua, estas aprovecharían la siguiente inmersión al visitar otras zonas dentro del mismo lago, u otro. Asimismo, se ha mencionado que la dispersión de la especie puede ocurrir de manera inadvertida en prácticas asociadas al transporte de peces para la acuicultura, acuariofilia y adherida a equipos de pesca deportiva (Osburn 1921, Seo 1998).

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

Como se ha mencionado anteriormente, la distribución nativa de *Pectinatella magnifica* abarca el este de Norteamérica, desde Nuevo Brunswick y Ontario en Canadá, hasta Luisiana y Texas en Estados Unidos (Marine Exotic Species Information System, 2025). En América, esta especie fue reportada por Rogick & Brown (1942) de un solo estatoblasto germinado en el río de la Pasión en Seibol, Guatemala, Centroamérica. Como especie introducida, el primer reporte de *P. magnifica* en Europa se realizó en Hamburgo, Alemania en 1883 (Zimmer, 1906). Por más de 100 años estuvo restringida para la zona central de Europa, en las inmediaciones de los ríos Elba y Rin en Alemania, y el río Oder que nace en la República Checa y divide Polonia y Alemania (Todorov et al. 2020). Desde entonces, se ha reportado para Polonia, Alemania, Rumania, Francia, Holanda, República Checa, Luxemburgo, Austria, Hungría y Asia Menor (Balounova et al 2013, Szekeres et al 2013). Los registros más recientes son los de Massard et al. (2013) para

Luxemburgo, Zoric et al. (2015) para Serbia y Hungría, Nastase et al. (2017) para Rumania, Todorov et al. (2020) para Bulgaria y Sheers et al (2022) para Bélgica. En Japón fue reportada por Oda (1974), para Corea por Seo (1998) y para China por Wang et al. (2017).

¿ES *PECTINATELLA MAGNIFICA* UNA ESPECIE INTRODUCIDA E INVASORA EN MÉXICO?

El municipio de China, Nuevo León, donde se ubica la presa El Cuchillo-Solidaridad se encuentra en el Reino Neártico (Udvardy 1975, Olson et al. 2021), así como también el área de origen de *Pectinatella magnifica*, por lo que no podría considerarse una especie exótica en México en términos biogeográficos, pues se encuentra dentro del rango de su distribución natural. Sin embargo, el reporte presentado es un nuevo registro de la especie para el país.

La presa ha sido frecuentada periódicamente en las dos últimas décadas por aficionados a la pesca, y nunca antes se había alertado de la presencia de las colonias tan *su generis* de *P. magnifica*, probablemente debido a que no se habían visitado después de un desfogue que provocará la exposición a simple vista de estos organismos. Sin embargo, existe también la posibilidad de que la especie haya sido traslocada recientemente de otros cuerpos de agua cercanos. Las poblaciones de *P. magnifica* en el presa no proliferaron, y aunque es recomendable su monitoreo, no presentaron comportamiento invasivo.

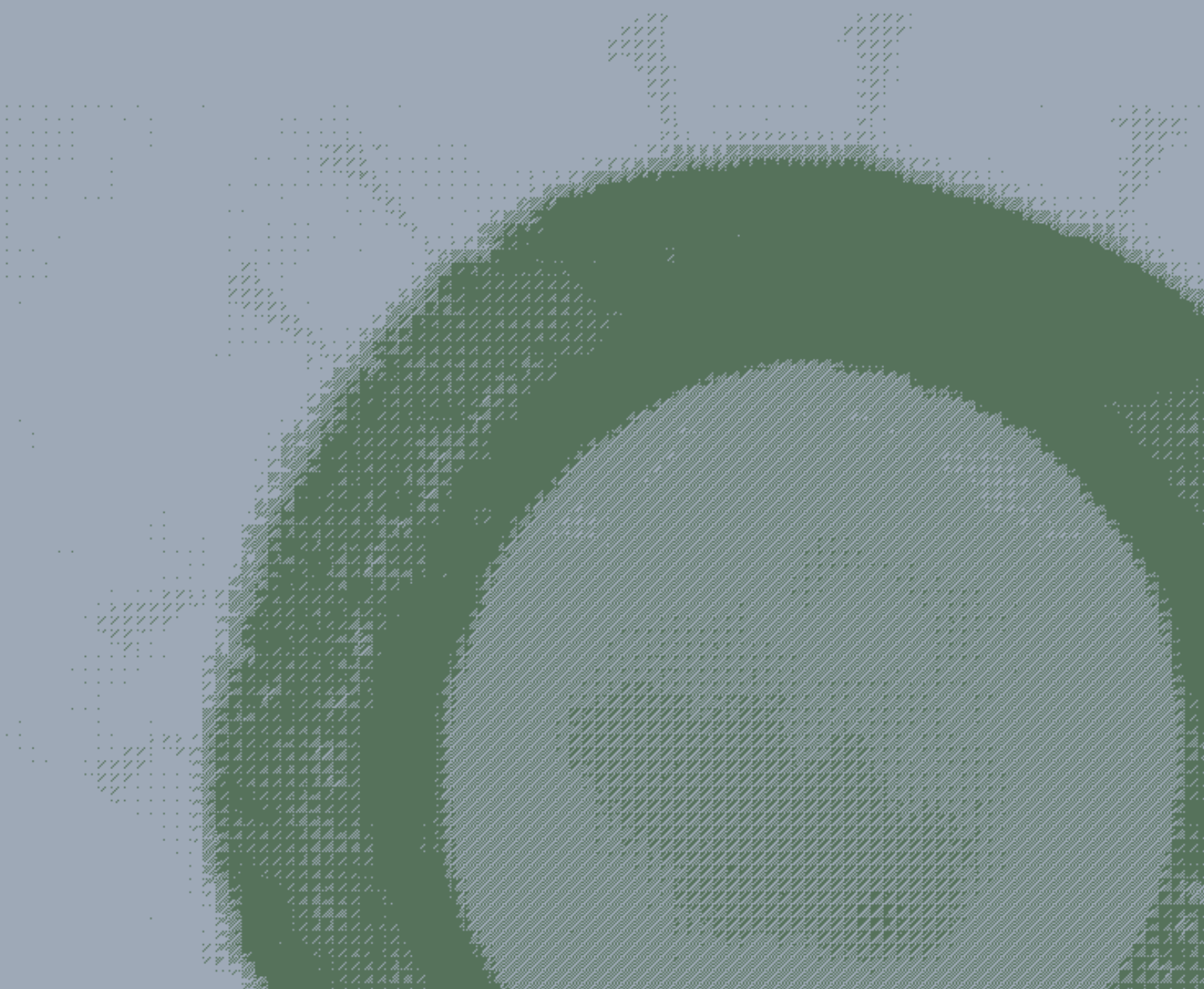
A este propósito, indagando en las colecciones de invertebrados no artrópodos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, se encontró un ejemplar de *P. magnifica* colectado en la Presa Cerro Prieto, en el municipio de Linares, Nuevo León, por una estudiante (L.A. Valdez) el 9 de noviembre de 2008, sin embargo, por una sequía extrema, ese cuerpo de agua prácticamente quedó seco por varios años, tomando su nivel máximo a mediados del 2024 tras una tormenta de temporada. Fuera del presente hallazgo y el reporte para Cerro Prieto de 2008, no se conoce para otra localidad en aguas continentales mexicanas.

Literatura citada



- Balounová, Z., E. Pechousková, J. Rajchard, V. Joza & J. Sinko. (2013). World-wide distribution of the Bryozoan *Pectinatella magnifica* (Leidy 1851). *European Journal of Environmental Sciences*. 3(2): 96–100.
- Bushnell, J. H. (1971). Porifera and Ectoprocta in Mexico: architecture and environment of *Carterius latitensus* (Spongillidae) and *Fredericella australiensis* (Fredericellidae). *The Southwestern Naturalist*, 15(3): 331–346.
- d'Hondt, J. & B. Conde. (1996) Une espece de Bryozoaires d'eau douce (Phylactolaemates) nouvelle pour la faune française: *Pectinatella magnifica* (Leidy 1851), *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*. 65: 322–326.
- Dosil Mancilla, F.J. y J. Cremades U. 2004. El zoólogo Enrique Rioja (1895-1963). Datos sobre su vida y su contribución a la ciencia y a la cultura en España y en México. Actas VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, Logroño, SEHCyT, Universidad de la Rioja, 497-517
- Everitt, B. (1975). Fresh-water Ectoprocta: distribution and ecology of five species in southeastern Louisiana. *Transactions of the American Microscopy Society*. 94: 130–134.
- Fernández-Álamo, M.A. & Rivas, G. 2018. Phylum Ectoprocta (pp. 297-304). En: Fernández-Álamo, M.A. & Rivas, G (Eds). Niveles de organización en animales. UNAM, México, Distrito Federal.
- Humara-Gil, K.J., & C. Cruz-Gómez. 2019. First record of the non-indigenous bryozoan *Amathia verticillata* (delle Chiaje, 1822) (Bryozoa, Vesiculariidae) in the southern Mexican Pacific. *Check List* 15 (3): 515–522.
- Key, M.M Jr. & Hendrickx, M.E. 2022. *Biflustra irregularata* (Cheilostomata: Membraniporidae): A tsunami debris rafted Indo-Pacific bryozoan found in the eastern Pacific Ocean. *Zootaxa*. 5128(3): 340-354.
- Lacourt, A.W. (1968). A monograph of the freshwater Bryozoa Phylactolaemata. *Zoologische Verhandelingen*. 93: 1–159.
- Leidy, J., (1851). *Cristatella magnifica*, n. s. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 5: 265-266.
- Marine Exotic Species Information System (NEMESIS). 2025. https://invasions-si-edu.translate.goog/nemesis/species_summary/156731?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Massard, J.A. & G. Geimer. (2008). Global diversity of bryozoans (Bryozoa or Ectoprocta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595:93–99.
- Massard, J.A., G. Geimer & E. Wille. (2013). Apparition de *Pectinella magnifica* (Leidy, 1851) (Bryozoa, Phylactolaemata) dans le lac de barrage d'Esch-sur-Sure (Luxembourg). *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois*. 114: 131-148.
- Medina-Rosas P, Tovar-Hernández MA (2012) Capítulo 7, Bryozoa, Cnidaria, Kamptozoa. In: Low-Pfeng AM, Peters-Recagno EM (Eds.) Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano. Geomare, A. C. and INE-SEMARNAT, México, 107–130.
- Morse, W., 1930. The chemical constitution of *Pectinatella*. *Science* 71 (1836): 265.
- Nastase, A., S. Covaliov, M. Doroftei, G. Tiganov & V. Otel. (2017). New record in Romanian Danube delta part as an extension in the Lower Danube area of the non-native bryozoan *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851). *Romanian Journal of Biology (Zoology)*, 62(1-2): 41-51.
- Neck, R., & R. Fullington. (1983). New records of the fresh-water ectoproct *Pectinatella magnifica* in Eastern Texas. *Texas Journal of Science*. 35(3): 269-271.
- Oda S (1974) *Pectinatella magnifica* occurring in Lake Shoji, Japan. *Proceedings of the Japanese Society of Systematic Zoology*. 10: 31–39.
- Okland, J. & K.A. Okland. (2025). Freshwater bryozoans (Bryozoa) of Norway V: review and comparative discussion of the distribution and ecology of the 10 species recorded. *Hydrobiologia*. 534: 31-55.
- Olson, D.M.; E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, G.V. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'Amico, I. Itoua, H.E. Strand, J.C. Morrison. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth a new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*. 51, 933–938.
- Ramos-Morales, A., J.D. Gómez-Vásquez, M.S. García-Madrigal & J.R. Bastida-Zavala. (2024). Fouling invertebrates from PVC plates at Chahué Marina, Oaxaca, Southern Pacific coast of Mexico. *Check List*. 20(3): 728-760. <https://doi.org/10.15560/20.3.728>
- Rioja, E. 1940a. Esponjas, Hydrozoarios y Bryozoos del Lago de Pátzcuaro. *Anales del Instituto de Biología, México*, 2: 443-443.
- Rioja, E. 1940b. Contribución al conocimiento de los bryozoarios del Lago de Xochimilco. *Anales del Instituto de Biología, México*, 2: 585-592.
- Szekeres, J., A. Akác & B. Csányi. (2013). First record of *Pectinatella magnifica* (Leidy 1851) in Hungary; Water Research and Management, 3(4): 47-49.
- Seo, J.E. (1998). Taxonomy of the freshwater bryozoans from Korea. *Korean Journal of Systematic Zoology*. 14: 371–378.
- Schwaha T, Bauder JAS (2021). The freshwater bryozoan *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851) in the Austrian Danube: first evidence in the Upper Danube basin. *BiolInvasions Records* 10(2): 313-318.
- Simionov, I. A., M. Călmuc, A. Antache, V. Călmuc, S.M. Petrea, A. Nica, V. Cristea & M. Neculiata. (2022). The use of *Pectinatella magnifica* as bioindicator for heavy metals pollution in Danube Delta. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 11: 181-186.
- Todorov, M., M. Kenderov, I. Botev, Z. Hubenov & T. Trichkova. (2020). First Records of *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851) (Bryozoa: Plumatellida: Pectinatellidae) in the Bulgarian Shoreline Zone of the Danube River. *Acta Zoologica Bulgarica*. 72(4): 611-617.
- Tovar-Hernández, M. A., de León-González JA. & García-Garza, ME. 2021. On some poorly known bryozoans (Ectoprocta) from Mazatlán, southern Gulf of California, Mexico. *GEOMARE ZOOLOGICA*. VOL 3(1): 45-54.

- Udvardy, M.D. 1975. A Classification of the Biogeographical Provinces of the World; IUCN Occasional Paper 18: Morges, Switzerland, 1975; pp. 1–49.
- Wang, B, H. Wang & Y. Cui. (2017). *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851) (Bryozoa, Phylactolaemata), a biofouling bryozoan recently introduced to China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 35(4): 815-820.
- Zhang, Z., Zhang, Z., Ma, J. *et al.* Fossil evidence unveils an early Cambrian origin for Bryozoa. *Nature*. 599, 251–255 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04033-w>
- Zimmer, C. (1906). *Pectinatella magnifica* (Leidy) in der Oder. *Zoologischer Anzeiger*. 29: 427-428.
- Zoric, K., J. Szekeres, B. Csányi, S. Kolarevic, V. Markovic & M. Paunovic. 2015. Distribution of the Non-native Bryozoan *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851) in the Danube River. *Acta Zoologica Bulgarica*, 67(2): 241-247.







¿Qué atrae a las hembras de los mosquitos a oviponer? Los secretos detrás de sus elecciones.

ADRIANA E. FLORES SUÁREZ*, SELENE M. GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ, JESÚS A. DÁVILA BARBOZA, EDUARDO A. REBOLLAR TÉLLEZ, IRAM P. RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, DANIELA CERDA APRESA, BEATRIZ LÓPEZ MONROY.

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad, s/n Cd. Universitaria, 66455 San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. adriana.floressr@uanl.edu.mx selene.gutierrezro@uanl.edu.mx jdavilab@uanl.edu.mx eduardo.rebollartl@uanl.edu.mx iram.rodriguezsa@uanl.edu.mx daniela.cerdaap@uanl.edu.mx beatriz.lopezmr@uanl.edu.mx

*Correspondencia: adriana.floressr@uanl.edu.mx



Palabras clave: Mosquitos, comportamiento de oviposición, infoquímicos, semioquímicos, urbanización, cambio climático, ovitrampa autocida, control vectorial.

Keywords: Mosquitoes, oviposition behavior, infochemicals, semiochemicals, urbanization, climate change, autocidal ovitrap, vector control.

RESUMEN

La selección de sitios de oviposición por parte de las hembras de mosquitos es un proceso multifactorial que integra señales químicas, factores físicos y adaptaciones evolutivas. Este comportamiento no solo asegura la supervivencia de la descendencia, sino que también tiene implicaciones críticas en la transmisión de enfermedades como el dengue, malaria y Zika, entre otras. Este artículo explora los mecanismos involucrados en la selección de sitios de oviposición, destacando el papel de las señales químicas, su integración con factores físicos y procesos ecológicos. También se aborda cómo la urbanización y el cambio climático han alterado significativamente los patrones de oviposición, generando hábitats artificiales y modificando la dinámica poblacional de los mosquitos. Finalmente, se analiza cómo estos conocimientos han impulsado el desarrollo de herramientas innovadoras de control vectorial, incluyendo ovitrampas autocidas, dispositivos autodiseminadores y materiales novedosos como hidrogeles y semioquímicos para atraer o repeler hembras grávidas. Estas estrategias integradas ofrecen herramientas efectivas para la vigilancia, reducción de poblaciones vectoriales y mitigación de enfermedades transmitidas por mosquitos.

ABSTRACT

Oviposition site selection by female mosquitoes is a multifactorial process integrating chemical signals, physical factors, and evolutionary adaptations. This behavior not only ensures the survival of their offspring but also has critical implications for the transmission of diseases such as dengue, malaria, and Zika, among others. This article explores the mechanisms involved in oviposition site selection, highlighting the role of chemical signals and their integration with physical factors and ecological processes. It also addresses how urbanization and climate change have significantly altered oviposition patterns, created artificial habitats, and modified mosquito population dynamics. Finally, the article examines how this knowledge has driven the development of innovative vector control tools, including autocidal ovitraps, autodissemination devices, and novel materials such as hydrogels and semiochemicals to attract or repel gravid females. These integrated strategies provide effective tools for mosquito surveillance, vector population reduction, and the mitigation of mosquito-borne diseases.

INTRODUCCIÓN

¿Alguna vez te has preguntado por qué las hembras de mosquito eligen ciertos lugares para depositar sus huevos? Esta pregunta, que podría parecer trivial, encierra secretos fascinantes para comprender mejor a estos pequeños pero importantes insectos. La selección de sitios de oviposición por parte de las hembras de mosquito es un proceso multifactorial que combina aspectos químicos, ambientales y comportamentales para garantizar la supervivencia de la descendencia (Rey y O'Connell, 2014). Este proceso tiene implicaciones críticas en ecología y salud pública, ya que los mosquitos son vectores de enfermedades como el dengue, la malaria, el Zika, la fiebre amarilla, entre otras, que afectan anualmente a millones de personas en regiones tropicales y subtropicales (World Health Organization, 2024).

Actualmente, se reconocen más de 3,700 especies de mosquitos en el mundo (Mosquito Taxonomic Inventory, 2024), las cuales exhiben estrategias reproductivas diferentes en cuanto al tipo de huevo y su tiempo de eclosión, lo que refleja adaptaciones al ambiente en el que se desarrollan. En términos generales, los huevos pueden clasificarse como de eclosión rápida o eclosión retardada, dependiendo de su respuesta al entorno tras ser depositados.

Los huevos de eclosión rápida completan su desarrollo embrionario poco después de ser puestos en cuerpos de agua permanentes o semipermanentes, eclosionando en un plazo de 24 a 48 horas. Este tipo de huevo es típico de especies como *Culex quinquefasciatus* y *Anopheles gambiae*, que aprovechan hábitats con disponibilidad constante de agua (Metz et al., 2022; Prasad et al., 2023). Por el contrario, los huevos de eclosión retardada están adaptados a ambientes más inestables o temporales, como charcas que se secan estacionalmente o recipientes expuestos a desecación. En este caso, los embriones completan su desarrollo, pero permanecen en estado de latencia (una pausa en la eclosión que depende de condiciones ambientales externas) dentro del huevo hasta que reciben estímulos adecuados, como el contacto con agua fresca o cambios fisicoquímicos como la reducción del oxígeno disuelto (Christophers, 1960; Diniz et al., 2017). Este tipo de estrategia permite a especies como *Aedes aegypti* mantener la viabilidad de los huevos durante semanas o incluso meses en ambientes secos, y eclosionar cuando el agua vuelve a estar disponible.

Adicionalmente, algunas especies presentan diapausa embrionaria (una pausa del desarrollo regulada internamente, incluso si las condiciones externas son favorables), inducida por señales ambientales como

el fotoperíodo. Esta estrategia permite sincronizar la eclosión con estaciones más favorables, como la temporada de lluvias o temperaturas cálidas, y se ha documentado en especies como *Aedes albopictus*, *Aedes atropalpus* y *Culex pipiens* (Diniz et al., 2017). Esta diapausa se acompaña de adaptaciones metabólicas, como el aumento en el almacenamiento de lípidos, que aseguran la supervivencia durante el periodo de inactividad (Prasad et al., 2023).

La variabilidad en estas estrategias de eclosión influye directamente en la selección de sitios de oviposición, ya que las hembras deben evaluar cuidadosamente las condiciones del ambiente para maximizar la probabilidad de supervivencia de su descendencia.

El comportamiento de oviposición en mosquitos está mediado principalmente por señales químicas, conocidas como infoquímicos (compuestos que transmiten información entre organismos y que influyen en su comportamiento o fisiología). Dentro de estos, se encuentran las feromonas (compuestos que median comunicación entre individuos de la misma especie) y los aleloquímicos (compuestos que median interacciones entre individuos de diferentes especies), que incluyen sinomonas, kairomonas y alomonas. Estos compuestos son emitidos por organismos vivos y juegan un papel clave en las interacciones ecológicas, provocando respuestas fisiológicas o de comportamiento que benefician al emisor, al receptor o a ambos (Dicke y Sabelis, 1988). Entre estos infoquímicos se encuentran compuestos ampliamente estudiados en el contexto de la oviposición en mosquitos (Bentley y Day, 1989; Millar et al., 1992; Allan y Kline, 1998; Mboera et al., 1999; Sumba et al., 2004; Torres-Estrada et al., 2005; Lindh et al., 2008; Eneh et al., 2016; Wondwosen et al., 2017; Asmare et al., 2017; Mwingira et al., 2020a; Melo et al., 2020). Además de los infoquímicos, se han descrito las apneumonas como compuestos emitidos por material no vivo, como la materia orgánica en descomposición, que pueden mediar interacciones relacionadas con la oviposición. Sin embargo, según Nordlund y Lewis (1976), las apneumonas se clasifican de manera separada y no forman parte de los infoquímicos, ya que su definición depende del origen de los compuestos más que de su papel en la interacción. Tanto los infoquímicos como las apneumonas forman parte del grupo más amplio de semioquímicos, que engloba todas las señales químicas utilizadas en la comunicación, ya sea intraespecífica, interespecífica o incluso entre organismos vivos y su entorno. Estas sustancias permiten a las hembras grávidas (con huevos desarrollados) identificar hábitats que maximicen la probabilidad de supervivencia de sus crías, funcionando como indicadores de condiciones favorables. Estas condiciones óptimas incluyen señales

químicas que reflejan la calidad del hábitat necesario para un buen desarrollo larval. Sin embargo, este proceso puede estar influenciado por la densidad ecológica, ya que, en *Aedes aegypti*, se ha observado que criaderos con una densidad superior a 4 larvas/ml generan una disminución en la oviposición. Esto ocurre porque dichas señales químicas pueden indicar un escenario potencial de hacinamiento larval, lo que desincentiva a las hembras grávidas a depositar sus huevos (Benzon y Apperson, 1988). Además de los semioquímicos, factores físicos y ambientales como la textura, la humedad, la temperatura y la salinidad del agua desempeñan un papel importante en la selección de sitios de oviposición (Chaves y Kitron, 2011; Choo et al., 2015). Estos elementos son cuidadosamente evaluados por las hembras grávidas para garantizar que el sitio seleccionado brinde las mejores condiciones posibles para la supervivencia de su descendencia.

La complejidad de este proceso no solo se basa en las señales inmediatas del entorno, sino también en adaptaciones evolutivas que han moldeado el comportamiento de oviposición de los mosquitos. Estrategias como la dispersión de huevos en múltiples sitios, la selección de hábitats protegidos y la habilidad de acceder a pequeños refugios muestran cómo los mosquitos han optimizado su éxito reproductivo frente a diversos desafíos ecológicos (Colton et al., 2003; Day, 2016). Estos comportamientos no solo aseguran la supervivencia de sus crías, sino que también influyen directamente en la dinámica poblacional de los mosquitos y, en consecuencia, en la transmisión de enfermedades.

En este artículo se abordan dos dimensiones complementarias del comportamiento de oviposición en mosquitos: primero, los factores químicos y físicos que median directamente la selección del sitio de puesta y posteriormente, los elementos ecológicos y antropogénicos, como la urbanización y el cambio climático, que modifican el contexto en el que estas decisiones ocurren.

1. COMPORTAMIENTO DE OVIPOSICIÓN: DE LOS ORÍGENES A LAS APLICACIONES ACTUALES

El estudio del comportamiento de oviposición en mosquitos ha evolucionado significativamente desde las primeras observaciones de campo realizadas a principios del siglo XX. Inicialmente, los investigadores se centraron en describir patrones de oviposición en diferentes hábitats naturales y artificiales (Haddow, 1942). Con el tiempo, el desarrollo de técnicas moleculares y químicas permitió la identificación de compuestos específicos que atraen o repelen a las hembras grávidas.

En la década de 1980, Bentley y Day (1989) establecieron la base de la ecología química de la oviposición al identificar que compuestos volátiles generados por microorganismos en el agua desempeñan un papel importante en la atracción de *Aedes aegypti*, el mosquito transmisor del dengue y otras enfermedades virales. Desde entonces, los avances tecnológicos, como la espectrometría de masas acoplado con sistemas de electroantenografía y el análisis molecular, han permitido profundizar en la comprensión de los mecanismos asociados a estas respuestas comportamentales, incluyendo la identificación de receptores olfativos específicos involucrados en la detección y respuesta biológica de señales químicas clave (Pickett y Woodcock, 1996; McMeniman et al., 2014; Raji et al., 2019; Ruel y Bohbot, 2022).

En las últimas dos décadas, el enfoque se ha desplazado hacia la integración de hallazgos científicos con estrategias prácticas de control vectorial. Por ejemplo, las trampas de oviposición han evolucionado para incluir compuestos químicos atrayentes identificados en estudios previos (Reiter et al., 1991) optimizando su diseño para maximizar la detección, monitoreo y control de poblaciones de *Aedes* spp. (Delatte et al., 2008; Brouazin et al., 2022).

Aunque la manipulación genética ha demostrado ser eficaz para reducir poblaciones de mosquitos mediante estrategias como la introducción de genes letales (Carvalho et al., 2015), la liberación de machos estériles (Alphey et al., 2010) o el uso de simbiosis bacterianos como *Wolbachia* para inducir incompatibilidades reproductivas (Bourtzis et al., 2014), su aplicación dirigida a modificar las preferencias de oviposición aún no ha sido explorada. Sin embargo, el entendimiento cada vez más detallado de los mecanismos asociados al comportamiento de oviposición, como el reconocimiento de señales químicas y factores ambientales específicos, abre una ventana de oportunidades para utilizar este enfoque en futuras estrategias de control vectorial.

2. FACTORES QUE MEDIAN LA SELECCIÓN DEL SITIO DE OVIPOSICIÓN

La selección del sitio de oviposición por parte de las hembras grávidas implica una integración compleja de señales químicas y físicas que interactúan con múltiples componentes del entorno (Fig.1). Estas señales provienen de diversas fuentes como plantas, microorganismos, depredadores y organismos conespecíficos, y actúan como indicadores clave de la calidad del hábitat donde se depositarán los huevos. La capacidad de los mosquitos para seleccionar sitios de oviposición está íntimamente ligada a la percepción de señales químicas provenientes

de su entorno. Estas señales actúan como indicadores clave de la calidad del hábitat, permitiendo a las hembras grávidas evaluar factores como la disponibilidad de recursos (Khan et al., 2023; Torto y Tchouassi, 2024; Avramov et al., 2024), la presencia de conspecíficos (Mwingira et al. 2020b), el riesgo de depredación o la competencia intraespecífica (Blaustein et al., 2004; Kiflawi et al., 2003; Silberbush et al., 2011). Emitidas por conspecíficos, microorganismos y plantas, estas sustancias químicas median complejas interacciones ecológicas que han sido moldeadas por la evolución (Millar et al., 1992; Allan y Kline, 1998; Mboera et al., 1999; Trexler et al., 2003; Mwingira et al., 2020b; Torto y Tchouassi, 2024). Su estudio no solo ayuda a comprender las estrategias reproductivas de especies como *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* y *Anopheles gambiae* (Mwingira et al., 2020a; Melo et al., 2020), sino que también abre nuevas posibilidades para desarrollar herramientas innovadoras en el control vectorial (Asmare et al., 2017; Wondwosen et al., 2021).

2.1. SEÑALES QUÍMICAS EMITIDAS POR ORGANISMOS CONESPECÍFICOS

Los compuestos volátiles emitidos por organismos conespecíficos desempeñan un papel importante en la atracción de hembras grávidas de mosquitos. En *Culex quinquefasciatus*, el compuesto eritro-6-acetoxi-5-hexadecanolida es una feromona producida en las secreciones de las balsas de huevos, que no solo atrae a individuos de su propia especie, sino también a otras especies como *Culex tarsalis*, *Culex cinereus* y *Culex tigripes* (Laurence y Pickett, 1985; Hwang et al., 1987; Mboera et al., 1999; Braks et al., 2007). Estas especies, además de ser posibles competidores, incluyen a *Cx. tigripes*, cuyos estadios larvales son depredadores eficientes de las larvas de *Cx. quinquefasciatus* (Mboera et al., 1999). En *Aedes aegypti*, los huevos emiten compuestos como el ácido dodecanoico y el metil (Z)-9-octadecenoato, que resultan atrayentes para *Ae. aegypti* y *Cx. quinquefasciatus*, mientras que otros compuestos, como el ácido hexadecanoico, tienen efectos deterrentes (disuasorios) (Ganesan et al., 2006; Sivakumar et al., 2011). Además, compuestos volátiles como el heneicosano, derivados de los huevos de *Ae. aegypti*, han demostrado ser altamente atrayentes para hembras de esta especie (Mendki et al., 2000). En el caso de las larvas, los compuestos volátiles, como el nonano producido por *Anopheles gambiae*, atraen tanto a esta misma especie como a *Cx. quinquefasciatus*. Además, la 2,4-pentanodiona, también producida por *An. gambiae*, actúa como atrayente para su propia especie, mientras que el dimetiltrisulfuro, otro compuesto liberado por *An. gambiae*, puede ejercer un efecto repelente sobre ella (Schoelitz et al., 2020).

La densidad larval también influye en el comportamiento de oviposición, favoreciendo la puesta de huevos

cuando las densidades son bajas y actuando como inhibidor cuando estas son altas, como se ha observado en *An. gambiae* (Sumba et al., 2008).

2.2. SEÑALES QUÍMICAS EMITIDAS POR MICROORGANISMOS

Los microorganismos tienen un papel clave en la modulación del comportamiento de oviposición de hembras grávidas de mosquitos mediante la emisión de señales químicas específicas (Girard et al., 2021). Por ejemplo, *Pseudomonas aeruginosa* emite 7,11-dimetil-octadecano, un compuesto que atrae a *Aedes aegypti* (Ikeshoji et al., 1979), mientras que *Psychrobacter immobilis* y *Sphingobacterium multivorum* producen volátiles no identificados que atraen a *Aedes albopictus* (Trexler et al., 2003). Diversas bacterias como *Pantoea*, *Klebsiella*, *Acinetobacter*, *Aeromonas* y *Bacillus* spp. emiten compuestos químicos que atraen a *Anopheles gambiae*. Sin embargo, *Stenotrophomonas maltophilia* actúa como deterrente para esta especie (Huang et al., 2006). *Vibrio metchnikovii* produce 2-metil-3-decanol, un compuesto que también resulta atractivo para *An. gambiae* (Lindh et al., 2008). Además, volátiles de varias especies de bacterias, como ácidos carboxílicos y ésteres metílicos, son atrayentes para *Ae. aegypti* (Ponnusamy et al., 2008; Ponnusamy et al., 2010a). En el caso de cianobacterias como *Kamptomonas* sp., el geosmin es un compuesto que atrae a *Ae. aegypti* (Melo et al., 2020). Compuestos volátiles emitidos por *Leptolyngbya* a partir de biopelículas cianobacterianas pueden atraer a *Anopheles albimanus* y *Anopheles vestitipennis* en concentraciones bajas (Rejmánková et al., 2005). Este conjunto de interacciones químicas resalta el papel de los microorganismos en los patrones de oviposición de diferentes especies de mosquitos.

Además, hongos asociados a rizomas emiten cedrol, un compuesto volátil que atrae a *Anopheles arabiensis* y *Anopheles gambiae* (Eneh et al., 2016). Por otro lado, *Polyporus* spp. y *Trichoderma viride* producen compuestos que tienen efectos opuestos: el primero atrae a *Aedes aegypti*, mientras que el segundo actúa como deterrente para *Culex quinquefasciatus* (Sivagnaname et al., 2001; Geetha et al., 2003).

Entre los protistas, *Ascogregarina taiwanensis* emite volátiles no caracterizados que atraen a *Aedes aegypti* (Reeves, 2004). De manera similar, la levadura *Candida near pseudoglebosa* produce señales químicas que también resultan atractivas para *Ae. aegypti* (Reeves, 2004).

2.3 METABOLITOS SECUNDARIOS DE PLANTAS Y OTROS COMPUESTOS QUÍMICOS

Las plantas y sus metabolitos secundarios desempeñan un papel importante en el comportamiento de oviposición de los mosquitos (Mwingira et al., 2020a).

Por ejemplo, el pasto de bambú (*Arundinaria gigantea*) emite compuestos que atraen a *Culex stigmatosoma* (Beehler et al., 1994). En el pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), compuestos como el 3-metilindol, el 4-metilfenol y el 4-etilfenol atraen a *Culex tarsalis* y *Culex quinquefasciatus* (Beehler et al., 1994; Mboera et al., 2000; Millar et al., 1992; Blackwell et al., 1993).

Otras especies vegetales como *Brachiaria mutica*, *Jouvea straminea*, *Erthrolipsis spadicea* y *Ceratophyllum demersum* producen compuestos como el isoeugenol, el longifoleno y el cariofileno, cuyos efectos dependen de la concentración: altas concentraciones repelen a *Anopheles albimanus*, mientras que concentraciones bajas lo atraen (Torres-Estrada et al., 2005). Las ciperáceas, como *Typha domingensis* y *Typha latifolia*, emiten volátiles que, en el caso de *T. domingensis*, pueden atraer a *An. albimanus* y *Anopheles vestitipennis* a bajas concentraciones, pero reducen la oviposición a concentraciones más altas (Rejmánková et al., 2005). Por su parte, *T. latifolia* atrae a *Coquillettia perturbans* (Serandour et al., 2010).

Las algas, como *Spyrogyra majuscula* y *Cladophora glomerata*, emiten compuestos volátiles que atraen a *Anopheles pseudopunctipennis* (Bond et al., 2005; Rejmankova et al., 2005). En árboles como *Quercus alba* (roble blanco), las infusiones de hojas fermentadas por períodos cortos atraen a *Aedes aegypti*, mientras que infusiones con fermentación más prolongada atraen a *Aedes albopictus* (Ponnusamy et al., 2010b). Las hojas de *Quercus nigra* (roble de agua) son atractivas para *Ae. albopictus*, mientras que *Pinus palustris* (pino de hoja larga) emite volátiles que tienen un efecto disuasivo en esta especie (Obenauer et al., 2010).

Las hojas de diversas plantas también influyen, como en *Aedes triseriatus*, que deposita un mayor número de huevos en infusiones de hojas en descomposición (Trexler et al., 1998). Como las infusiones de heno que suelen ser atractivas para hembras grávidas de *Aedes aegypti* (Chadee et al., 1993; Aguilar-Durán et al., 2024).

Compuestos secundarios como los flavonoides (por ejemplo, poncirina, rohtofolina, naringina y marmesina) derivados de *Poncirus trifoliata* (naranja amarga) han demostrado efectos disuasivos en *Aedes aegypti* (Rajkumar y Jebanesan, 2008). Incluso compuestos no vegetales como las soluciones acuosas de fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) pueden tener un efecto moderado, atrayendo a *Ae. aegypti* en concentraciones específicas, aunque concentraciones más altas no inducen atracción significativa (Darriet y Corbel, 2008; Darriet et al., 2010).

2.4. SEÑALES QUÍMICAS EMITIDAS POR DEPREDADORES Y OTROS ORGANISMOS

Los depredadores y otros organismos emiten señales químicas, conocidas como kairomonas, que influyen significativamente en el comportamiento de oviposición de los mosquitos y en las respuestas antipredatorias de sus larvas. Por ejemplo, la libélula *Anax imperator* y el escarabajo buceador *Eretes griseus* producen señales volátiles que disuaden a *Culiseta longiareolata* y *Culex tritaeniorhynchus*, respectivamente (Stav et al., 1999; Ohba et al., 2012). De manera similar, el nadador de dorso *Notonecta maculata* emite señales que repelen a *Cs. longiareolata* y *Anopheles gambiae* (Spencer et al., 2002; Blaustein et al., 2004; Munga et al., 2006; Ohba et al., 2012).

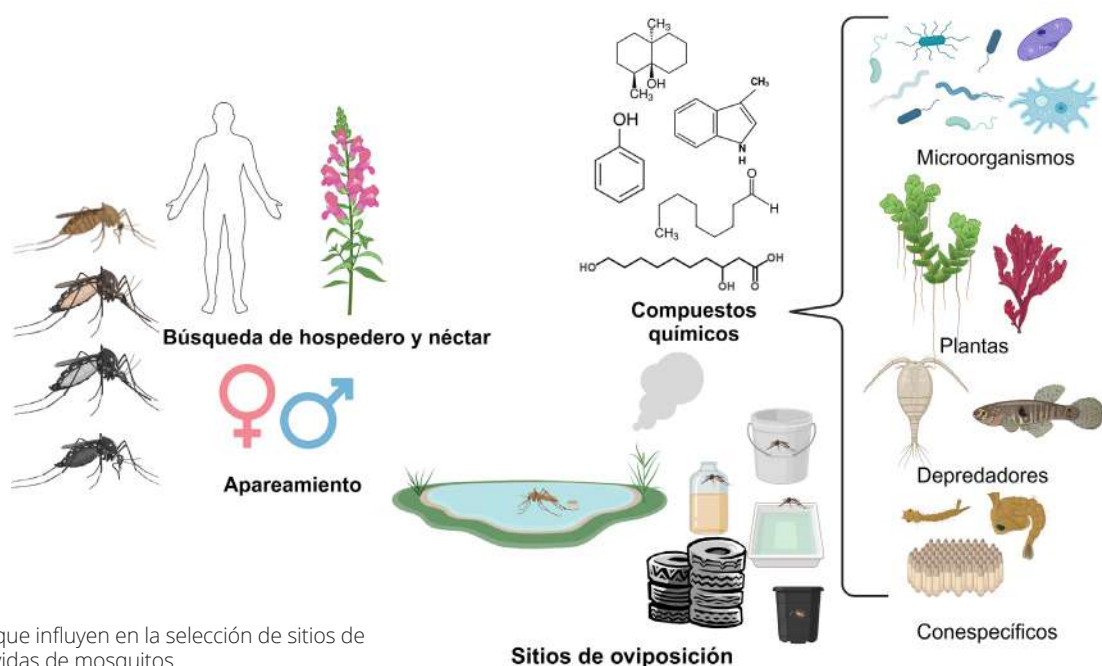


Figura 1. Factores químicos que influyen en la selección de sitios de oviposición por hembras grávidas de mosquitos.

Las larvas de rana *Limnodynastes peronei*, *Crinia signifera* y *Bufo viridis* producen señales químicas que disuaden a *Culex quinquefasciatus*, *Ochlerotatus australis* y *Culiseta longiareolata*, respectivamente (Mokany y Shine, 2003; Blaustein y Kotler, 1993). Además, las ninfas de libélulas emiten señales de predación que influyen en el comportamiento de las larvas de mosquitos, provocando que reduzcan su movimiento. Esto favorece estrategias de evasión y disminuye la probabilidad de ser detectadas por depredadores (Kroth et al., 2025). Aunque estas señales suelen disuadir a las hembras grávidas de ovipositar, en algunos casos, como en *Aedes aegypti*, las hembras pueden elegir sitios con señales químicas de depredadores debido a la mayor disponibilidad de materia orgánica y recursos alimenticios, aun cuando esto implique un mayor riesgo para sus larvas (Albeny-Simões et al., 2014; Kroth et al., 2025).

Por otro lado, los copépodos, como *Mesocyclops longisetus*, emiten compuestos volátiles como el 3-carene, el α -terpineno, el α -copaene y el δ -cadinene, que resultan atractivos para *Aedes aegypti* (Torres-Estrada et al., 2001). Moluscos como *Paphia undulata* producen señales que atraen a *Aedes albopictus* (Thavara et al., 2004), mientras que peces como *Gambusia affinis* y *Betta splendens* emiten señales químicas que disuaden a *Culex pipiens*, *Culex quinquefasciatus*, *Culex tarsalis* y *Ae. aegypti* (Angelon y Tetracka, 2002; Van Dam y Walton, 2008; Cavalcanti et al., 2009; Pamplona et al., 2009).

Estos hallazgos destacan la importancia de las señales químicas emitidas por depredadores y otros organismos en la regulación del comportamiento de oviposición, actuando como mecanismos de defensa o disuasión para evitar el establecimiento de mosquitos en áreas con alto riesgo de depredación o competencia.

2.5. FACTORES FÍSICOS Y SU INTERACCIÓN CON SEÑALES QUÍMICAS

La selección de sitios de oviposición por parte de los mosquitos está influenciada por una combinación de señales químicas y factores físicos, como la luz, la humedad, la temperatura, el pH, la textura del sustrato, el tamaño, el color del criadero y las características ópticas del agua (Fig. 2). Estas variables trabajan en conjunto para guiar a las hembras grávidas hacia hábitats que maximicen la supervivencia de su descendencia (Wong et al., 2011; Chumsri et al., 2018; Xia et al., 2021; Tchouassi et al., 2022).

La luz es uno de los factores físicos más relevantes, modulando los comportamientos de vuelo y oviposición. Especies como *Aedes aegypti* prefieren sitios de oviposición en condiciones de iluminación tenue, mientras que *Aedes albopictus*, *Culex quinquefasciatus* y *Anopheles gambiae* son atraídos por recipientes oscuros que reflejan menos luz (Williams, 1962;

Dhileepan, 1997; Hoel et al., 2011). Los reflejos de luz polarizada y ultravioleta en la superficie del agua también son utilizados por los mosquitos para identificar hábitats potenciales (Bentley y Day, 1989; Day, 2016). Sin embargo, este comportamiento puede variar entre especies; por ejemplo, *Ae. aegypti* no utiliza la luz polarizada para seleccionar sitios de oviposición (Bernáth et al., 2008). Esta interacción entre luz y señales químicas es importante para la localización precisa de sitios de oviposición, ya que los estímulos visuales pueden potenciar la respuesta a señales olfativas de largo alcance.

La humedad y la temperatura ambiental también influyen significativamente en el comportamiento de oviposición. Los receptores sensoriales en las antenas de los mosquitos les permiten evaluar la calidad del hábitat, siendo más activos en condiciones de alta humedad y temperaturas cálidas (Koenraadt et al., 2003; Zuharah y Lester, 2010; Day, 2016). Sin embargo, factores como la velocidad del viento pueden limitar la eficiencia del vuelo y la capacidad de localizar sitios adecuados (Day, 2016).

Los factores físicos también interactúan con la calidad del agua en el hábitat, que a menudo contiene señales químicas relacionadas con la descomposición de materia orgánica. En experimentos con infusiones vegetales como las de pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), se observó que especies como *Aedes albopictus* y *Culex quinquefasciatus* mostraron preferencias por concentraciones específicas de compuestos asociados a la materia en descomposición. Sin embargo, estas preferencias también están moduladas por factores físicos, como la temperatura del agua, que puede influir en la dispersión y disponibilidad de los volátiles químicos (Allgood y Yee, 2017).

Otro aspecto por considerar es que las condiciones ambientales además determinan las estrategias de oviposición. Por ejemplo, *Aedes albopictus* adopta una estrategia más flexible al seleccionar diversos sitios de oviposición, lo que le permite reducir los riesgos asociados con las variaciones ambientales. En contraste, *Culex quinquefasciatus* prefiere sitios de oviposición con mayores concentraciones de recursos, mostrando una selección más específica (Allgood y Yee, 2017). Estas diferencias están influenciadas tanto por las señales químicas como por las propiedades físicas del entorno.

Las hembras grávidas de *Aedes aegypti* combinan estímulos químicos y táctiles para evaluar la idoneidad del sitio de oviposición, priorizando superficies que ofrecen un ambiente estable y recursos para el desarrollo larval (Bentley y Day, 1989; Mwingira et al., 2020a). En entornos naturales, la textura del sustrato

y la actividad de microorganismos que descomponen materia orgánica desempeñan un papel importante al modificar las señales químicas disponibles, las cuales interactúan con factores físicos del ambiente (Amarakoon et al., 2008).

En general, estas interacciones entre factores físicos y señales químicas no solo destacan la complejidad del comportamiento de oviposición en mosquitos, sino que también ofrecen oportunidades para diseñar trampas y estrategias de control más efectivas. Comprender cómo estos estímulos trabajan conjuntamente es esencial para el desarrollo de herramientas que imiten características atractivas para las hembras grávidas y que maximicen su eficacia en el manejo de vectores.

3. CAMBIOS AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LA OVIPOSICIÓN

3.1 INFLUENCIA DE LA URBANIZACIÓN

La urbanización ha transformado significativamente los ecosistemas, alterando los patrones de oviposición de mosquitos, especialmente en especies como *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, vectores de enfermedades como el dengue, Zika y chikungunya. La expansión de áreas urbanas, particularmente en países de ingresos bajos y medios, ha generado condiciones favorables para la reproducción de estos mosquitos, como el saneamiento deficiente, la alta densidad poblacional,

una gestión inadecuada del agua y los residuos sólidos (Abbasi, 2025). Esto ha dado lugar a la proliferación de criaderos artificiales, incluidos recipientes plásticos, tanques de agua, llantas y macetas, que retienen agua y proporcionan ambientes estables para la oviposición. Estas condiciones son aprovechadas particularmente por especies como *Ae. aegypti*, que muestra una notable capacidad de adaptación a los ambientes urbanizados (Wilke et al., 2019; Kolimenakis et al., 2021).

Además, la urbanización favorece la homogenización biótica, permitiendo que especies altamente adaptadas como *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* dominen el paisaje urbano, desplazando a otras menos resilientes hacia hábitats rurales o naturales (Reiter, 1996; Wilke et al., 2019; Kolimenakis et al., 2021). Los paisajes urbanos no solo eliminan hábitats naturales y depredadores, sino que también intensifican la acumulación de desechos, generando criaderos estables y predecibles. Estas condiciones favorecen la reproducción de especies como *Ae. aegypti*, que utiliza depósitos artificiales pequeños para ovipositar, aumentando su capacidad de colonizar áreas urbanizadas (Juliano y Lounibos, 2005; Wilke et al., 2019). Este fenómeno se ve exacerbado por la densidad de población humana, que incrementa el contacto entre humanos y vectores, amplificando el riesgo de transmisión de arbovirus como el dengue. (McKinney, 2006; Romeo-Aznar et al., 2022) (Fig. 3).

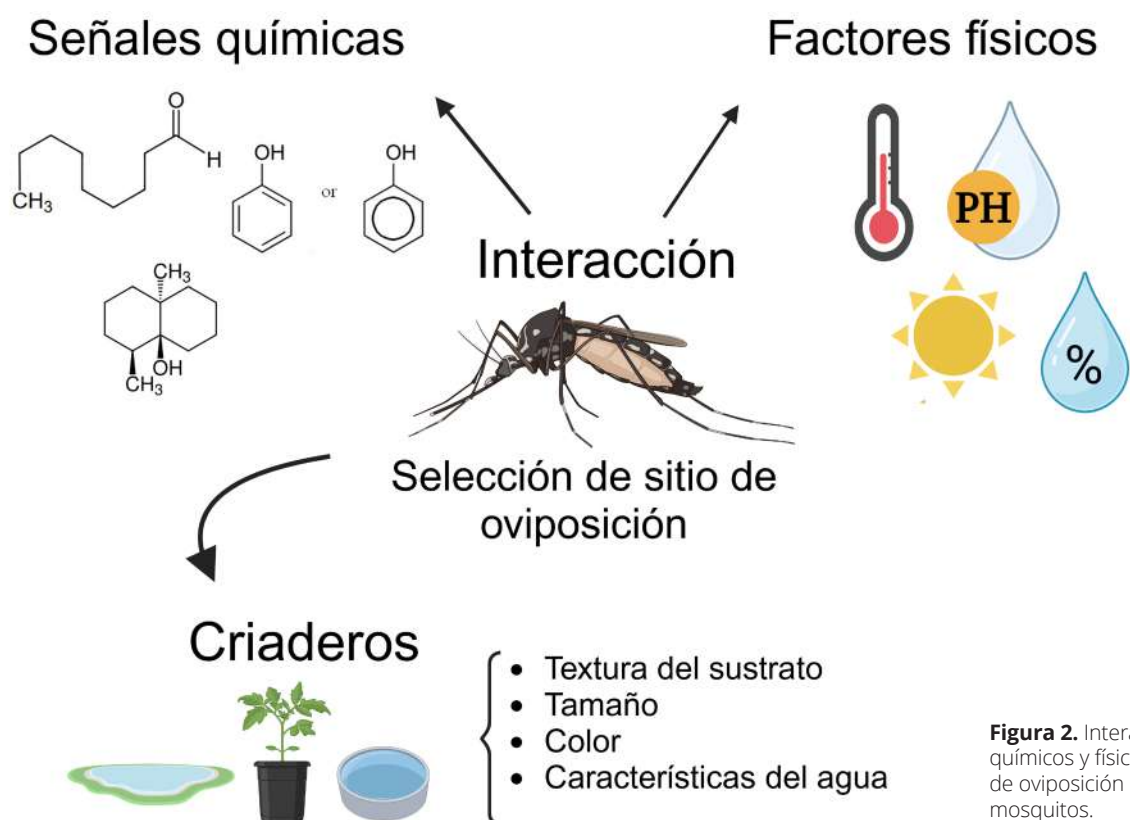


Figura 2. Interacción entre factores químicos y físicos en la selección de sitios de oviposición por hembras grávidas de mosquitos.

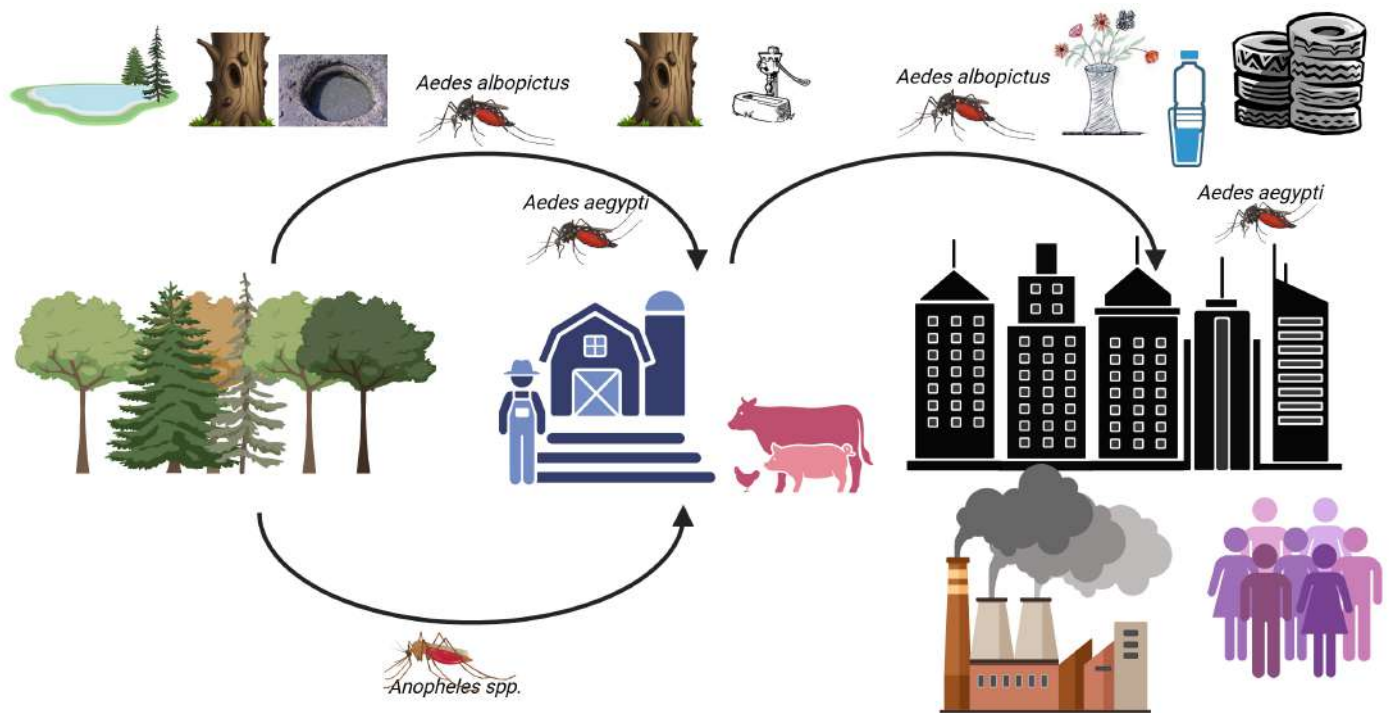


Figura 3. Transición y adaptación de mosquitos entre ambientes naturales, rurales y urbanos.

3.2. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático intensifica los efectos de la urbanización y otros factores antropogénicos al alterar patrones de temperatura, precipitación y humedad, elementos clave en el ciclo de vida de los mosquitos. Las temperaturas más cálidas no solo aceleran el desarrollo larval y acortan los tiempos generacionales, sino que también prolongan la temporada reproductiva, permitiendo múltiples generaciones por año en especies como *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Kolimenakis et al., 2021; Abbasi, 2025). Por su parte, las lluvias intermitentes y eventos extremos, como inundaciones, generan criaderos temporales, lo que favorece a especies adaptadas a hábitats efímeros. En regiones con estaciones secas prolongadas, *Ae. aegypti* depende de criaderos artificiales como tinacos, cubetas o llantas, consolidando su estrecha asociación con ambientes humanizados (Rose et al., 2020; Zahouli et al., 2017).

El fenómeno de las islas de calor urbano, característico de grandes ciudades, amplifica estos efectos al elevar localmente la temperatura, reforzando el desarrollo y la actividad de los vectores, incluso fuera de las temporadas tradicionales de transmisión (Rochlin et al., 2016; Wilke et al., 2019). Esta situación no solo afecta su biología, sino también la dispersión de infoquímicos utilizados en la búsqueda de sitios de oviposición, lo que refuerza la eficacia ecológica de estas especies en entornos urbanos (Abbasi, 2025). Por ejemplo, *Aedes albopictus* ha demostrado una notable capacidad de adaptación a climas templados, facilitando su expansión

hacia regiones antes inhóspitas como el sur de Europa y zonas templadas de América del Norte, donde ya existen poblaciones estables gracias a su tolerancia al frío (Abbasi, 2025).

3.3. OTROS FACTORES ANTROPOGÉNICOS

Además de la urbanización y el cambio climático, otros factores derivados de la actividad humana influyen en los patrones de oviposición de los mosquitos y en su proliferación en ambientes modificados. Uno de estos factores es el uso intensivo de insecticidas, que genera una presión selectiva sobre las poblaciones de vectores y puede conducir al desarrollo de resistencia. Esta resistencia no solo reduce la eficacia de las estrategias de control, sino que también puede modificar el comportamiento de oviposición al alterar la percepción de señales químicas en el ambiente (Dusfour et al., 2019).

Otro factor relevante es la contaminación por microplásticos, cuya presencia en cuerpos de agua puede alterar las propiedades fisicoquímicas del hábitat de oviposición. Aunque estos materiales no parecen actuar como disuasores directos para algunas especies, por ejemplo, *Culex pipiens* continúa ovipositando en sitios contaminados, su presencia puede tener importantes implicaciones en las etapas inmaduras del mosquito (Cuthbert et al., 2019). Además, se ha observado que los microplásticos pueden modificar la microbiota bacteriana del entorno acuático, lo cual podría afectar indirectamente las señales químicas que

guían la selección de sitios de oviposición (Jones et al., 2024). Incluso se ha planteado que estos contaminantes pueden alterar la microbiota intestinal de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, con posibles repercusiones en su desarrollo, supervivencia y competencia vectorial (Edwards et al., 2023). Si bien los efectos fisiológicos y ecológicos aún no se comprenden completamente, el impacto de los microplásticos representa una preocupación creciente, especialmente en entornos urbanos y suburbanos donde estos residuos son abundantes.

Otro tipo de contaminación ambiental que puede influir en el comportamiento de oviposición de los mosquitos es la presencia de compuestos químicos derivados de actividades humanas, como fertilizantes, detergentes, metales pesados o residuos industriales. Estos contaminantes modifican las propiedades fisicoquímicas del agua y pueden alterar la microbiota acuática, afectando indirectamente las señales químicas que guían a las hembras grávidas en la selección de sitios de puesta. Por ejemplo, se ha documentado que concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo cambian la calidad del criadero y pueden favorecer o inhibir la oviposición, según la especie y el entorno. En particular, los fertilizantes sintéticos como el NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) han mostrado efectos contrastantes sobre el comportamiento de oviposición y la supervivencia larval de *Aedes aegypti*. En estudios de laboratorio, se ha observado que estos fertilizantes actúan como trampas ecológicas: atraen a numerosas hembras grávidas, pero las condiciones resultan desfavorables para las larvas, que presentan baja supervivencia (Darriet et al., 2010). En contraste, investigaciones en campo han reportado que los mismos fertilizantes están asociados con altas densidades larvales, al actuar como atrayentes de oviposición y favorecer el desarrollo de las crías. Esta diferencia podría explicarse por la rápida degradación de los fertilizantes en ambientes naturales, donde son aprovechados por plantas y microorganismos, generando condiciones más adecuadas para las larvas (Mutero et al., 2004; Muturi et al., 2007; Duguma y Walton, 2014). Estas discrepancias resaltan cómo el contexto ecológico modifica la respuesta de los mosquitos a contaminantes de origen antropogénico.

4. APLICACIONES DEL CONOCIMIENTO SOBRE OVIPOSICIÓN EN EL CONTROL Y MONITOREO DE MOSQUITOS

El éxito adaptativo de algunas especies de mosquitos en ambientes urbanizados se ha visto reforzado por adaptaciones evolutivas que incluyen una estrecha

especialización en humanos como fuente de sangre y el uso eficiente de criaderos artificiales. Estudios genómicos en *Aedes aegypti* han identificado cambios en regiones clave del genoma que refuerzan estas capacidades, incrementando el riesgo de brotes epidémicos en ciudades densamente pobladas (Powell y Tabachnick, 2013; Rose et al., 2020). Estas observaciones resaltan la importancia de considerar la biología evolutiva del vector al diseñar estrategias de control.

La integración de enfoques de planificación urbana y manejo ambiental son necesarios para mitigar los efectos de la urbanización y el cambio climático sobre los patrones de oviposición. Reducir la disponibilidad de criaderos artificiales y conservar hábitats naturales puede limitar la proliferación de mosquitos. A partir de este conocimiento, se han desarrollado diversas herramientas que aprovechan el comportamiento de oviposición para fines de vigilancia y control vectorial.

El comportamiento de oviposición de los mosquitos ha sido clave para desarrollar métodos específicos de vigilancia y control vectorial. La preferencia de *Aedes aegypti* por ovipositar en contenedores artificiales ha sido aprovechada para diseñar ovitrampas que permiten tanto el monitoreo como el control de las poblaciones locales de esta especie. De manera similar, las ovitrampas autocidas para hembras grávidas aprovechan la preferencia de especies como *Culex quinquefasciatus* por cuerpos de agua con alto contenido orgánico. Estas trampas permiten detectar la presencia de vectores y reducir sus poblaciones mediante la captura de individuos o el uso de agentes tóxicos incorporados en su diseño (Day, 2016).

El uso de semioquímicos ha transformado las estrategias de manejo vectorial al proporcionar herramientas más específicas y efectivas para el control y monitoreo de mosquitos. Estos compuestos influyen en el comportamiento de oviposición de hembras grávidas, optimizando la detección y reducción de poblaciones de vectores. Por ejemplo, el skatol (3-metilindol) y la feromona sintética de oviposición (6-acetoxi-5-hexadecanolida) han demostrado ser efectivos atrayentes para *Culex quinquefasciatus* en estudios de laboratorio y campo (Mboera et al., 2000). En *Aedes aegypti*, compuestos como el heneicosano y ciertos ácidos grasos volátiles estimulan la oviposición en concentraciones específicas (Millar et al., 1992; Mendki et al., 2000), aunque concentraciones elevadas pueden actuar como repelentes (Barbosa et al., 2007). Asimismo, el uso de mezclas de compuestos, como 3-metilindol, p-cresol y fenol, ha resultado más efectivo que los compuestos individuales, induciendo respuestas de

oviposición significativas en hembras grávidas de *Ae. aegypti* (Bak-Bak et al., 2013). También, volátiles producidos por bacterias acuáticas, como el 2-metil-3-decanol, y compuestos como el cedrol, emitido por hongos asociados a rizomas de *Cyperus rotundus*, han sido utilizados para atraer a especies como *Anopheles gambiae* y *Anopheles arabiensis* hacia trampas específicas (Lindh et al., 2008; Eneh et al., 2016). Infusiones de gramíneas, como *Cynodon dactylon* y *Megathyrsus maximus*, han demostrado ser altamente atractivas para hembras grávidas de *Aedes albopictus* bajo condiciones de laboratorio y semicampo (Santana et al., 2006; Aguilar-Durán et al., 2024). En particular, las ovitrampas autocidas con infusiones de heno, como *Cynodon nlemfuensis*, se emplearon durante el brote de Zika en Puerto Rico en 2016, mostrando alta efectividad para atraer y capturar *Ae. aegypti* y resaltando su potencial en el manejo integrado de vectores (Barrera et al., 2019).

El uso de trampas impregnadas con semioquímicos también es clave para el monitoreo de poblaciones de mosquitos. Estas herramientas permiten identificar dinámicas poblacionales y detectar vectores antes de que alcancen niveles críticos de transmisión de enfermedades. Trampas que contienen el skatol (3-metilindol), un compuesto heterocíclico que se encuentra de forma natural en las heces de vertebrados y en ciertas flores, han sido utilizadas exitosamente para el monitoreo de *Culex quinquefasciatus* en entornos urbanos (Mboera et al., 2000).

Un ejemplo innovador de trampa para el control de *Aedes* spp. emplea un enfoque integrado y autodiseminador, combinando larvicidas como piriproxifen (PPF) y un hongo entomopatógeno, *Beauveria bassiana*. Esta estrategia no solo elimina larvas dentro de la trampa, sino que aprovecha a las hembras contaminadas para dispersar los larvicidas en criaderos circundantes antes de morir, ampliando el alcance del control. Estudios han demostrado que este tipo de trampa es eficaz en la reducción de la emergencia de adultos y en la transmisión de agentes larvicidas a múltiples sitios de reproducción, destacando su utilidad en programas de manejo integrado de vectores (Snetselaar et al., 2014; Buckner et al., 2017). Este enfoque es un ejemplo de cómo las herramientas modernas están diseñadas para maximizar la efectividad y sostenibilidad en el control vectorial, y se continúan desarrollando trampas similares con otros activos para mejorar su impacto en diferentes escenarios.

El uso de materiales novedosos, como hidrogeles y dispositivos cargados con semioquímicos, ha

mostrado ser una herramienta prometedora para prolongar la efectividad de las trampas. Estos materiales permiten una liberación controlada y sostenida de los atrayentes, optimizando la duración y eficiencia de las trampas en diferentes condiciones ambientales (Dilly et al., 2023).

El conocimiento sobre atrayentes también ha revelado sustancias que actúan como deterrentes, lo que ha abierto nuevas oportunidades para el control vectorial. Derivados botánicos y aceites esenciales han mostrado ser efectivos en disuadir la oviposición de hembras grávidas en sitios tratados. Por ejemplo, extractos de *Azadirachta indica* (neem) han demostrado una deterrencia de hasta un 98.5% en *Aedes albopictus* en experimentos de campo (Benelli et al., 2015). De manera similar, aceites esenciales de *Ocimum basilicum* y *Cymbopogon citratus* han demostrado actividad deterrente contra *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* (Prajapati et al., 2005; Warikoo y Kumar, 2014). Además, el aceite esencial de *Piper betle* ha demostrado un efecto deterrente significativo, reduciendo cinco veces la oviposición de *Ae. aegypti* (Martianasari y Hamid, 2019). La eficacia de estas sustancias depende de factores como la concentración, el tipo de planta utilizada y el método de extracción. Por ejemplo, los extractos de raíces de *Argemone mexicana* han demostrado ser más efectivos como deterrentes que los extractos de hojas contra *Ae. aegypti* (Warikoo y Kumar, 2015). Además, los desafíos como la rápida degradación de los aceites esenciales en medios acuáticos resaltan la necesidad de estrategias integradas que combinen deterrentes con otras herramientas de manejo vectorial (El-Gendy y Shaalan, 2012).

Los avances recientes en biomateriales permiten incorporar deterrentes en dispositivos biodegradables, ofreciendo un enfoque más sostenible y eficiente en ambientes diversos (Dilly et al., 2023).

Una estrategia innovadora es el sistema “push-pull” (repulsión-atracción), que combina repelentes para alejar a los mosquitos de sitios no deseados y atrayentes para dirigirlos hacia trampas letales. Este enfoque ha mostrado su eficacia en el manejo integrado de vectores. Por ejemplo, compuestos como el dimetiltrisulfuro, que actúa como repelente para *Anopheles gambiae*, pueden complementarse con volátiles como la 2,4-pentanodiona, que atraen hembras grávidas hacia trampas letales (Schoelitsz et al., 2020). Este tipo de estrategias permite reducir las poblaciones locales de mosquitos minimizando el uso de insecticidas tradicionales y mitigando los impactos ambientales.

Las ovitrampas autocidas, como las que utilizan insecticidas, agentes biológicos como *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), o extractos de neem, aprovechan el comportamiento natural de oviposición para reducir las poblaciones larvarias antes de su emergencia como adultos (Perich, et al., 2003; Mboera et al., 2003; Barbosa et al., 2010; Barbosa y Regis, 2011) (Fig. 4).

El avance en la identificación de semioquímicos específicos para diferentes especies sigue siendo una pieza clave en el desarrollo de herramientas sostenibles para el control vectorial. Estos compuestos no solo mejoran la efectividad de las trampas, sino que también promueven enfoques integrados que abordan tanto la vigilancia como la reducción de vectores de manera ambientalmente responsable (Day, 2016; Wooding et al., 2020). Además, la incorporación de materiales avanzados como polímeros biodegradables y nanopartículas funcionalizadas permite optimizar la liberación de atrayentes y deterrentes, ofreciendo soluciones personalizadas para diferentes escenarios ambientales y desafíos epidemiológicos (Dilly et al., 2023).

CONCLUSIONES

El proceso de selección de sitios de oviposición por parte de las hembras de mosquitos es un fenómeno multifactorial que integra señales químicas, estímulos físicos y adaptaciones evolutivas, permitiendo maximizar la supervivencia de la descendencia. Este comportamiento no es aleatorio, sino resultado de una evaluación compleja del entorno, influenciada tanto por condiciones naturales como por factores antropogénicos. Elementos como la urbanización, el cambio climático, la contaminación química y el uso intensivo de insecticidas han alterado significativamente los patrones de oviposición, favoreciendo a especies altamente adaptables como *Aedes aegypti*. Estas dinámicas evidencian que el éxito de las intervenciones vectoriales depende de su capacidad para adaptarse a los cambios ambientales y a las respuestas conductuales y evolutivas de los mosquitos. En este contexto, la comprensión del comportamiento de oviposición ha permitido el desarrollo de herramientas innovadoras, como trampas autocidas, sistemas autodiseminadores y formulaciones basadas en semioquímicos. La incorporación de estas tecnologías en programas de manejo integrado de vectores representa una vía prometedora para enfrentar desafíos actuales como la resistencia a insecticidas, optimizando la eficacia del control vectorial de manera sostenible y ambientalmente responsable.

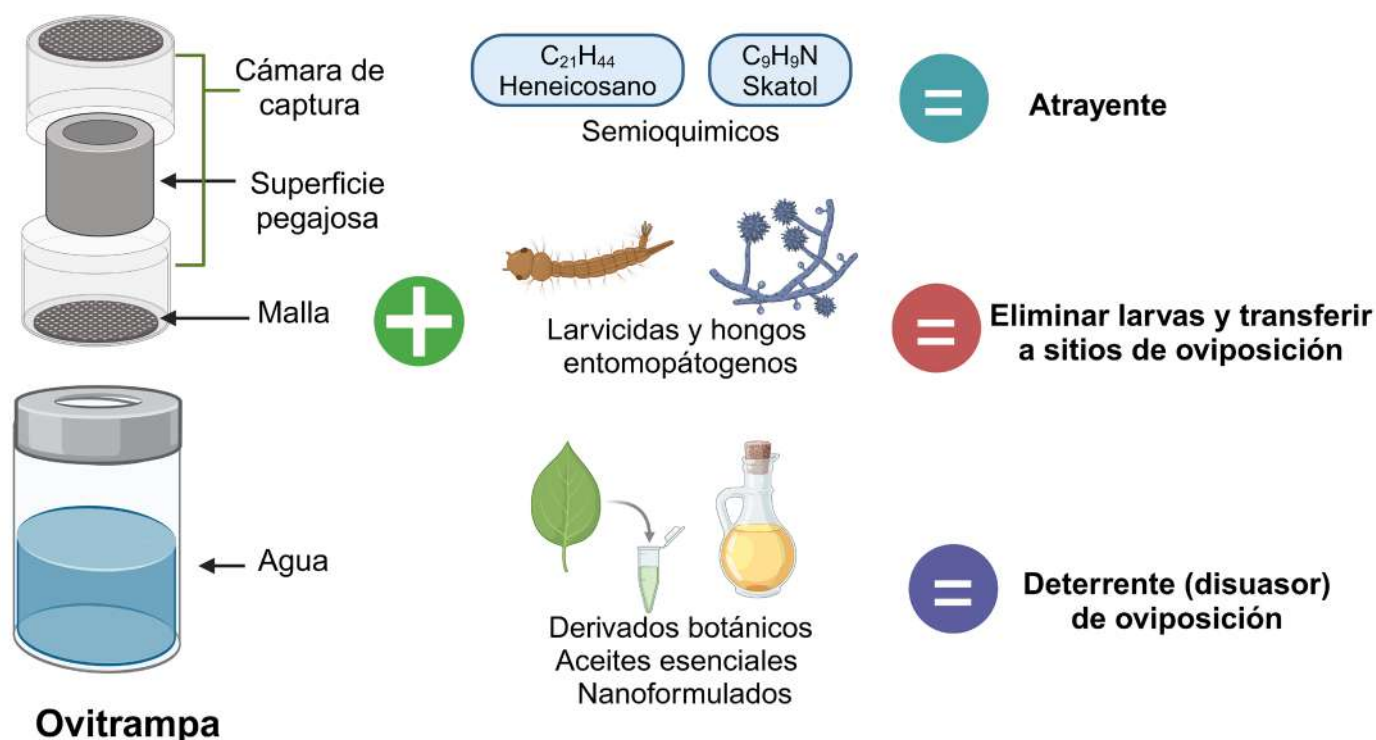


Figura 4. Aplicaciones prácticas de las ovitrampas en el control y monitoreo de mosquitos.



- Abbasi, E. 2025. Global expansion of *Aedes* mosquitoes and their role in the transboundary spread of emerging arboviral diseases: A comprehensive review. *IJID One Health* 6: 100058. <https://doi.org/10.1016/j.ijidoh.2025.100058>
- Aguilar-Durán, J.A., J.R. Garay-Martínez, N.A. Fernández-Santos, C. García-Gutiérrez, J.G. Estrada-Franco, R. Palacios-Santana, M.A. Rodríguez-Pérez. 2024. Grass Infusions in autocidal gravid ovitraps to lure *Aedes albopictus*. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 40(1):71-74. <https://doi.org/10.2987/23-7157>
- Albeny-Simões, D., E.G. Murrell, S.L. Elliot, M.R. Andrade, E. Lima, S.A. Juliano, E.F. Vilela. 2014. Attracted to the enemy: *Aedes aegypti* prefers oviposition sites with predator-killed conspecifics. *Oecologia*. 175 (2):481-492. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-2910-1>
- Allan, S.A., D.L. Kline. 1998. Larval rearing water and preexisting eggs influence oviposition by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*. 35 (6):943-947. <https://doi.org/10.1093/jmedent/35.6.943>
- Allgood, D.W., D.A. Yee. 2017. Oviposition preference and offspring performance in container breeding mosquitoes: evaluating the effects of organic compounds and laboratory colonisation. *Ecological Entomology*. 42 (4):506-516. <https://doi.org/10.1111/een.12412>
- Alphey, L., M. Benedict, R. Bellini, G.G. Clark, D.A. Dame, M.W. Service, S.L. Dobson. 2010. Sterile-insect methods for control of mosquito-borne diseases: an analysis. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*. 10 (3):295-311. <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0014>
- Amarakoon, D., A. Chen, S. Rawlins, D.D. Chadee, M. Taylor, and R. Stennett. 2008. Dengue epidemics in the Caribbean-temperature indices to gauge the potential for onset of dengue. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 13:341-357. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9114-5>
- Angelon, K.A., J.W. Petranka. 2002. Chemicals of predatory mosquitofish (*Gambusia affinis*) influence selection of oviposition site by *Culex* mosquitoes. *Journal of Chemical Ecology*. 28(4):797-806. <https://doi.org/10.1023/a:1015292827514>
- Asmare, Y., S.R. Hill, R.J. Hopkins, H. Tekie, R. Ignell. 2017. The role of grass volatiles on oviposition site selection by *Anopheles arabiensis* and *Anopheles coluzzii*. *Malaria Journal*. 7;16(1):65. <https://doi.org/10.1186/s12936-017-1717-z>
- Avramov, M., A. Thaivalappil, A. Ludwig, L. Miner, C.I. Cullingham, L. Waddell, D.R. Lapen. 2024. Relationships between water quality and mosquito presence and abundance: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Entomology*. 12;61(1):1-33. <https://doi.org/10.1093/jme/tjad139>
- Baak-Baak, C.M., A. D. Rodríguez-Ramírez, J.E. García-Rejón, S. Ríos-Delgado, J.L. Torres-Estrada. 2013. Development and laboratory evaluation of chemically-based baited ovitrap for the monitoring of *Aedes aegypti*. *Journal of Vector Ecology*. 38(1):175-81. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2013.12024.x>
- Barbosa, R.M., L.N. Regis. 2011. Monitoring temporal fluctuations of *Culex quinquefasciatus* using oviposition traps containing attractant and larvicide in an urban environment in Recife, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 106(4):451-5. <https://doi.org/10.1590/s0074-02762011000400011>
- Barbosa, R.M., A. Souto, A.E. Eiras, L. Regis. 2007. Laboratory and field evaluation of an oviposition trap for *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 102(4):523-9. <https://doi.org/10.1590/s0074-02762007005000058>
- Barbosa, R.M., L. Regis, R. Vasconcelos, W.S. Leal. 2010. *Culex* mosquitoes (Diptera: Culicidae) egg laying in traps loaded with *Bacillus thuringiensis* variety *israelensis* and baited with skatole. *Journal of Medical Entomology*. 47(3):345-8. <https://doi.org/10.1093/jmedent/47.3.345>
- Barrera, R., A. Harris, R.R. Hemme, G. Felix, N. Nazario, J.L. Muñoz-Jordan, D. Rodriguez, J. Miranda, E. Soto, S. Martinez, K. Ryff, C. Perez, V. Acevedo, M. Amador, S.H. Waterman. 2019. Citywide control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) during the 2016 Zika epidemic by integrating community awareness, education, source reduction, larvicides, and mass mosquito trapping. *Journal of Medical Entomology*. 56(4):1033-1046. <http://dx.doi.org/10.1093/jme/tjz009>
- Beehler, J.W., J.G. Millar, M.S. Mulla. 1994. Protein hydrolysates and associated bacterial contaminants as oviposition attractants for the mosquito *Culex quinquefasciatus*. *Medical and Veterinary Entomology*. 8(4):381-385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.1994.tb00103.x>
- Benelli, G., S. Bedini, F. Cosci, C. Toniolo, B. Conti, M. Nicoletti. 2015. Larvicidal and ovicide properties of neem oil and fractions against the filariasis vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): a bioactivity survey across production sites. *Parasitology Research*. 114(1): 227-236. <http://dx.doi.org/10.1007/s00436-014-4183-3>
- Bentley, M.D., J.F. Day. 1989. Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. *Annual Review of Entomology*. 34: 401-421. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.34.010189.002153>
- Benzon, G. L., C.S. Apperson. 1988. Reexamination of chemically mediated oviposition behavior in *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*. 25 (3): 158-164. <https://doi.org/10.1093/jmedent/25.3.158>
- Bernáth, B., G. Horváth, J. Gál, G. Fekete, V.B. Meyer-Rochow. 2008. Polarized light and oviposition site selection in the yellow fever mosquito: no evidence for positive polarotaxis in *Aedes aegypti*. *Vision Research*. 48(13):1449-1455. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.04.007>
- Blackwell, A., A.J. Mordue, B.S. Hansson, L.J. Wadhams, and J.A. Pickett. 1993. A behavioral and electrophysiological study of oviposition cues for *Culex quinquefasciatus*. *Physiological Entomology*. 18 (4): 343-348. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1993.tb00607.x>
- Blaustein, L., B.P. Kotler. 1993. Oviposition habitat selection by the mosquito, *Culiseta longiareolata*: effects of conspecifics, food and green toad tadpoles. *Ecological Entomology*. 18(2):104 - 108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1993.tb01190.x>
- Blaustein, L., M. Kiflawi, A. Eitam, M. Mangel, J.E. Cohen. 2004. Oviposition habitat selection in response to risk of predation in temporary pools: mode of detection and consistency across experimental venue. *Oecologia*. 138(2):300-5. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1398-x>
- Bond, J.G., J.I. Arredondo-Jimenez, M.H. Rodriguez, H. Quiroz-Martinez, and T. Williams. 2005. Oviposition habitat selection for a predator refuge and food source in a mosquito. *Ecological Entomology*. 30(3):255 - 263. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2005.00704.x>

- Bourtzis, K., S.L. Dobson, Z. Xi, J.L. Rasgon, M. Calvitti, L.A. Moreira, H.C. Bossin, R. Moretti, L.A. Baton, G.L. Hughes, P. Mavingui, J.R. Gilles. 2014. Harnessing mosquito-*Wolbachia* symbiosis for vector and disease control. *Acta Tropica*. 132 Suppl: S150-63. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.11.004>
- Braks, M.A., W.S. Leal, R.T. Cardé. 2007. Oviposition responses of gravid female *Culex quinquefasciatus* to egg rafts and low doses of oviposition pheromone under semifield conditions. *Journal of Chemical Ecology*. 33(3):567-78. <https://doi.org/10.1007/s10886-006-9223-8>
- Brouazin, R., I. Claudel, R. Lancelot, G. Dupuy, L.C. Gouagna, M. Dupraz, T. Baldet, J. Bouyer. 2022. Optimization of oviposition trap settings to monitor populations of *Aedes mosquitoes*, vectors of arboviruses in La Reunion. *Scientific Reports*. 12(1):18450. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23137-5>
- Buckner, E.A., K.F. Williams, A.L. Marsicano, M.D. Latham, C.R. Lesser. 2017. Evaluating the vector control potential of the In2Care® mosquito trap against *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* under semifield conditions in Manatee County, Florida. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 33(3):193-199. <https://doi.org/10.2987/17-6642R.1>
- Carvalho, D.O., A.R. McKemey, L. Garziera, R. Lacroix, C.A. Donnelly, L. Alphey, A. Malavasi, M.L. Capurro. 2015. Suppression of a field population of *Aedes aegypti* in Brazil by sustained release of transgenic male mosquitoes. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 9(7):e0003864. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003864>
- Cavalcanti, L.P.G., F.J. de Paula, R.J.S. Pontes, J. Heukelbach, J.W.D. Lima. 2009. Survival of larvivoracious fish used for biological control of *Aedes aegypti* larvae in domestic containers with different chlorine concentrations. *Journal of Medical Entomology*. 46 (4): 841–844. <https://doi.org/10.1603/033.046.0414>
- Chadee, D.D., A. Lakhan, W.R. Ramdath, R.C. Persad. 1993. Oviposition response of *Aedes aegypti* mosquitoes to different concentrations of hay infusion in Trinidad, West Indies. *Journal of American Mosquito Control Association*. 9(3):346-8.
- Chaves, L.F., U.D. Kitron. 2011. Weather variability impacts on oviposition dynamics of the southern house mosquito at intermediate time scales. *Bulletin of Entomological Research*. 101(6):633-41. <https://doi.org/10.1017/S0007485310000519>
- Choo, Y.M., G.K. Buss, K. Tan, W.S. Leal. 2015. Multitasking roles of mosquito labrum in oviposition and blood feeding. *Frontiers in Physiology*. 6:306. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00306>
- Chumsri, A., P. Pongmanawut, F.W. Tina, M. Jaroensutasinee, K. Jaroensutasinee. 2018. Container types and water qualities affecting on number of *Aedes* larvae in Trang province, Thailand. *Walailak Procedia*. 2018(2):st43
- Christophers, S. R. 1960. *Aedes aegypti* (L.) the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. Cambridge University Press, London, 752 pp.
- Clements, A.N. 1992. The Biology of Mosquitoes. Volume 1: Development, Nutrition and Reproduction. Chapman & Hall, London, 509 pp.
- Colton, Y.M., D.D. Chadee, D.W. Severson. 2003. Natural skip oviposition of the mosquito *Aedes aegypti* indicated by codominant genetic markers. *Medical and Veterinary Entomology*. 17(2):195-204. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2915.2003.00424.x>
- Cuthbert, R.N., R. Al-Jaibachi, T. Dalu, J.T.A. Dick, and A. Callaghan. 2019. The influence of microplastics on trophic interaction strengths and oviposition preferences of dipterans. *Science of the Total Environment*. 651(Pt 2):2420–2423. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.108>
- Darriet, F., B. Zumbo, V. Corbel, F. Chandre. 2010. Influence of plant matter and NPK fertilizer on the biology of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasite*. 17(2):149-54. <https://doi.org/10.1051/parasite/2010172149>
- Darriet, F., V. Corbel. 2008. *Aedes aegypti* oviposition in response to NPK fertilizers. *Parasite*. 15(1):89-92. <https://doi.org/10.1051/parasite/2008151089>
- Day, J.F. 2016. Mosquito oviposition behavior and vector control. *Insects*. 7(4):65. <https://doi.org/10.3390/insects7040065>
- Delatte, H., C. Paupy, J.S. Dehecq, J. Thiria, A.B. Failloux, D. Fontenille. 2008. *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue viruses in Reunion Island: biology and control. *Parasite*. 15(1):3-13. <https://doi.org/10.1051/parasite/2008151003>
- Dhileepan, K. 1997. Physical factors and chemical cues in the oviposition behavior of arboviral vectors *Culex annulirostris* and *Culex molestus* (Diptera: Culicidae). *Environmental Entomology*. 26 (2):318-326. <https://doi.org/10.1093/ee/26.2.318>
- Dicke, M., M.W. Sabelis. 1988. Infochemical terminology: should it be based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds? *Functional Ecology*. 2:131–139. <https://doi.org/10.2307/2389687>
- Dilly, J., O. Santos da Silva, H.L. Pilz-Júnior, A.B. De Lemos, W.J. da Silva, T. De Freitas Milagres, L. Roldo, L.H. Alves Cândido. 2023. Novel devices and biomaterials for testing oviposition preference in *Aedes aegypti*. *Industrial Crops and Products*. 193:116206. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116206>
- Diniz, D.F.A., C.M.R. de Albuquerque, L.O. Oliva, M.A.V. de Melo-Santos, and C.F.J. Ayres. 2017. Diapause and quiescence: dormancy mechanisms that contribute to the geographical expansion of mosquitoes and their evolutionary success. *Parasites & Vectors* 10:310. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2235-0>
- Duguma, D., and W.E. Walton. 2014. Effects of nutrients on mosquitoes and an emergent macrophyte, *Schoenoplectus maritimus*, for use in treatment wetlands. *Journal of Vector Ecology*. 39:1–13.
- Dusfour, I., J. Vontas, J.-P. David, D. Weetman, D.M. Fonseca, V. Corbel, K. Raghavendra, M.B. Coulibaly, A.J. Martins, S. Kasai, and F. Chandre. 2019. Management of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses: Advances and challenges. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 13(10): e0007615. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007615>
- Edwards, C.C., G. McConnel, D. Ramos, Y. Gurrola-Mares, K.D. Arole, M.J. Green, J.E. Cañas-Carrell, and C.L. Brelsfoard. 2023. Microplastic ingestion perturbs the microbiome of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) and *Aedes aegypti*. *Journal of Medical Entomology*. 60(5):884–898. <https://doi.org/10.1093/jme/tjad097>
- El-Gendy, N.A., E.A. Shaalan. 2012. Oviposition deterrent activity of some volatile oils against the filaria mosquito vector *Culex pipiens*. *Journal of Entomology*. 9(6):435–441. <https://doi.org/10.3923/je.2012.435.441>
- Eneh, L.K., H. Saijo, A.K. Borg-Karlson, J.M. Lindh, G.K. Rajarao. 2016. Cedrol, a malaria mosquito oviposition attractant is produced by fungi isolated from rhizomes of the grass *Cyperus rotundus*. *Malaria Journal*. 15:478. <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1536-7>
- Ganesan, K., M.J. Mendki, M.V.S. Suryanarayana, S. Prakash, R.C. Malhotra. 2006. Studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) ovipositional responses to newly identified semiochemicals from conspecific eggs. *Australian Journal of Entomology*. 45(1):75-80. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2006.00513.x>
- Geetha, I., K. P Paily, V. Padmanaban, K. Balaraman. 2003. Oviposition response of the mosquito, *Culex quinquefasciatus* to the secondary metabolite(s) of the fungus, *Trichoderma viride*. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 98(2):223-226. <https://doi.org/10.1590/s0074-02762003000200010>
- Girard, M., E. Martin, L. Vallon, V. Raquin, C. Bellet, Y. Rozier, E. Desouhant, A.E. Hay, P. Luis, C. Valiente Moro, G. Minard. 2021. Microorganisms associated with mosquito oviposition sites: implications for habitat selection and insect life histories. *Microorganisms*. 9(8):1589. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081589>
- Haddow, A.J. 1942. The mosquitoes of Bwamba County, Uganda. I. *Bulletin of Entomological Research*. 33(1):91-142.

- Hoel, D.F., P.J. Obenauer, M. Clark, R. Smith, T.H. Hughes, R.T. Larson, J.W. Diclaro, and S.A. Allan. 2011. Efficacy of ovitrap colors and patterns for attracting *Aedes albopictus* at suburban field sites in north-central Florida. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 27 (3):245-251. <https://doi.org/10.2987/11-6121.1>
- Huang, J., E.D. Walker, P.E. Otienoburu, F. Amimo, J. Vulule, and J.R. Miller. 2006. Laboratory tests of oviposition by the African malaria mosquito, *Anopheles gambiae*, on dark soil as influenced by presence or absence of vegetation. *Malaria Journal*. 5:88. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-5-88>
- Hwang, YS., M.S. Mulla, J.D. Chaney, G.G. Lin, H.J. Xu. 1987. Attractancy and species specificity of 6-acetoxy-5-hexadecanolide, a mosquito oviposition attractant pheromone. *Journal of Chemical Ecology*. 3(2):245-52. <https://doi.org/10.1007/BF01025885>
- Ikeshoji, T., I. Ichimoto, J. Konishi, Y. Naoshima, H. Ueda. 1979. 7, 11-Dimethyloctadecane: an ovipositional attractant for *Aedes aegypti* produced by *Pseudomonas aeruginosa* on capric acid substrate. *Journal of Pesticide Science*. 4:187-194. <https://doi.org/10.1584/jpestics.4.187>
- Jones, C.M., G.L. Hughes, S. Coleman, R. Fellows, and R.S. Quilliam. 2024. A perspective on the impacts of microplastics on mosquito biology and their vectorial capacity. *Medical and Veterinary Entomology*. 38(2):138-147. <https://doi.org/10.1111/mve.12710>
- Juliano, S.A., L.P. Lounibos. 2005. Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. *Ecology Letters*. 8(5):558-574. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00755.x>
- Khan, Z., B. Bohman, R. Ignell, S.R. Hill. 2023. Odour-mediated oviposition site selection in *Aedes aegypti* depends on aquatic stage and density. *Parasites & Vectors*. 16, 264. <https://doi.org/10.1186/s13071-023-05867-1>
- Kiflawi, M., L. Blaustein, M. Mangel. 2003. Oviposition habitat selection by the mosquito *Culiseta longiareolata* in response to risk of predation and conspecific larval density. *Ecological Entomology*. 28:168-173. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2003.00505.x>
- Koenraadt, C.J.M., K.P. Paaijmans, A.K. Githeko, B.G.J. Knols, W. Takken. 2003. Egg hatching, larval movement and larval survival of the malaria vector *Anopheles gambiae* in desiccating habitats. *Malaria Journal*. 2, 20. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-2-20>
- Kolimenakis, A., S. Heinz, M.L. Wilson, V. Winkler, L. Yakob, A. Michalakis, D. Papachristos, C. Richardson, O. Horstick. 2021. The role of urbanisation in the spread of *Aedes* mosquitoes and the diseases they transmit-A systematic review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 15(9):e0009631. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009631>
- Kroth, N., G.D. Cozzer, S.L. da Silva, R. de Souza Rezende, J. Dal Magro, D. Albeny-Simões. 2025. Female oviposition preferences and larval behavior of the *Aedes aegypti* mosquito (Linnaeus, 1762) exposed to predator cues (Odonata: Libellulidae). *Limnetica*, 44(1):000-000. <https://doi.org/10.23818/limn.44.06>
- Laurence, B.R., J.A. Pickett. 1982. Erythro-6-acetoxy-5-hexadecanolide, the major component of a mosquito oviposition attractant pheromone. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*. 60.
- Laurence, B.R., J.A. Pickett. 1985. An oviposition attractant pheromone in *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). *Bulletin of Entomological Research*. 75(2):283-290. <https://doi.org/10.1017/S0007485300014371>
- Lindh, J.M., A. Kannaste, B.G.J. Knols, I. Faye, A.K. Borg-Karlson. 2008. Oviposition responses of *Anopheles gambiae* s.s. (Diptera: Culicidae) and identification of volatiles from bacteria-containing solutions. *Journal of Medical Entomology*. 45 (6):1039-1049. <https://doi.org/10.1093/jmedent/45.6.1039>
- Martianasari, R., P.H. Hamid. 2019. Larvicidal, adulticidal, and oviposition-deterrent activity of *Pipier betle* L. essential oil to *Aedes aegypti*. *Veterinary World*. 12(3):367-371.
- Mboera, L.E.G., G.J.C. Magogo, and K.Y. Mdira. 2003. Control of the filariasis mosquito *Culex quinquefasciatus* in breeding sites treated with neem (*Azadiracta indica*) in north-east Tanzania. *Tanzania Health Research Bulletin*. 5: 68-70.
- Mboera, L.E.G., K.Y. Mdira, F.M. Salum, W. Takken, and J.A. Pickett. 1999. Influence of synthetic oviposition pheromone and volatiles from soakage pits and grass infusions upon oviposition site-selection of *Culex* mosquitoes in Tanzania. *Journal of Chemical Ecology*. 25:1855-1865. <https://doi.org/10.1023/A:1020933800364>
- Mboera, L.E.G., W. Takken, K.Y. Mdira, G.J. Chuwa, and J.A. Pickett. 2000. Oviposition and behavioral responses of *Culex quinquefasciatus* to skatole and synthetic oviposition pheromone in Tanzania. *Journal of Chemical Ecology*. 26:1193-1203. <https://doi.org/10.1023/A:1005432010721>
- McKinney, M.L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological conservation*. 127 (3):247-260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- McMeniman, C.J., R.A. Corfas, B.J. Matthews, S.A. Ritchie, L.B. Vosshall. 2014. Multimodal integration of carbon dioxide and other sensory cues drives mosquito attraction to humans. *Cell*. 156(5):1060-1071. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.12.044>
- Melo, N., G.H. Wolff, A.L. Costa-da-Silva, R. Arribas, M.F. Triana, M. Gugger, J.A. Riffell, M. DeGennaro, and M.C. Stensmyr. 2020. Geosmin attracts *Aedes aegypti* mosquitoes to oviposition sites. *Current Biology*. 30 (1):127-134. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.002>
- Mendki, M.J., K. Ganesan, S. Prakash, M.V.S. Suryanarayana, R.C. Malhotra, K. M. Rao, and R. Vaidyanathaswamy. 2000. Heneicosane: An oviposition-attractant pheromone of larval origin in *Aedes aegypti* mosquito. *Current Science*. 78 (11):1295-1296.
- Metz, H.C., A.K. Miller, J. You, J. Akorli, F.W. Avila, E.A. Buckner, P. Kane, S. Otoo, A. Ponlawat, O. Triana-Chávez, K.F. Williams, C.S. McBride. 2022. Evolution of a mosquito's hatching behavior to match its human-provided habitat. *The American Naturalist*. 201(2): 000-000. <https://doi.org/10.1086/722481>
- Millar, J.G., J.D. Chaney, M.S. Mulla. 1992. Identification of oviposition attractants for *Culex quinquefasciatus* from fermented Bermuda grass infusions. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 8(1):11-17.
- Mokany, A., R. Shine. 2003. Competition between tadpoles and mosquito larvae. *Oecologia* 135: 615-620. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1215-6>
- Mosquito Taxonomic Inventory. 2024. Mosquito Taxonomic Inventory. Retrieved from <https://mosquito-taxonomic-inventory.myspecies.info/> (consultado el 06/01/2025).
- Munga, S., N. Minakawa, G. Zhou, O. O. J. Barrack, A.K. Githeko, G. Yan. 2006. Effects of larval competitors and predators on oviposition site selection of *Anopheles gambiae* sensu stricto. *Journal of Medical Entomology*. 43 (2):221-224. <https://doi.org/10.1093/jmedent/43.2.221>
- Mutero, C., P. Ng'ang'a, P. Wekoyela, J. Githure, and F. Konradsen. 2004. Ammonium sulphate fertiliser increases larval populations of *Anopheles arabiensis* and culicine mosquitoes in rice fields. *Acta Tropica*. 89:187-192.
- Muturi, E.J., B.G. Jacob, J. Shililu, and R. Novak. 2007. Laboratory studies on the effect of inorganic fertilizers on survival and development of immature *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Vector Borne Diseases*. 44:259-265.
- Mwingira, V., L.E.G. Mboera, M. Dicke, W. Takken. 2020a. Exploiting the chemical ecology of mosquito oviposition behavior in mosquito surveillance and control: a review. *Journal of Vector Ecology*. 45(2):155-179. <https://doi.org/10.1111/jvec.12387>
- Mwingira, V.S., J. Spitzen, L.E.G. Mboera, J.L. Torres-Estrada, W. Takken. 2020b. The influence of larval stage and density on oviposition site-selection behavior of the afrotropical malaria mosquito *Anopheles coluzzii* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*. 57(3):657-666. <https://doi.org/10.1093/jme/tjz172>

- Nordlund, D.A., W.J. Lewis. 1976. Terminology of chemical releasing stimuli intraspecific and interspecific interactions. *Journal of Chemical Ecology*. 2:211-220. <https://doi.org/10.1007/BF00987744>
- Obenauer, P.J., S.A. Allan, P.E. Kaufman. 2010. *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) oviposition response to organic infusions from common flora of suburban Florida. *Journal of Vector Ecology*. 35(2):301-306. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2010.00086.x>
- Ohba, S.-Y., M. Ohtsuka, T. Sunahara, Y. Sonoda, E. Kawashima, M. Takagi. 2012. Differential responses to predator cues between two mosquito species breeding in different habitats. *Ecological Entomology*. 37 (5):410-418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2012.01379.x>
- Pamplona, L.G.C., C.H. Alencar, J.W.O. Lima, J. Heukelbach. 2009. Reduced oviposition of *Aedes aegypti* gravid females in domestic containers with predatory fish. *Tropical Medicine & International Health*. 14 (11):1347-1350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2009.02377.x>
- Perich, M.J., A. Kardec, I.A. Braga, I.F. Portal, R. Burge, B.C. Zeichner, W.A. Brogdon, R.A. Wirtz. 2003. Field evaluation of a lethal ovitrap against dengue vectors in Brazil. *Medical and Veterinary Entomology*. 17(2):205-210. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2915.2003.00427.x>
- Pickett, J.A., C.M. Woodcock. 1996. The role of mosquito olfaction in oviposition site location and in the avoidance of unsuitable hosts. *Novartis Foundation Symposium*. 200:109-123. <https://doi.org/10.1002/9780470514948.ch9>
- Ponnusamy, L., D.M. Wesson, C. Arellano, C. Schal, and C.S. Apperson. 2010a. Species composition of bacterial communities influences attraction of mosquitoes to experimental plant infusions. *Microbiology of Aquatic Systems*. 59 (1):158-173. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9565-1>
- Ponnusamy, L., N. Xu, K. Böröczky, D.M. Wesson, L.A. Ayyash, C. Schal, C.S. Apperson. 2010b. Oviposition responses of the mosquitoes *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* to experimental plant infusions in laboratory bioassays. *Journal of Chemical Ecology*. 36(7):709-719. <https://doi.org/10.1007/s10886-010-9806-2>
- Ponnusamy, L., N. Xu, S. Nojima, D.M. Wesson, C. Schal, C.S. Apperson. 2008. Identification of bacteria and bacteria-associated chemical cues that mediate oviposition site preferences by *Aedes aegypti*. *The Proceedings of the National Academy of Sciences*. 105 (27):9262-9267. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802505105>
- Powell, J.R., W.J. Tabachnick. 2013. History of domestication and spread of *Aedes aegypti*--a review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 108 Suppl 1(Suppl 1):11-17. <https://doi.org/10.1590/0074-0276130395>
- Prajapati, V., A.K. Tripathi, K.K. Aggarwal, S.P.S. Khanuja. 2005. Insecticidal, repellent and oviposition-deterrent activity of selected essential oils against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Bioresource Technology*. 96(16):1749-1757. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.007>
- Prasad, A., S. Sreedharan, B. Bakthavachalu, S. Laxman. 2023. Eggs of the mosquito *Aedes aegypti* survive desiccation by rewiring their polyamine and lipid metabolism. *PLoS Biology*. 21(10): e3002342. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002342>
- Raji, J.I., N. Melo, J.S. Castillo, S. Gonzalez, V. Saldana, M.C. Stensmyr, M. DeGennaro. 2019. *Aedes aegypti* mosquitoes detect acidic volatiles found in human odor using the IR8a pathway. *Current Biology*. 29(8):1253-1262. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.02.045>
- Rajkumar, S., A. Jebanesan. 2008. Bioactivity of flavonoid compounds from *Poncirus trifoliata* L. (Family: Rutaceae) against the dengue vector, *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*. 104 (1):19-25. <https://doi.org/10.1007/s00436-008-1145-7>
- Reeves, W.K. 2004. Oviposition by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in relation to conspecific larvae infected with internal symbiotes. *Journal of Vector Ecology*. 29:159-163.
- Reiter, P., M.A. Amador, N. Colon N. 1991. Enhancement of the CDC ovitrap with hay infusions for daily monitoring of *Aedes aegypti* populations. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 7(1):52-5.
- Reiter, P. 1996. Global warming and mosquito-borne disease in USA. *Lancet*. 348(9027):622. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)64844-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)64844-1)
- Rejmánková, E., R. Higashi, J. Grieco, N. Achee, D. Roberts. 2005. Volatile substances from larval habitats mediate species-specific oviposition in *Anopheles* mosquitoes. *Journal of Medical Entomology*. 42(2):95-103. <https://doi.org/10.1093/jmedent/42.2.95>
- Rey, J.R., S.M. O'Connell. 2014. Oviposition by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: influence of congeners and of oviposition site characteristics. *Journal of Vector Ecology*. 39(1):190-196. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2014.12086.x>
- Rochlin, I., A. Faraji, D.V. Ninivaggi, C.M. Barker, A.M. Kilpatrick. 2016. Anthropogenic impacts on mosquito populations in North America over the past century. *Nature Communications*. 7: 13604. <https://doi.org/10.1038/ncomms13604>
- Romeo-Aznar, V., L.P. Freitas, O. Gonçalves Cruz, A.A. King, M. Pascual. 2022. Fine-scale heterogeneity in population density predicts wave dynamics in dengue epidemics. *Nature Communications*. 13:1996. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28231-w>
- Rose, N.H., M. Sylla, A. Badolo, J. Lutomiah, D. Ayala, O.B. Aribodor, N. Ibe, J. Akorli, S. Otoo, J.P. Mutebi, A.L. Kriete, E.G. Ewing, R. Sang, A. Gloria-Soria, J.R. Powell, R.E. Baker, B.J. White, J.E. Crawford, C.S. McBride. 2020. Climate and urbanization drive mosquito preference for humans. *Current Biology*. 30 (18):3570-3579.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.06.092>
- Ruel, D.M., Bohbot, J.D. 2022. The molecular and neural determinants of olfactory behaviour in mosquitoes. En Ignell, R., C.R. Lazzari, M.G. Lorenzo, S.R. Hill (Eds.). *Sensory ecology of disease vectors* (pp. 71-115). Wageningen Academic Publishers, 911 pp. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-932-9_3
- Santana, A.L., R.A. Roque, A.E. Eiras. 2006. Characteristics of grass infusions as oviposition attractants to *Aedes* (Stegomyia) (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*. 43 (2):214-220. <https://doi.org/10.1093/jmedent/43.2.214>
- Schoelitz, B., V. Mwingira, L.E.G. Mboera, H. Beijleveld, C.J.M. Koenraadt, J. Spitzen, J.J.A. van Loon, W. Takke. 2020. Chemical mediation of oviposition by *Anopheles* mosquitoes: a push-pull system driven by volatiles associated with larval stages. *Journal of Chemical Ecology*. 46 (4):397-409. <https://doi.org/10.1007/s10886-020-01175-5>
- Sérandour, J., J. Willison, W. Thuiller, P. Ravanel, G. Lempérière. 2010. Environmental drivers for *Coquillettidia* mosquito habitat selection: a method to highlight key field factors. *Hydrobiologia*. 652:377-388. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0372-y>
- Silberbush, A., L. Blaustein. 2011. Mosquito females quantify risk of predation to their progeny when selecting an oviposition site. *Functional Ecology*. 25: 1091-1095. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01873.x>
- Sivagnaname, N., D.D. Amalraj, M. Kalyanasundaram, P.K. Das. 2001. Oviposition attractancy of an infusion from a wood inhabiting fungus for vector mosquitoes. *Indian Journal of Medical Research*. 114:18-24.
- Sivakumar, R., A. Jebanesan, M. Govindarajan, P. Rajasekar. 2011. Larvicidal and repellent activity of tetradecanoic acid against *Aedes aegypti* (Linn.) and *Culex quinquefasciatus* (Say.), (Diptera: Culicidae). *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 4 (9):706-710. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60178-8](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60178-8)

- Snetselaar, J., R. Andriessen, R.A. Suer, A.J. Osinga, B.G.J. Knols, M. Farenhorst. 2014. Development and evaluation of a novel contamination device that targets multiple life-stages of *Aedes aegypti*. *Parasites & Vectors*. 7:200. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-200>
- Spencer, M., L. Blaustein, J.E. Cohen. 2002. Oviposition habitat selection by mosquitoes (*Culiseta longiareolata*) and consequences for population size. *Ecology*. 83 (3):669-679.
- Stav, G., L. Blaustein, J. Margalith, 1999. Experimental evidence for predation risk sensitive oviposition by a mosquito, *Culiseta longiareolata*. *Ecological Entomology*. 24:202-207. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1999.00183.x>
- Sumba, L.A., C.B. Ogbunugafor, A.L. Deng, and A. Hassanali. 2008. Regulation of oviposition in *Anopheles gambiae* s.s.: role of inter- and intra-specific signals. *Journal of Chemical Ecology*. 34:1430-1436. <https://doi.org/10.1007/s10886-008-9549-5>
- Sumba, L.A., T.O. Guda, A.L. Deng, A. Hassanali, J.C. Beier, B.G.J. Knols. 2004. Mediation of oviposition site selection in the African malaria mosquito *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) by semiochemicals of microbial origin. *International Journal of Tropical Insect Science*. 24:260-265. <https://doi.org/10.1079/IJT200433>
- Tchouassi, D.P., S.B. Agha, J. Villinger, R. Sang, B. Torto. 2022. The distinctive bionomics of *Aedes aegypti* populations in Africa. *Current Opinion in Insect Science*. 54:100986. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100986>
- Thavara, U., A. Tawatsin, J. Chompoosri. 2004. Evaluation of attractants and egg-laying substrate preference for oviposition by *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Vector Ecology*. 29 (1):66-72.
- Torres-Estrada, J.L., R.A. Meza-Alvarez, J. Cibrian-Tovar, M.H. Rodriguez-Lopez, J.I. Arredondo-Jimenez, L. Cruz-Lopez, and J.C. Rojas-Leon. 2005. Vegetation-derived cues for the selection of oviposition substrates by *Anopheles albimanus* under laboratory conditions. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 21(4):344-349. [https://doi.org/10.2987/8756-971X\(2006\)21\[344:VCFTSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2987/8756-971X(2006)21[344:VCFTSO]2.0.CO;2)
- Torres-Estrada, J.L., M.H. Rodriguez, L. Cruz-Lopez, J.I. Arredondo-Jimenez. 2001. Selective oviposition by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in response to *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopoidea) under laboratory and field conditions. *Journal of Medical Entomology*. 38 (2):188-192. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.2.188>
- Torto, B., D.P. Tchouassi. 2024. Chemical ecology and management of dengue vectors. *Annual Review of Entomology*. 69:159-182. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020123-015755>
- Trexler, J.D., C.S. Apperson, C. Schal. 1998. Laboratory and field evaluations of Oviposition responses of *Aedes albopictus* and *Aedes triseriatus* (Diptera : Culicidae) to oak leaf infusions. *Journal of Medical Entomology*. 35 (6): 967-976. <https://doi.org/10.1093/jmedent/35.6.967>
- Trexler, J.D., C.S. Apperson, L. Zurek, C. Gemeno, C. Schal, M. Kaufman, E. Walker, D.W. Watson, and L. Wallace. 2003. Role of bacteria in mediating the oviposition responses of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*. 40 (6):841-848. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-40.6.841>
- Van Dam, A.R., W.E. Walton. 2008. The effect of predatory fish exudates on the ovipositional behavior of three mosquito species: *Culex quinquefasciatus*, *Aedes aegypti* and *Culex tarsalis*. *Medical and Veterinary Entomology*. 22 (4):399-404. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2008.00764.x>
- Warikoo, R., S. Kumar. 2014. Oviposition altering and ovicidal efficacy of root extracts of *Argemone mexicana* against dengue vector, *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2 (4):11-17.
- Warikoo, R., S. Kumar. 2015. Investigation on the oviposition-deterrence and ovicidal potential of the leaf extracts of *Argemone mexicana* against an Indian strain of dengue vector, *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Applied Research Journal*. 1(4):208-215.
- Wilke, A.B.B., C. Chase, C. Vasquez, A. Carvajal, J. Medina, W.D. Petrie, J.C. Beier. 2019. Urbanization creates diverse aquatic habitats for immature mosquitoes in urban areas. *Scientific Reports*. 9:15335. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51787-5>
- Williams, R.E. 1962. Effect of coloring oviposition media with regard to the mosquito *Aedes triseriatus* (Say). *The Journal of Parasitology*. 48:919-925.
- Wondwosen, B., M. Dawit, Y. Debebe, H. Tekie, S.R. Hill, R. Ignell. 2021. Development of a chimeric odour blend for attracting gravid malaria vectors. *Malaria Journal*. 20:262. <https://doi.org/10.1186/s12936-021-03797-w>
- Wondwosen, B., S.R. Hill, G. Birgersson, E. Seyoum, H. Tekie, R. Ignell. 2017. A(maize)ing attraction: gravid *Anopheles arabiensis* are attracted and oviposit in response to maize pollen odours. *Malaria Journal*. 16:39. <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1656-0>
- Wong, J., S.T. Stoddard, H. Astete, A.C. Morrison, T.W. Scott. 2011. Oviposition site selection by the dengue vector *Aedes aegypti* and its implications for dengue control. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 5(4):e1015. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001015>
- Wooding, M., Y. Naudé, E. Rohwer, M. Bouwer. 2020. Controlling mosquitoes with semiochemicals: a review. *Parasites & Vectors*. 13(1):80. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-3960-3>
- WHO (World Health Organization). 2024. Vector-borne diseases. En: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases> (consultado el 06/01/2025).
- Xia, S., H.K. Dweck, J. Lutomia, R. Sang, C.S. McBride, N.H. Rose, D. Ayala, J.R. Powell. 2021. Larval sites of the mosquito *Aedes aegypti formosus* in forest and domestic habitats in Africa and the potential association with oviposition evolution. *Ecology and Evolution*. 11(22):16327-16343. <https://doi.org/10.1002/ece3.8332>
- Zahouli, J.B.Z., B.G. Koudou, P. Müller, D. Malone, Y. Tano, J. Utzinger. 2017. Effect of land-use changes on the abundance, distribution, and host-seeking behavior of *Aedes arbovirus* vectors in oil palm-dominated landscapes, southeastern Côte d'Ivoire. *PLoS One*. 12(12):e0189082. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189082>
- Zuharah, W.F., P.J. Lester. 2010. Can adults of the New Zealand mosquito *Culex pervigilans* (Bergorth) detect the presence of a key predator in larval habitats?. *Journal of Vector Ecology*. 35(1):100-5.



LOS SECRETOS DEL NÉCTAR:

UNA VENTANA A LOS RECURSOS FLORALES DE *MELIPONA BEECHEII* (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI)

✓ CORDOVA-RODRÍGUEZ, AMAYRANI¹; GÓMEZ-
RODRÍGUEZ, GABRIEL ALEJANDRO¹; ARAGÓN-
MORENO, ALEJANDRO ANTONIO^{1*}



¹El Colegio de la Frontera Sur,
Unidad Chetumal, Avenida
Centenario km 5.5, Chetumal,
Quintana Roo CP 77014, Mexico
Correspondencia:
alejandro.aragon@ecosur.mx



Palabras claves: Conservación, abejas sin aguijón, biodiversidad, meliponicultura, palinología

RESUMEN

En la naturaleza, las abejas sociales se enfrentan a un reto constante para garantizar la alimentación continua de la colmena debido a la variación de los recursos florales a lo largo del año y el paisaje. Conocer los recursos que utilizan y comprender cómo se distribuyen a lo largo del tiempo y espacio es clave para su conservación y la producción de miel. En el sur de Quintana Roo, el cuidado de la abeja nativa *Melipona beecheii* ocasionalmente requiere realizar alimentación artificial durante la temporada de lluvias, cuando la disponibilidad de recursos para las abejas es baja. Esto nos llevó a preguntarnos ¿qué flores utilizan las abejas *M. beecheii* para la producción de miel durante la temporada de lluvias, cuando los recursos son escasos? Para averiguarlo, se utilizó una técnica sencilla: identificar los granos de polen presentes en el néctar que recolectan y transportan las abejas en su regreso a la colmena. Se descubrieron diversas plantas que estas abejas visitan como *Alseis yucatanensis*, *Diphyssa carthagenensis*, *Cedrela odorata* y *Luehea sp.* Este trabajo no solo ofrece una mirada directa al recurso floral de una abeja maya en época de escases de alimento, sino que también propone métodos de estudio de estos recursos florales a través del análisis palinológico del néctar que transportan, proporcionando nuevas herramientas para apoyar a la conservación de las abejas nativas y su entorno.

LAS ABEJAS Y SU IMPORTANCIA ECOLÓGICA

Las abejas durante la búsqueda de recursos realizan una actividad fundamental: transportan polen de una flor a otra para la reproducción de las plantas en lo que conocemos como polinización (Barth 1985; Buchmann 2016). Este proceso es uno de los servicios ecosistémicos más importantes para la vida en la Tierra (Kevan and Viana 2003; Klein et al. 2007; Grüter 2020). Gracias a la polinización que realizan las abejas, es posible la reproducción de miles de especies vegetales, lo que resulta en frutos y semillas, es decir, alimento para otros seres vivos, incluyendo los seres humanos. La polinización puede ocurrir de distintas formas —por viento, agua o por animales—, pero las abejas son, sin duda, los polinizadores por excelencia (Khalifa et al. 2021; Roubik 2021; Requier et al. 2023). Con alrededor de 21,000 especies de abejas en el mundo, estas aliadas pueden tener comportamientos eusociales o solitarios, presentar aguijón o carecer de él. Las abejas eusociales, a diferencia de las solitarias, tienen que garantizar una fuente de alimento constante para los miembros de la colmena, lo que las ha llevado al desarrollo de estrategias eficientes de recolección y almacenamiento de recursos. Dentro del orden Hymenoptera, la familia *Apidae* (~6,000 especies), incluye especies solitarias como las abejas de las orquídeas (*Euglossini*) y las carpinteras (*Xylocopa*), así como abejas eusociales como los abejorros (*Bombini*), las abejas de la miel (*Apini*) y las abejas sin aguijón (*Meliponini*) (Johnson 2023). En esta última tribu se encuentra *Melipona beecheii*, conocida como la abeja maya, “*Xunán Kab*” o simplemente abeja melipona. Esta especie, se encuentra entre más de 550 especies de la misma tribu en el mundo y representa un legado biocultural por su relación con la cultura maya

en la península de Yucatán (Sotelo Santos and Alvarez Asomoza 2018; Paris et al. 2020).

MELIPONA BEECHEII Y EL ORIGEN DEL NÉCTAR

Esta abeja no es solo criada para el aprovechamiento de su miel con fines alimenticios, sino que es utilizada en rituales sagrados y tiene gran importancia en la medicina tradicional (Weaver and Weaver 1981; Rosales 2013). Hoy en día, las y los meliponicultores mantienen un profundo respeto e identidad al manejar sus colmenas, integrando esta actividad en los esfuerzos de conservación de la biodiversidad y las tradiciones ancestrales (López et al. 2020; Barreto López 2021).

A diferencia de la abeja común (*Apis mellifera*), *M. beecheii* no almacena alimento en panales, sino que utilizan cantaritos llamados “potes” hechos de cera y resina vegetal (Figura 1a). Producen la miel a partir del néctar de las flores, así como contener una gran cantidad de granos de polen que llegan a través del néctar que recolectan durante sus viajes hacia las flores. En este sentido, se sabe que cada especie de planta tiene un polen distintivo con características externas únicas, como una “huella digital”, que permite diferenciar las especies vegetales a través de su morfología. La identificación de granos de polen en miel y otros productos de la colmena constituye una rama de la biología llamada palinología. Permite determinar el origen botánico de los recursos florales que utilizan para la elaboración de miel, propóleo, entre otros (Di Pasquale et al. 2016; Ghosh et al. 2020), así como conocer la diversidad florística en una región (Coffey and Breen 1997; Malagnini et al. 2022; León-Canul et al. 2023). Entonces, si el polen llega al pote con el néctar, ¿podemos saber qué flores

visitó una abeja observando el néctar que transporta justo antes de entrar a su colmena? Para responder esta curiosidad, se combinaron observaciones en campo y análisis de polen durante la temporada de lluvias, cuando la producción suele ser más baja.

¿CÓMO OBTENER EL NÉCTAR DE *M. BEECHEII*?

Para conocer los recursos florales que utilizan las meliponas para la producción de miel en temporadas de lluvias, se realizaron observaciones en el meliponario de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal (18°32'37.47"N; 88°15'45.05"O). Este sitio alberga alrededor de 100 colmenas con manejo integrado de la abeja sin aguijón de la especie *Melipona beecheii*. Se ubica en una zona suburbana, rodeada por parches de vegetación secundaria que cubren aproximadamente el 80 % del área a 500 m a la redonda. Esta vegetación corresponde a un bosque tropical estacionalmente seco, con un clima cálido sub-húmedo y presencia de lluvias en verano (junio - octubre) (García 2004), con una temperatura media anual de 26.7 °C y precipitación de 1,307.5 mm. Los recursos florales característicos en la zona corresponden a familias como Fabaceae, Arecaceae, Euphorbiaceae, Moraceae, Burseraceae, Sapotaceae, entre otras (Villanueva-Gutiérrez et al. 2018; Flores-Taboada et al. 2021).

El estudio se realizó en el mes de septiembre del 2024 que es uno de los meses de mayor precipitación y temporada de huracanes en Quintana Roo. Se colectaron muestras de néctar directamente de las abejas antes de que entraran a sus colmenas (entre 8 y 9 de la mañana). Se utilizó una técnica sencilla y no invasiva: con una red entomológica se capturaron las abejas, y con mucho cuidado, se les extrajo el néctar que transportaban en el "buche melario", un estómago adicional donde almacenan el néctar recolectado de las flores y donde inicia el proceso de transformación para convertirse en miel. Para inducir a las abejas a regurgitar el néctar, se apretó ligeramente el abdomen y con ayuda de un tubo capilar se recolectó el líquido (Figura 1b). En total se obtuvieron 20 muestras —5 por cada día de muestreo—. Cada muestra se montó en un portaobjeto con gelatina-glicerina y se tiñeron con fucsina (un tinte rojo que ayuda a resaltar la morfología externa de los granos de polen). Luego, bajo el microscopio óptico a 40x, se identificaron y contaron todos los granos presentes en las muestras. Para saber a qué plantas pertenecía cada polen, se utilizó la colección de referencia de polen de flores de El Colegio de la Frontera Sur y atlas palinológicos de la región (Palacios-Chávez et al. 1991).

De manera adicional se midió el volumen del néctar que traía cada abeja, y se analizó cómo cambia la

diversidad de polen entre los días. Con esta información se buscó entender si había una relación entre el volumen colectado y las flores visitadas, así como saber si la disponibilidad néctar variaba durante esta temporada de baja disponibilidad de recursos. Los datos se estructuraron en una base de datos en una hoja de cálculo y fueron analizados estadísticamente en el entorno R studio (4.3.3) (Horton and Kleinman 2015).



Figura 1. Muestreo en el meliponario de ECOSUR. (A) Colmena; (B) Muestreo de néctar; (C) Meliponario y (D) néctar en el tubo capilar.

FLORES, NÉCTAR, POLEN: PISTAS DEL PAISAJE

Durante su viaje para recolectar néctar, las abejas también recolectan diversos granos de polen que pueden considerarse como pequeñas pistas de las plantas que visitan. De las 20 muestras que se colectaron, dos fueron descartadas porque, al analizarlas, se notó que posiblemente no eran néctar. Se llegó a esta conclusión porque fueron distintas de las 18 muestras restantes mediante la concentración de polen, color y consistencia. Una de las muestras descartadas tuvo una concentración mayor a 2076 granos de polen en un volumen de 6 mm³. La otra muestra tuvo un total de 721 granos de polen en 14.14 mm³. Ambas muestras mostraron una coloración amarillenta y consistencia viscosa vista a través de los micro tubos capilares. Además, la diversidad de especies encontradas en estas muestras fue considerablemente más alta respecto al resto de las muestras utilizadas.

De las 18 muestras restantes, y empleadas para el presente estudio, se encontraron 1,148 granos de polen en un total de 255.6 mm³ de néctar, correspondientes a 46 tipos de polen distribuidos en 23 familias botánicas. Algunas de estas familias destacaron por aparecer con más frecuencia y en mayor cantidad, como Fabaceae (la mejor representada con 7 tipos de polen), Rubiaceae (con 4 tipos de polen) y Myrtaceae (con 3 tipos) (Figura 2). Fabaceae, por ejemplo, estuvo presente en todos los días de muestreos y es una familia ampliamente distribuida y diversa con más de 236 especies en la región (Duno-de Stefano et al. 2018). Estas tres familias representaron casi la mitad de todos los granos de polen encontrados, lo que sugiere que son fuentes importantes de alimento para estas abejas durante la temporada de lluvias. Particularmente, especies como *Senna racemosa*, *Mimosa bahamensis* y *Mimosa pudica* han sido reportadas como importantes fuentes de polen para *A. mellifera* y *M. beecheii*, mientras que *Lonchocarpus punctatus*, *Piscidia piscipula* y *Gliricidia sepium* son importantes fuente de néctar (Córdova-Rodríguez et al. 2023; Bacab-Pérez et al. 2024).

Se notó que con el paso de las semanas, el número y variedad de tipos de polen fue aumentando (Figura 2 y 3). En el primer día de muestreo se encontraron 13 tipos de polen en 9 familias distintas, mientras que en el último muestreo del mes se encontraron 32 tipos en 18 familias. Además, el aumento de la diversidad de polen también coincidió con algo muy curioso: en el primer día de muestreo bastó con capturar 8 abejas para alcanzar 5 muestras, mientras que en el último día se tuvieron que atrapar ¡71! Esto puede reflejar un cambio en disponibilidad de recursos: las abejas tienen que realizar un mayor esfuerzo al visitar las flores y trabajar más para llenar sus potes.

Entre las especies que más aparecieron en las muestras estuvieron *Diphyssa carthagenensis*, *Senna racemosa* y *Cecropia peltata*. De estas, únicamente la primera es una especie que ofrece, durante la mayor parte del año, tanto néctar como polen (Figura 3). El resto produce principalmente polen, lo que puede indicar que el polen termina en el néctar de manera accidental, adherido al cuerpo de la abeja. Otras especies importantes que se encontraron fueron *Alseis yucatanensis*, *Cedrela odorata*, *Luehea sp.*, y *Morinda citrifolia*, todas conocidas por florecer en temporadas de lluvias y ser atractivas para *M. beecheii* (Figura 3) (Bacab-Pérez et al. 2024).

Curiosamente también se encontraron granos de polen que provienen de flores que no producen néctar, como *Leucaena leucocephala*, *Mimosa sp.*, *Cecropia peltata*, *Trema micrantha*, *Brosimum alicastrum* y *Pithecellobium sp.* Esto plantea una nueva pregunta: ¿cómo termina ese polen en el néctar? Aunque no son plantas

nectaríferas, se han registrado con frecuencia en mieles de *A. mellifera* y *M. beecheii* para la península de Yucatán (Villanueva-Gutiérrez et al. 2009; Villanueva-Gutiérrez et al. 2018; Bacab-Pérez et al. 2024). Es posible que, si las abejas transportan polen al visitar muchas flores, este puede caer en flores que sí producen néctar, causando que una sola flor presente diferentes tipos de polen.

Con las observaciones realizadas, no sólo se revela la posible diversidad de plantas que visitan las abejas meliponas durante la temporada de lluvias, también demuestra que, al estudiar el polen del néctar, podemos conocer mejor su dieta y las flores que les ofrecen alimento en momentos críticos del año. Sin embargo, es necesario hacer más estudios palinológicos, tanto en el néctar que regurgitan las abejas como el que está en las flores, para comprender el origen de los granos de polen de flores poliníferas en las mieles.

¿A MÁS NÉCTAR, MÁS GRANOS Y DIVERSIDAD DE POLEN?

Uno de los aspectos más interesantes de este trabajo fue observar cómo varía la cantidad de néctar que cada abeja recoge, y qué tanto dice eso sobre su dieta. ¿Será que cuando una abeja recoge más néctar también está trayendo polen de más tipos de flores? Para explorar esta curiosidad, se analizaron tanto el volumen de néctar como la diversidad de polen que venía con él. En un primer vistazo general, no se encontró una relación directa entre la cantidad de néctar y el número de granos de polen. En otras palabras, una mayor cantidad de néctar no implica una mayor cantidad de polen. Sin embargo, cuando se analizaron los datos de manera más detallada, se observó que los días en que las abejas traían más néctar, también transportaban una variedad de polen mayor (Figura 4a). Esto puede significar que hay días en que el entorno ofrece mayor diversidad floral y que las abejas aprovechan visitando más tipos de flores. No obstante, y como muchas cosas en la naturaleza, las observaciones sobre esta relación no siempre fueron tan claras. Al observar cada muestra individual —cada abeja— encontramos casos muy contrastantes. Por ejemplo, una muestra con 21 milímetros cúbicos de néctar (mm³) tenía 23 tipos distintos de polen y 16 familias (muestra 14, Figura 3), mientras que otra, con la misma cantidad de néctar, tenía solo 3 tipos de polen y familias (muestra 12). En volúmenes pequeños pasó algo similar: una muestra pequeña de menos de 8 mm³ contenía 17 tipos de polen y 13 familias (muestra 16), mientras que otra del mismo volumen tenía apenas 4 familias y tipos de polen (muestra 3) (Figura 4b)

¿A qué se debe esto? No necesariamente el volumen de néctar refleja la diversidad floral visitada. Cada abeja

tiene su propio recorrido, su propia historia sujeta a las condiciones del día. Algunas pudieron visitar muchas flores diferentes, mientras que otras quizás se concentraron en una sola especie que ofrecía néctar en abundancia. Cuando analizamos la diversidad a través de los tipos de polen (Índice de Simpson), y su abundancia entre cada uno de ellos (Índice de Pielou), se encontró que en algunas muestras la mayoría de los granos provenían de sólo unas pocas plantas, mientras que en otras, los granos estaban mejor repartidos entre muchas especies. En particular, el muestreo del 16 de septiembre destacó por tener tanto alta diversidad como un reparto más equitativo de los tipos de polen (Tabla 1).

Tabla 1. Índice de diversidad de Simpson y equitatividad de Pielou por fecha de muestreo.

Fecha	Índice de Simpson	Equitatividad de Pielou
9 septiembre 2024	0.79	0.71
16 septiembre 2024	0.91	0.84
23 septiembre 2024	0.84	0.77
30 septiembre 2024	0.89	0.75

Estos patrones nos ayudan a entender cómo las abejas ajustan su comportamiento dependiendo de la disponibilidad de flores y néctar en el paisaje. Nos recuerdan que su mundo es dinámico y que ellas, como pequeñas exploradoras, van tomando decisiones en función de lo que encuentran en su entorno cada día.

UNA MANERA ACCESIBLE PARA EXPLORAR LA DIVERSIDAD FLORAL
Aunque este trabajo fue modesto en términos de número de muestras y tiempo, ofrece una forma

sencilla de explorar, con el enfoque palinológico, el mundo floral que rodea a *Melipona beecheii*. A diferencia de otros métodos más complejos y laboriosos, como la acetólisis (un proceso que limpia los granos de polen para ver sus detalles con más claridad y que hay pérdida de granos en el proceso), el uso directo de la tinción con fucsina en el néctar, permitió identificar la totalidad de granos de polen en volúmenes de muestras muy pequeñas (< 1 ml). No obstante, aunque esta técnica tiene sus limitaciones —por ejemplo, no todos los granos de polen se pueden identificar con precisión—, funciona muy bien para hacer evaluaciones rápidas y obtener un panorama general de las flores visitadas. Además, el hecho de que cada muestra representa lo que una abeja trajo en un momento específico, permite tener una idea del paisaje floral visto desde las antenas de las abejas. En lugar de estudiar la miel ya almacenada en los pots de la colmena (como usualmente se hace), aquí obtuvimos un tipo de “fotografía instantánea” del viaje de pecoreo. Esto es especialmente útil en temporadas donde hay poca producción de miel, como ocurre en época de lluvias, y donde otros métodos serían poco viables.

Con más datos —en otras épocas del año, con más colmenas, y combinando este enfoque con observaciones de campo o información fenológica— podríamos obtener una imagen más completa de los recursos florales que sustentan a estas abejas. Así, este trabajo no solo abre nuevas preguntas, sino que también muestra un camino accesible para seguir explorando cómo viven y qué necesitan las abejas nativas.



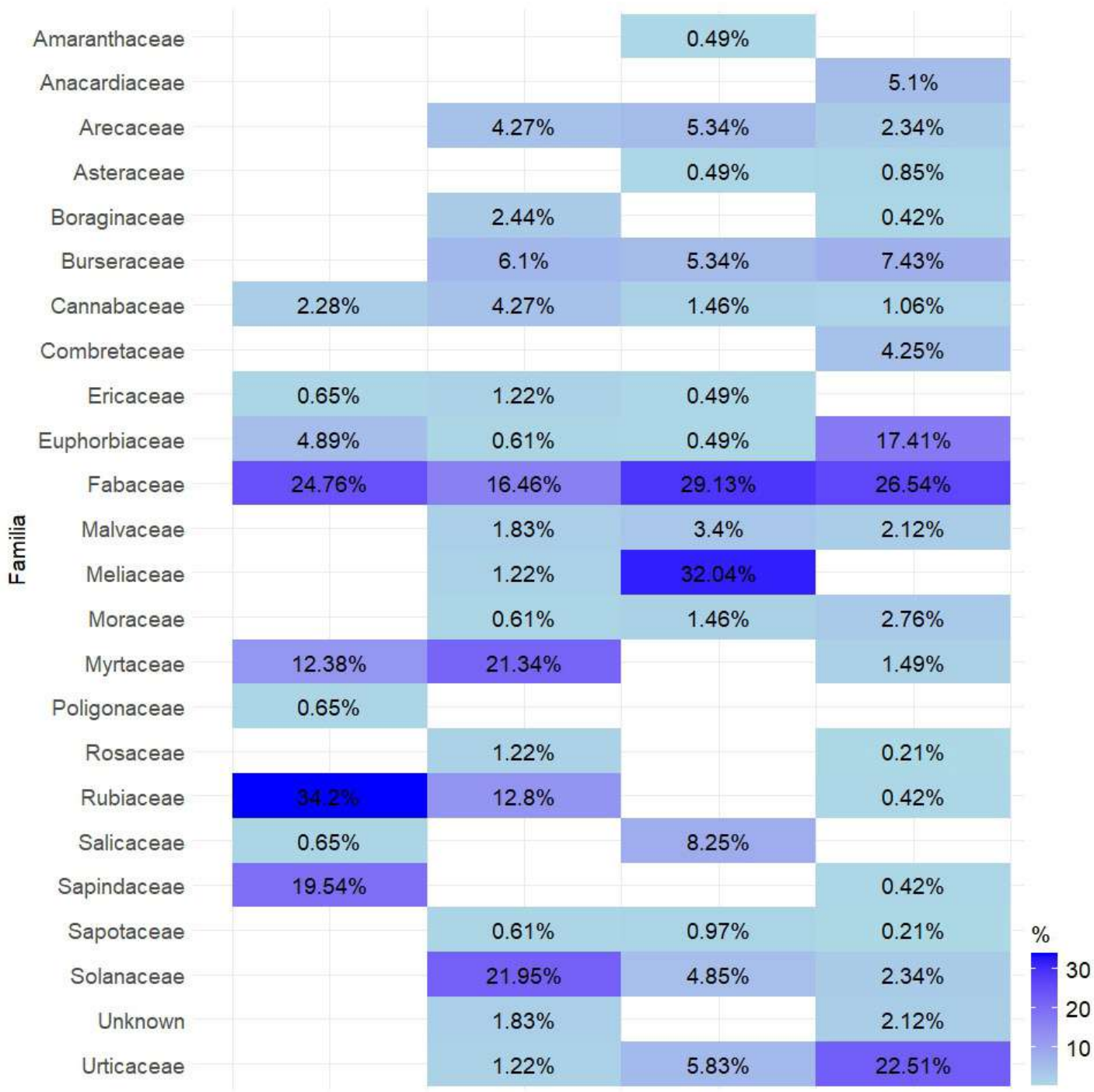


Figura 2. Diagrama de polen que muestra los porcentajes de familias identificadas en el néctar de *M. beecheii* por semana de muestreo.

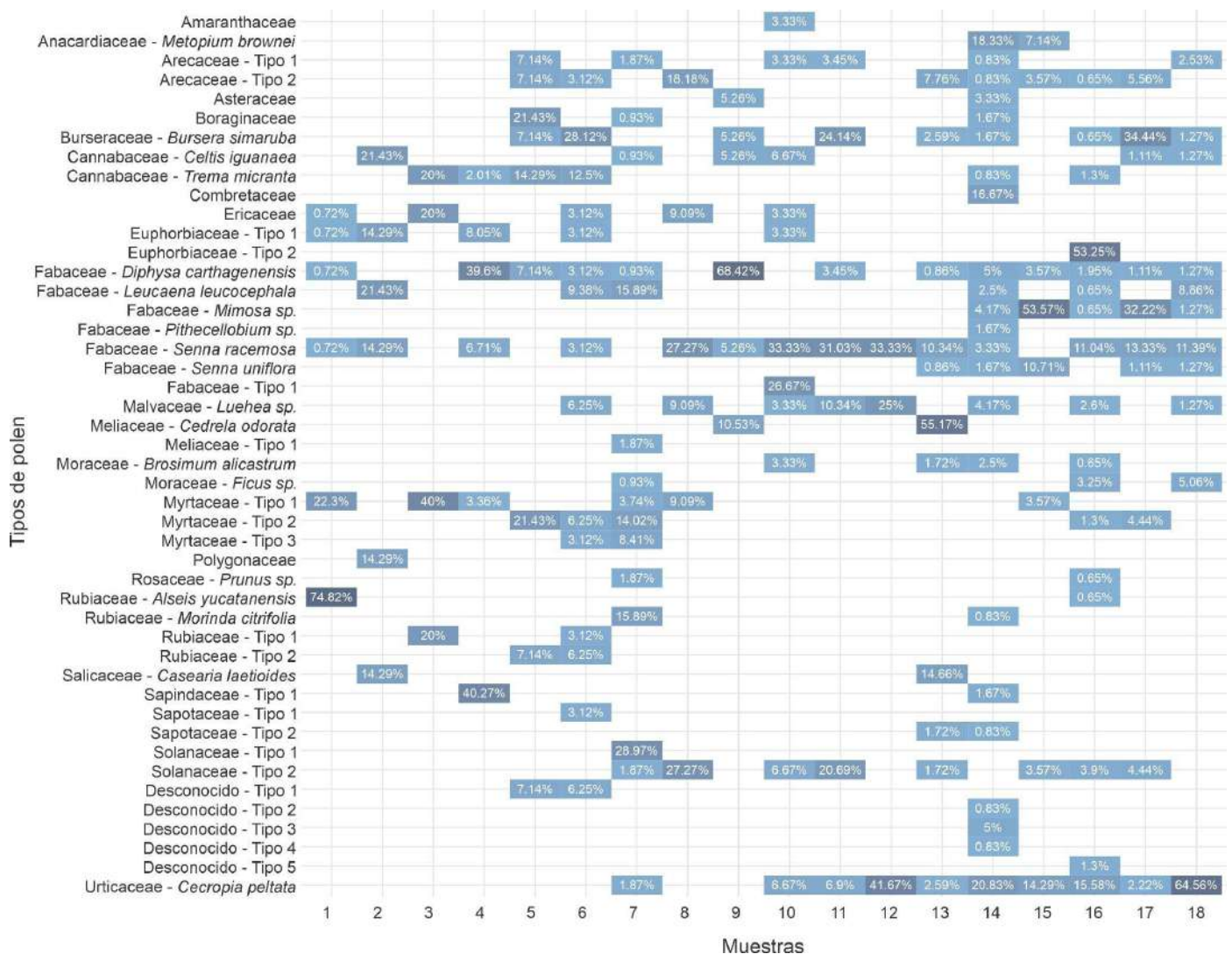


Figura 3. Diagrama de polen que muestra los porcentajes de los tipos polínicos identificados en el néctar de *M. beechii* por muestra.

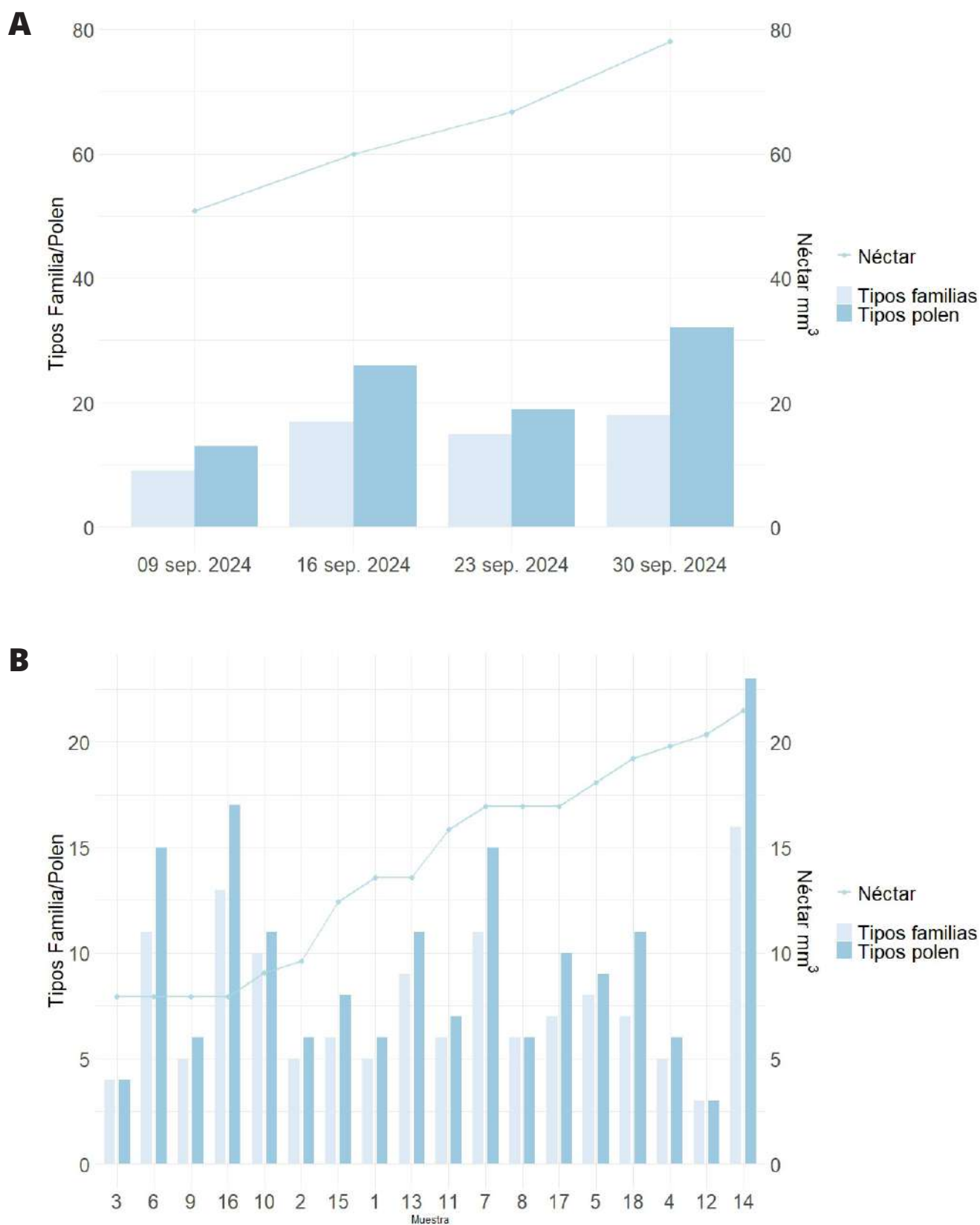


Figura 4. Relación de la abundancia de polen por familias y tipos de polen con el volumen promedio de néctar en función del día de muestreo (a) y el número de muestra (b).

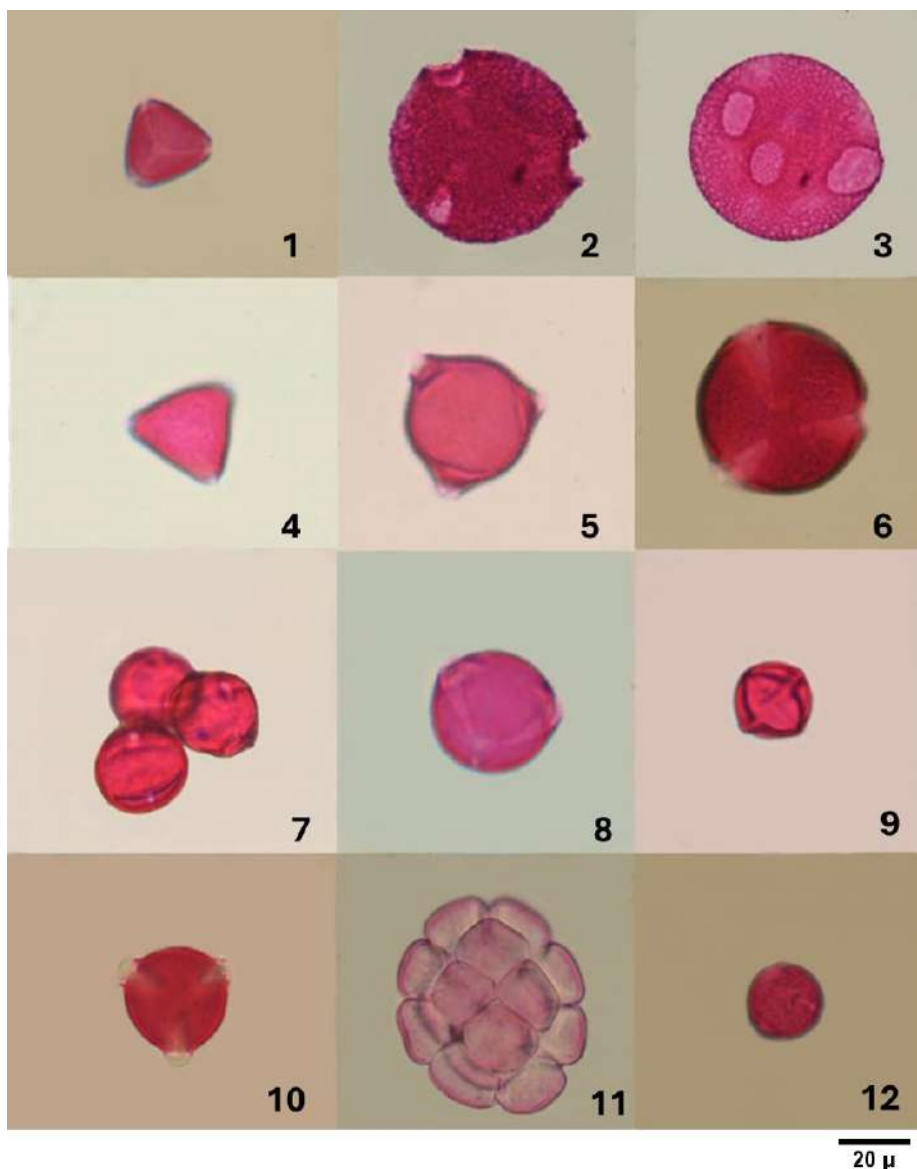


Figura 5. Granos de polen teñidos con fucsina a partir de muestras de néctar extraído de las abejas *M. beecheii* capturadas. 1; Myrtaceae - Tipo 1. 2-3; *Morinda citrifolia*. 4; Sapindaceae. 5; *Bursera simaruba*. 6; *Leucaena leucocephala*. 7; *Cedrela odorata*. 8; Solanaceae - Tipo 1. 9; Solanaceae - Tipo 2. 10; *Senna racemosa*. 11; *Pithecellobium* sp. 12; *Alseis Yucatanensis*.

CONCLUSIÓN

Explorar el néctar que las abejas traen del campo a sus colmenas abrió una ventana hacia el mundo floral que las rodea. Esta técnica, sencilla y poco invasiva, puede ser una alternativa valiosa para conocer qué flores visitan las abejas *Melipona beecheii*, sobre todo en momentos en los que la producción de miel es baja, como ocurre durante la temporada de lluvias. Los resultados señalan que algunas especies podrían ser claves en este periodo, como *Diphysa carthagenensis* y *Luehea* sp., seguidas por *Alseis yucatanensis* y *Cedrela odorata*. Conocer estas plantas y su papel en la dieta de las abejas es un paso importante desarrollar estrategias de conservación que aseguren la disponibilidad de recursos florales durante todo el año.

Aun así, consideramos que este trabajo apenas es un primer acercamiento. Hacen falta más estudios, con más muestras y en diferentes momentos del año, para comprender mejor cómo cambian los patrones

de pecoreo de *M. beecheii* y conocer a mayor detalle la diversidad de especies que forman parte de su dieta. También es necesario acompañar los análisis de polen con observaciones en campo; ver qué plantas están realmente floreciendo en el momento en que las abejas salen a pecorear, y así entender el polen encontrado proviene de flores visitadas en el viaje... o si podrían haber sido ingeridos previamente dentro de la colmena, antes de su salida a campo.

Finalmente, incorporar técnicas más precisas como la acetólisis —que permite determinar la identidad de los granos de polen con mayor precisión— podrían ayudarnos a identificar especies que, con el método usado en este estudio, quedaron en el nivel de familia o sin asignación. A pesar de estas limitaciones, observamos que con herramientas accesibles y observación cuidadosa, es posible reconstruir el paisaje floral desde el vuelo de una abeja.

Cada gota de néctar cuenta una historia. Escucharla es también una forma de proteger a quienes la recolectan.

Literatura citada



- Bacab-Pérez AI, Ramírez-Arriaga E, Canto A. 2024. Melissopalynology of pot-pollen and pot-honey of the Mayan stingless bee *Melipona beecheii* Bennett, 1831 (Apidae, Meliponini) in Yucatan, Mexico. *Apidologie* (Celle). 55(2):1–26.
- Barreto López FM. 2021. La decolonialidad como alternativa para la conservación de la biodiversidad. El caso de la meliponicultura en la Península de Yucatán. *Península*. 16(1):29–53.
- Barth FG. 1985. *Insects and flowers. The biology of a partnership*. Princeton University Press, Princeton, NJ. 309 pp.
- Buchmann S. 2016. *The reason for flowers: Their history, culture, biology, and how they change our lives*. Simon & Schuster, New York, NY. 353 pp.
- Coffey MF, Breen J. 1997. Seasonal variation in pollen and nectar sources of honey bees in Ireland. *J Apic Res*. 36(2):63–76.
- Córdova-Rodríguez A, Aragón-Moreno AA, Islebe GA, Torrescano-Valle N. 2023. Botanical characterization of *Apis mellifera* honeys in areas under different degrees of disturbance in the southern Yucatan Peninsula, Mexico. *Palynology*. 47(4):2215290.
- Di Pasquale G, Alaux C, Le Conte Y, Odoux J-F, Pioz M, Vaissière BE, Belzunces LP, Decourtaye A. 2016. Variations in the availability of pollen resources affect honey bee health. *PLoS One*. 11(9):e0162818.
- Duno-de Stefano R, Ramírez Morillo IM, Tapia-Muñoz JL, Hernández-Aguilar S, Can LL, Cetzal-Ix W, Méndez-Jiménez N, Zamora-Crescencio P, Gutiérrez-Báez C, Carnevali-Fernández-Concha G. 2018. Aspectos generales de la flora vascular de la Península de Yucatán, México. *Bot Sci*. 96(3):515–532.
- Flores-Taboada G, Grajales Conesa J, Sánchez Guillén D. 2021. Patrones de forrajeo de *Melipona yucatanica* y su relación con la vegetación [Maestría]. [Quintana Roo, México]: El Colegio de la Frontera Sur. 31 pp.
- García E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Ghosh S, Jeon H, Jung C. 2020. Foraging behaviour and preference of pollen sources by honey bee (*Apis mellifera*) relative to protein contents. *J Ecol Environ*. 44(1):1–7.
- Grüter C. 2020. Importance for Pollination. In: *Stingless Bees*. Cham: Springer International Publishing. p. 323–339.
- Horton NJ, Kleinman K. 2020. *Using R and RStudio for data management, statistical analysis, and graphics*. CRC Press, Boca Raton, FL. 253 pp.
- Johnson BR. 2023. *Honey bee biology*. Princeton University Press, Princeton, NJ. 512 pp.
- Kevan PG, Viana BF. 2003. The global decline of pollination services. *Biodiversity* (Nepean). 4(4):3–8.
- Khalifa SAM, Elshafiey EH, Shetaia AA, El-Wahed AAA, Algethami AF, Musharraf SG, AlAjmi MF, Zhao C, Masry SHD, Abdel-Daim MM, et al. 2021. Overview of bee pollination and its economic value for crop production. *Insects*. 12(8):688.
- Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc Biol Sci*. 274(1608):303–313.
- León-Canul RA, Chalé-Dzul JB, Vargas-Díaz AA, Ortiz-Díaz JJ, Durán-Escalante KC, Carrillo-Ávila E, Santillán-Fernández A. 2023. Identification of floral resources used by the stingless bee *Melipona beecheii* for honey production in different regions of the state of Campeche, Mexico. *Diversity* (Basel). 15(12):1218.
- López M, Gamiño M, Pinkus MA. 2020. La meliponicultura en la Reserva de la Biósfera de Los Petenes en la península de Yucatán, México. Una iniciativa decolonial. *Ecología Política Cuadernos de debate internacional*.(60):84–88.
- Malagnini V, Cappellari A, Marini L, Zanotelli L, Zorer R, Angeli G, Ioriatti C, Fontana P. 2022. Seasonality and landscape composition drive the diversity of pollen collected by managed honey bees. *Front Sustain Food Syst*. 6. doi:10.3389/fsufs.2022.865368. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.865368/full>.
- Palacios-Chávez R, Ludlow-Wiechers B, Villanueva R. 1991. Flora palinológica de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Quintana Roo (MX): CIQRO. 321 pp.
- Paris EH, Castrejon VB, Walker DS, Lope CP. 2020. The origins of Maya stingless beekeeping. *J Ethnobiol*. 40(3). doi:10.2993/0278-0771-40.3.386. [accessed 2024 Nov 11]. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.2993/0278-0771-40.3.386>.
- Requier F, Pérez-Méndez N, Andersson GKS, Blareau E, Merle I, Garibaldi LA. 2023. Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends Ecol Evol*. 38(2):196–205.
- Rosales GRO. 2013. Medicinal Uses of *Melipona beecheii* Honey, by the Ancient Maya. In: *Pot-Honey*. New York, NY: Springer New York. p. 229–240.
- Roubik DW. 2021. Bees: Ecological Roles. In: *Encyclopedia of Social Insects*. Cham: Springer International Publishing. p. 110–115.
- Sotelo Santos LE, Alvarez Asomoza C. 2018. The Maya Universe in a Pollen Pot: Native Stingless Bees in Pre-Columbian Maya Art. In: *Pot-Pollen in Stingless Bee Melittology*. Cham: Springer International Publishing. p. 299–309.
- Villanueva-Gutiérrez R, Moguel-Ordóñez YB, Echazarreta-González CM, Arana-López G. 2009. Monofloral honeys in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Grana*. 48(3):214–223.
- Villanueva-Gutiérrez R, Roubik DW, Colli-Ucán W, Tuz-Novelo M. 2018. The value of plants for the Mayan stingless honey bee *Melipona beecheii* (Apidae: Meliponini): A pollen-based study in the Yucatán peninsula, Mexico. In: *Pot-Pollen in Stingless Bee Melittology*. Cham: Springer International Publishing. p. 67–76.
- Weaver N, Weaver EC. 1981. Beekeeping with the Stingless Bee *Meupona Beecheii*, by the Yucatecan Maya. *Bee World*. 62(1):7–19.





CALIDAD SANITARIA DEL AGUA EN TIEMPOS DE SEQUÍA: UN ASPECTO QUE NOS ATAÑE A TODOS

ETHEL DANIELA CABELLO RUIZ², FERNANDA AMAIRANI URUETA SANTANA¹,
EDUARDO SÁNCHEZ GARCÍA², SANDRA LORUHAMA CASTILLO HERNÁNDEZ^{1*}
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas.
¹Departamento de Alimentos. ²Departamento de Química.
Correspondencia: *sandra.castillohrn@uanl.edu.mx



Palabras clave: Suministro de agua, sequía, calidad sanitaria.

Keywords: Water supply, drought, sanitary quality.

RESUMEN

En el año de 2022, Nuevo León atravesó por una crisis hídrica, en donde se declaró estado de emergencia. La red pública de suministro de agua presentó desabasto y por ende intermitencias en el servicio. Se presentaron diversos incidentes de salud pública en donde el consumo de agua se consideró un factor en común. La presente investigación tiene como objetivo determinar el impacto de la sequía en la potabilidad del agua suministrada por la red pública de Monterrey y su zona metropolitana, con el fin de sensibilizar a la población sobre los riesgos sanitarios asociados y promover medidas preventivas, contribuyendo de esta forma al fortalecimiento de la conciencia ambiental y social, informando y promoviendo el compromiso y la responsabilidad con el uso sostenible del recurso del agua.

ABSTRACT

In the year 2022, Nuevo León went through a water crisis, where a state of emergency was declared. The public water supply network was in short supply and therefore had interruptions in the service. Various public health incidents were presented in which water consumption was considered a common factor. The objective of this research is to determine the impact of drought on the drinkability of water supplied by the public network of Monterrey and its metropolitan area, in order to raise awareness among the population about the associated health risks and promote preventive measures, thus contributing to strengthening environmental and social awareness, informing and promoting commitment and responsibility to the sustainable use of water resources.

INTRODUCCIÓN

El estado de Nuevo León, ubicado en el noreste de México, históricamente ha enfrentado condiciones de estrés hídrico debido a su ubicación geográfica en una zona semiárida y con baja precipitación anual. A lo largo de las décadas, la región ha experimentado periodos recurrentes de sequía, pero en los últimos años la frecuencia e intensidad de estos eventos se ha incrementado notablemente. Uno de los primeros registros importantes de sequía severa en la entidad data de los años 90, cuando se documentaron restricciones de agua y afectaciones al campo y al abasto urbano. Sin embargo, fue durante el siglo XXI que el problema se volvió más crítico debido al crecimiento exponencial de la zona metropolitana de Monterrey, que ha generado una mayor demanda de agua potable, industrial y agrícola. Entre 2011 y 2012, México enfrentó una de sus peores sequías en siete décadas, afectando de forma significativa al norte del país, incluyendo a Nuevo León (H. Congreso Del Estado de Nuevo León, 2022). No obstante, en el 2022 Nuevo León enfrentó una de las peores crisis hídricas de su historia, caracterizada por una sequía extrema que afectó gravemente la disponibilidad y calidad del agua en la región. Se reportó un descenso a niveles críticos de las principales fuentes de abastecimiento como las presas de El Cuchillo, Cerro Prieto y la Boca, llegando a estar por debajo del 5% de su capacidad. Esta situación provocó que se redujera la capacidad de diluir compuestos con potencial contaminante, aumentando la concentración de las mismas en el agua disponible. Aunado a lo anterior, esto condujo a la implementación de medidas de racionamiento del suministro del agua, afectando principalmente a los habitantes de la zona metropolitana (DOF, 2022).

Resulta importante señalar, que dentro de las causas de la sequía en Nuevo León, se asocian múltiples factores que van desde el cambio climático (lo que intensifica la evaporación y disminuye la recarga de acuíferos), hasta prácticas humanas como lo son el déficit prolongado de lluvias, temperaturas elevadas, crecimiento urbano desmedido, sobreexplotación de fuentes hídricas, falta de infraestructura y mantenimiento y deficiente cultura del cuidado del agua, solo por mencionar algunas de ellas. Todo esto trayendo consigo consecuencias como el desabasto de agua potable, afectaciones a la salud pública, impacto económico, daño al medio ambiente, conflictos sociales y pérdida de la calidad del agua.

Así, la sequía en Nuevo León no es un fenómeno nuevo, pero sí uno que ha evolucionado de manera preocupante, exigiendo soluciones integrales que incluyan tecnología, educación ambiental, gestión eficiente del agua y participación ciudadana activa.

En este sentido, garantizar la calidad sanitaria del agua durante su suministro es vital para prevenir riesgos a la salud. Según Pérez -Vidal et al., (2016), el agua apta para consumo humano debe estar libre sustancias tóxicas y patógenos; éstos últimos pueden ser bacterias (*Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Vibrio cholerae*), protozoarios (*Giardia spp*, *Cryptosporidium spp*) y virus (hepatitis A y E) entre otros, siendo causales de infecciones graves y deben estar ausentes en el agua potable según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-2021 Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), cerca de 829,000 personas mueren anualmente por enfermedades gastrointestinales relacionadas con microorganismos presentes en el agua debido a un saneamiento deficiente y malas prácticas en el manejo. Es importante señalar que la presencia de patógenos está ligada a su vez a un limitado acceso al agua y a una deficiente gestión de desechos, a menudo debido a desigualdades geográficas y socioeconómicas (Ríos et al., 2017). Además, los contaminantes en el agua aumentan derivado del cambio climático que provoca temperaturas más altas, pérdida de especies y sequías, siendo estas últimas las que reducen las precipitaciones, aguas subterráneas y elevan contaminantes por procesos físicos, químicos y biológicos (Nosrati, 2011).

Es entonces desde el 2022, que Nuevo León enfrenta una emergencia por sequía generando la reducción del nivel de agua de presas como El Cuchillo, Cerro Prieto y La Boca (Figura 1) causando escasez en el suministro y preocupación en toda la población (Esparza-Hernández, 2022). Normalmente en el Estado, se suele tomar agua directamente de la llave considerando que siempre ha sido “de alta calidad y por lo tanto apta para su consumo”. Sin embargo, en esta nueva situación de emergencia por la sequía, se presentó un desbaste en la red pública con intermitencias en la disponibilidad de agua; algunos consumidores reportaron casos de infecciones relacionados a su consumo (Aguilar & Ramírez, 2015), creando especulaciones sobre el efecto de la sequía sobre la calidad sanitaria del agua. Derivado de estos hechos se considera importante y necesario conocer la calidad microbiológica del agua en este tipo de emergencias para emitir recomendaciones y aplicarlas antes de su consumo. Es por ello que en el presente estudio se evaluó la calidad microbiológica de muestras de agua de grifo de la red pública durante el período de sequía en municipios de Nuevo León,

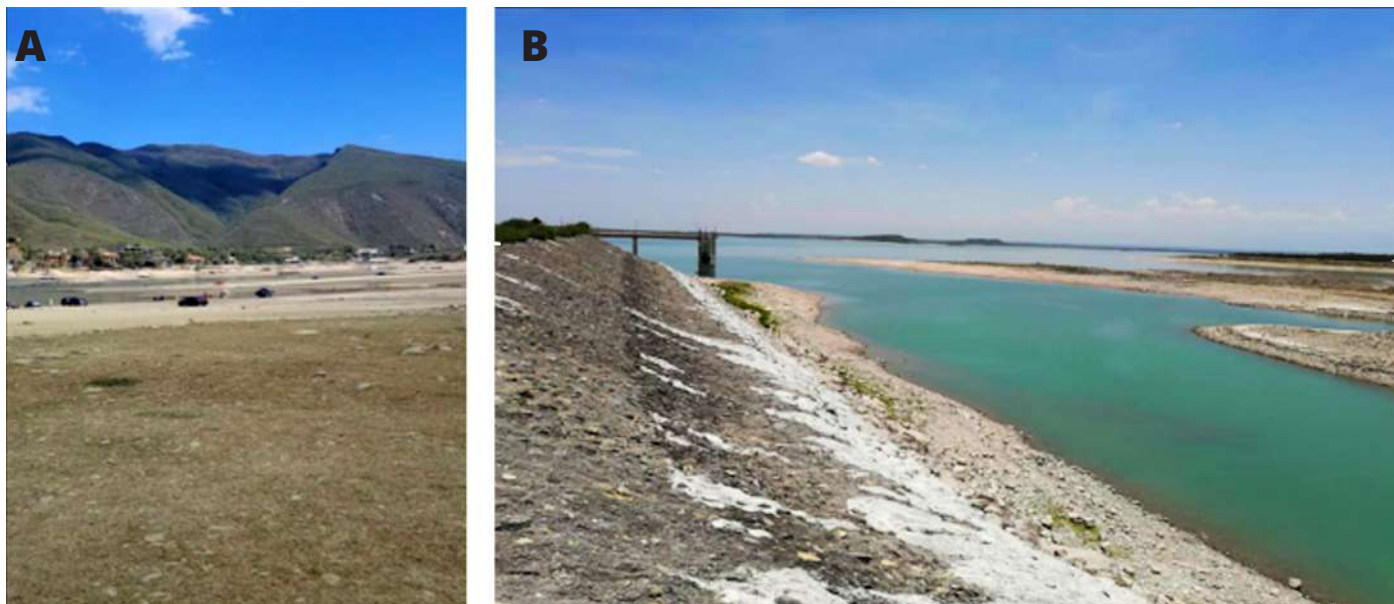


Figura 1. Niveles bajos de agua en las presas de Nuevo León durante la sequía que se presentó en el año 2022. A) Presa la boca, B) Presa Cerro Prieto. Fotografía: Lic. Kenya Garza.

de acuerdo con los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-2021, con el fin de que los resultados aquí presentados ayuden a la población a tomar las acciones correctas para prevenir infecciones intestinales resultantes de su ingestión. Finalmente, los resultados obtenidos se compararon con la calidad sanitaria resultante del agua obtenida al normalizarse el sistema público de abastecimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos se llevaron a cabo en los municipios de: Monterrey, Guadalupe, Juárez, Apodaca, García y San Nicolás de los Garza en el periodo de sequía de Nuevo León. Para preservar la integridad de la muestra de agua, se recolectó de acuerdo con el procedimiento mencionado en la NOM 109-SSA1-1994. "Procedimiento para la toma, manejo y transporte de muestras". La toma se realizó con extremo cuidado mediante sanitización del grifo y posteriormente su recolección en bolsas estériles (Nasco®). Se transportaron en frío y se procesaron en no más de 4h posteriores a la toma. Una vez en el laboratorio se realizaron pruebas físicas de turbidez (aspecto) y pH. Posterior a la realización de los procedimientos anteriores, se realizaron pruebas microbiológicas para determinar su calidad sanitaria: microorganismos indicadores (coliformes totales, fecales y *E. coli*) de acuerdo con la NOM-210-

SSA1-2014. "Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos". Estas pruebas fueron realizadas durante la emergencia del suministro y cuando el suministro fue restablecido con normalidad.

RESULTADOS

Las muestras colectadas en los municipios de: Monterrey, Guadalupe, Juárez, Apodaca, García y San Nicolás de los Garza fueron sometidas a Pruebas físicas y microbiológicas y se determinó su cumplimiento de acuerdo con los límites permisibles reportados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Las pruebas corresponden a lo siguiente:

Turbidez. En esta prueba el agua debe presentar una cualidad incolora para cumplir con la característica típica esperada. Los resultados se muestran en la Figura 2, en donde se puede observar que durante la emergencia de sequía el 97% de las muestras analizadas fueron incoloras y solo el 3% de las muestras presentaron turbidez. Al restablecerse el abastecimiento el 100% de las muestras cumplieron con la característica típica arriba mencionada.

Valores de pH. De acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021, “Agua para uso y consumo humano”, los límites permisibles para los valores de pH del agua deben estar en el rango de 6.5 a 8.5. Según los resultados obtenidos, durante la emergencia de sequía el 15% de las muestras no cumplieron con dicho rango, y cuando se restableció el suministro, tan solo el 3% de las muestras no cumplieron con los límites permisibles excediendo estos valores (Figura 3).

Coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*. Estos microorganismos son utilizados como indicadores de contaminación resultante de varias fuentes, su presencia en límites no permisibles da lugar a la posible presencia de patógenos. Por un lado, los coliformes totales indican una mala calidad del agua, sin embargo, la contaminación puede no ser fecal; Por otro lado el grupo coliforme fecal se relaciona con materia fecal de animales de sangre caliente, mientras que *E. coli*, aunque también se encuentra en animales de sangre caliente, se puede relacionar con materia fecal del intestino humano (Saxena et al. 2015). Es por ello que la detección de estos microorganismos es muy importante en el análisis de la calidad sanitaria del agua (Fig.4).

Los resultados para coliformes totales muestran que el 67% de las muestras analizadas durante la emergencia de sequía, rebasaron los límites permisibles, mientras que el 33%, se mantuvo dentro de los mismos; de estas muestras en incumplimiento, el 48% dio positivo para coliformes fecales y el 4% a *E. coli*. Al restablecerse el abastecimiento, solo el 9% no cumplió mientras que el 91% de las muestras se mantuvieron dentro de estos límites; de este 9% en incumplimiento, fueron positivas para coliformes fecales y 0% para *E. coli*. (Fig. 5).

MUESTRAS CON INCUMPLIMIENTO EN LÍMITES PERMISIBLES POR MUNICIPIO DURANTE LA EMERGENCIA DEL SUMINISTRO

Los municipios muestreados fueron: Monterrey, Guadalupe, Juárez, Apodaca y García. De acuerdo con el análisis realizado por municipio, el porcentaje mayor de muestras con incumplimiento en los límites permisibles para coliformes totales fue Monterrey con un 60%, seguido de Apodaca (18%), Guadalupe (12%), Juárez y García (5%) (Fig. 6). Una vez restablecido el suministro, solamente el municipio de Monterrey presentó un incumplimiento en el 9% de las muestras. Los demás municipios muestreados cumplieron con los límites permisibles en el 100% de las muestras analizadas.

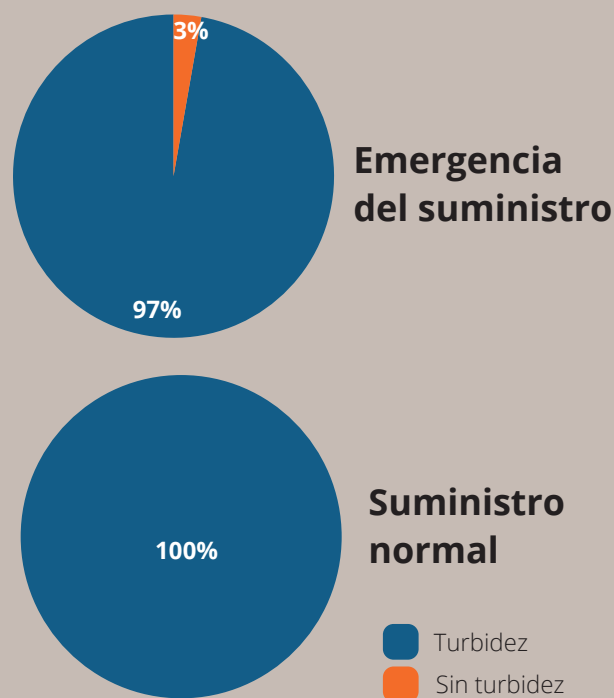
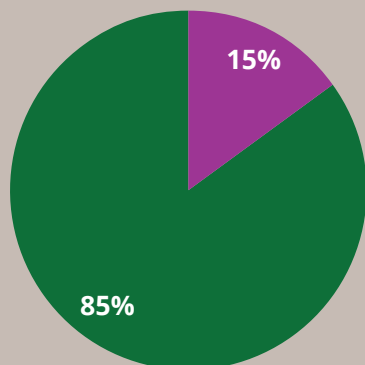


Figura 2. Porcentaje de muestras que presentaron turbidez durante y después de la emergencia de suministro.

Figura 4. Prueba de positiva para coliformes fecales. Fuente: fotografía original de esta investigación.



Emergencia del suministro



Suministro normal

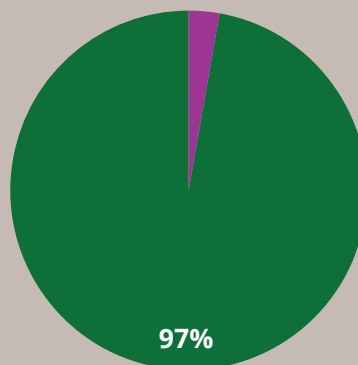


Figura 3. Porcentaje de muestras de agua dentro y fuera de los valores permisibles para pH durante y después de la emergencia de suministro.

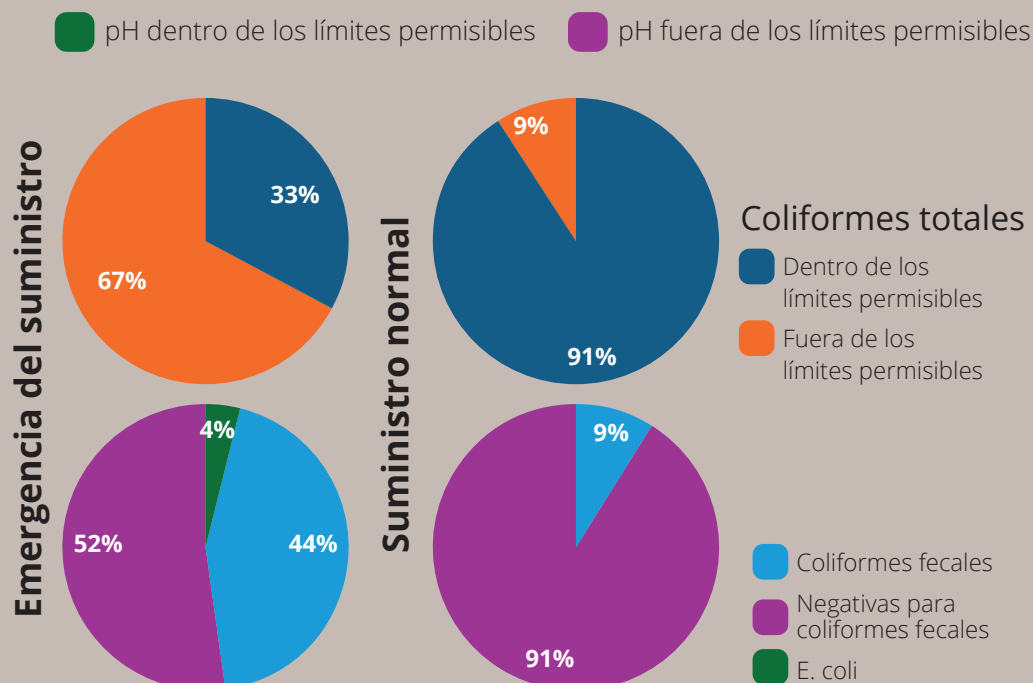


Figura 5. Detección de coliformes totales, fecales y *E. coli* en muestras de agua durante y después de la emergencia de suministro.

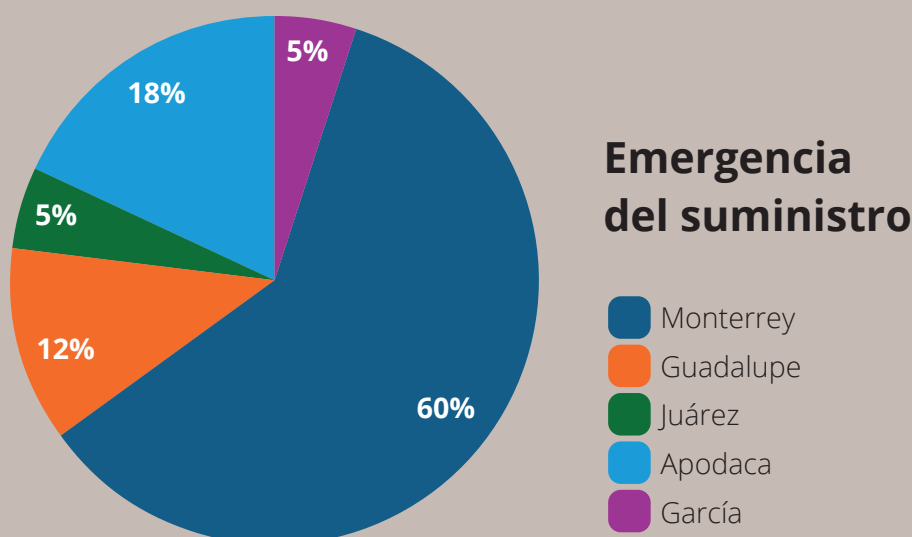


Figura 6. Porcentaje de muestras por municipio que incumplieron con los límites permisibles durante la emergencia del suministro de agua (desabasto).

DISCUSIÓN

El estado de Nuevo León, situado en el norte de México, presenta desafíos específicos debido a sus condiciones geográficas y climáticas, que incluyen su ubicación en una región semiárida y extrema, que influyen en su disponibilidad de recursos hídricos (Aguilar y Ramírez, 2021). Las sequías que afectan tanto a México, como al estado de Nuevo León, tienen consecuencias significativas en la salud y la sociedad. La falta de precipitación durante períodos prolongados puede llevar a la escasez de agua y afectar el suministro potable de la misma teniendo consecuencias en la economía. De acuerdo con los resultados presentados en este estudio, el suministro de agua en tiempos de sequía sufre una afectación importante en su calidad sanitaria; durante el suministro normal, el agua de Monterrey y su área metropolitana cumple en su mayoría con las condiciones óptimas de consumo. El porcentaje de incumplimiento durante el suministro normal es muy bajo y podría estar influenciado por diferentes factores que deberán ser analizados. En general el agua de Monterrey y su área metropolitana es apta para su consumo en condiciones normales. El cambio climático exacerba los desafíos que ya enfrentan las empresas de agua potable y saneamiento. La combinación de una creciente demanda debido a la urbanización y el desarrollo económico, junto con eventos climáticos extremos, pone en riesgo la sostenibilidad de los suministros de agua. Si bien la naturaleza sigue su curso, nuestra capacidad de previsión nos permite anticiparnos a las adversidades y

minimizar sus consecuencias. Este artículo tiene como finalidad conocer los riesgos que enfrentamos en una emergencia de sequía y tomar las acciones necesarias para evitar incidentes de salud pública. Los organismos públicos están desplegando grandes esfuerzos para asegurar la calidad del agua suministrada a la población de Monterrey y sus alrededores; no obstante, el cambio climático introduce nuevos riesgos que son prácticamente inevitables.

CONCLUSIÓN

Afortunadamente las presas captaron agua suficiente con el paso del huracán “Alberto” durante el 2024, por lo que se restableció el suministro normal de agua potable; sin embargo, una emergencia de sequía puede volver a presentarse. Considerando los riesgos asociados a la calidad del agua en períodos de sequía, se sugiere a la población hervirla al menos cinco minutos como medida preventiva en este tipo de contingencia. Si el agua presentase turbidez, no se recomienda consumirla sino optar por agua embotellada o considerar un filtro purificador de agua para grifo.

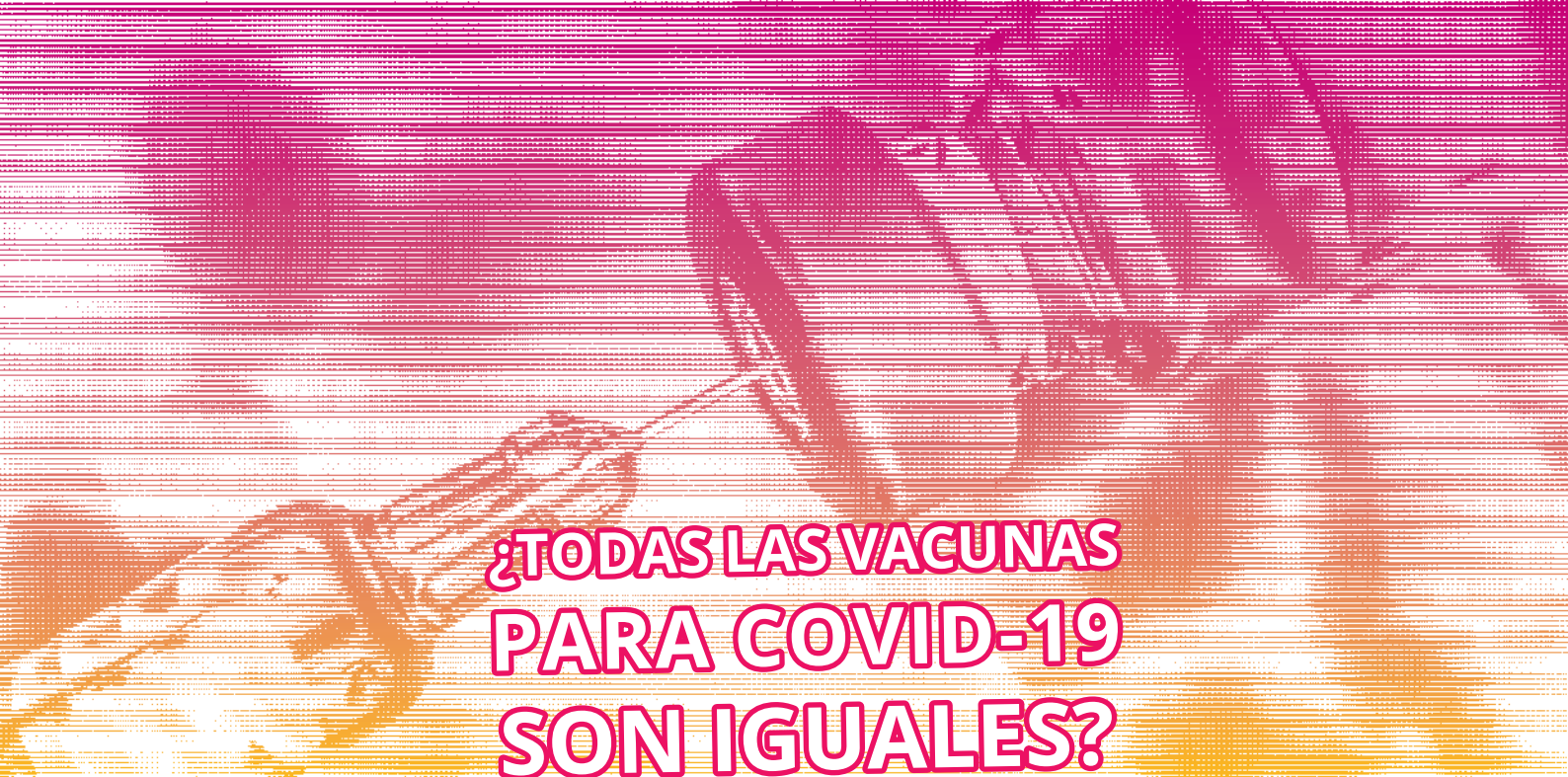
AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Dr. José Ignacio González Rojas y a la Lic. Kenya Garza por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación.

Literatura citada



- Aguilar Barajas, I., & Ramírez Orozco, A. I. (2015). Agua para Monterrey Logros, retos y oportunidades para Nuevo León y México. <https://hdl.handle.net/11285/642843>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2022). Dof.gob.mx. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5659827&fecha=29%2F07%2F2022&utm_source=chatgpt.com#gsc.tab=0
- Esparza-Hernández, J.M. (2022). Un estudio de caso: la atención de la sequía en Monterrey, Nuevo León. Impluvium, Gestión Integral de Sequías (22). UNAM.
- H. Congreso Del Estado de Nuevo León (2022). Presenta iniciativas para enfrentar la sequía. https://www.hcnl.gob.mx/glpmc/2022/02/presenta-iniciativas-para-enfrentar-la-sequia.php?utm_source=chatgpt.com
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.
- Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014-Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.
- Nosrati, K. A. Z. E. M. (2011). The effects of hydrological drought on water quality. *IAHS-AISH Publication*, 348, 51-56. https://iahs.info/uploads/dms/16916.13-51-56-348-11_506-Nosrati_final-revised.pdf
- OMS. (2022). Agua para consumo humano. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Saxena, G., Bharagava, R. N., Kaithwas, G., & Raj, A. (2015). Microbial indicators, pathogens and methods for their monitoring in water environment. *Journal of water and health*, 13(2), 319-339. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.275>
- Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Salamanca-Rojas, K. L., & Rojas-Torres, L. Y. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. *Revista de Salud Pública*, 18, 275-289. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>



¿TODAS LAS VACUNAS PARA COVID-19 SON IGUALES?

CONOCE ALGUNAS DIFERENCIAS
EN ESTRUCTURA Y EFECTIVIDAD

IVÁN DELGADO-ENCISO^{1,2*}, JESSICA C. ROMERO-MICHEL³,
VERÓNICA MIRIAM GUZMÁN-SANDOVAL⁴, OSIRIS G. DELGADO-
ENCISO¹, GUSTAVO A. HERNÁNDEZ-FUENTES¹, VÍCTOR H
CERVANTES-KARDASCH¹, IRAM P. RODRÍGUEZ SANCHEZ^{5*}

RESUMEN

Durante la pandemia por COVID-19 se desarrollaron diversos tipos de vacunas. En su estructura pueden ser diferentes, pero en su función esencial todas son similares. Evitar que las personas vacunadas padezcan una enfermedad grave y sean hospitalizados es su principal objetivo. Sin embargo, quizás hemos escuchado que alguien vacunado (y con esquema completo) se enfermó de gravedad, se hospitalizó, y quizás falleció, a pesar de estar vacunado. El tipo de vacuna que se aplicó un sujeto, ¿Influye en la supervivencia del paciente hospitalizado? ¿Cómo puede influir el tipo de vacuna que se puso un paciente previamente, cuando padece una enfermedad grave? Estas son preguntas recientemente constadas en un estudio de investigación realizado en México, en donde se dio seguimiento a 462 pacientes hospitalizados por COVID-19 (estudio de cohorte). Se demostró que aquellos pacientes vacunados con Pfizer tienen más del doble de posibilidad de sobrevivir (mortalidad significativamente reducida), en comparación con los vacunados con AstraZeneca o con los NO vacunados. Lo anterior basado en los porcentajes de mortalidad y análisis estadísticos complejos que consideran todas las características medicas de los pacientes.

¹Facultad de Medicina de la Universidad de Colima. Av Universidad 333, Colonia las víboras, CP 28040, Colima, México.

²Instituto Estatal de Cancerología de Colima, Servicios de Salud del Instituto Mexicano del Seguro Social para el Bienestar (IMSS-BIENESTAR). Av. Liceo de Varones Esq. Dr. Rubén Agüero, Col. La Esperanza, CP 28085, Colima, México.

³Facultad de Derecho de la Universidad de Colima. Kilómetro 3.2 carretera, El Diezmo, CP 28040 Colima, México.

⁴Facultad de Psicología de la Universidad de Colima. Av Universidad 333, Colonia las víboras, CP 28040, Colima, México.

⁵Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66455 México.

*Correspondencia: ivan_delgado_enciso@ucol.mx; iramrodriguez@gmail.com

Tabla 1. Características y diferencias de las vacunas usadas en México para prevenir COVID-19.

Nombre popular de la vacuna	Virus modificado	Tipo de virus usado como vacuna	Coronavirus inactivados	ARN	Proteína (componente) del coronavirus
AstraZeneca	Sí	Adenovirus	No	No	No
Johnson & J.	Sí	Adenovirus	No	No	No
CanSino	Sí	Adenovirus	No	No	No
Sputnik	Sí	Adenovirus	No	No	No
Patria	Sí	rNDV	No	No	No
CorovaVac	No	No	Sí	No	No
Abdala	No	No	No	No	Sí
Pfizer	No	No	No	Sí	No
Moderna	No	No	No	Sí	No

ANTECEDENTES

Aunque la “emergencia” por la pandemia por COVID-19 ha terminado, esto no significa que la pandemia y la enfermedad COVID-19 sea cosa del pasado (Naciones Unidas, 2023). Esta enfermedad está, y seguirá en nuestras comunidades, por lo que debemos estar preparados para prevenirla y/o tratarla de manera adecuada. Hoy en día, generalmente la enfermedad se puede dar en formas más leves, debido a que muchos ya estamos vacunados, o nos enfermamos antes, teniendo algo de defensas para combatir el virus. Sin embargo, aún habrá personas, sobre todo las que padecen enfermedades crónicas o los adultos mayores, que pueden presentar casos graves con hospitalización (Delgado-Enciso et al., 2021). Por ello, seguir tomando medidas de prevención es muy recomendable, pues, aunque alguien pueda decir “a mí no me pega, o me da leve”, esa persona puede llevar la infección y contagiar a otras personas que sí se pueden enfermar gravemente. Por ello, la responsabilidad para tratar de limitar la propagación del COVID-19 y de otras enfermedades respiratorias o “gripes”, es parte de una sociedad comprometida con el autocuidado de la salud. La vacunación es sin duda una de las estrategias que ayudaron a terminar con la emergencia por COVID-19.

¿TODAS LAS VACUNAS SON IGUALES?

No todas las vacunas para prevenir el COVID-19 son iguales. Hay vacunas que se produjeron con diferentes estrategias y componentes. Unas utilizan un virus inocuo para transportar fragmentos específicos (que producirán proteínas) del coronavirus con el fin de que estos induzcan una respuesta inmunitaria sin llegar a causar la enfermedad. Unos utilizan Adenovirus modificados genéticamente para que funcionen como vacunas, siendo de este tipo la AstraZeneca, la Johnson & Johnson, CanSino, y la Sputnik (González-González et al., 2024). Otra vacuna que deriva de otro virus (rNDV) modificado es la vacuna Patria. Existen vacunas hechas de

un tipo de material genético denominado ARN, y son las vacunas Pfizer y Moderna. Finalmente, otro tipo de vacuna es la basada en restos de coronavirus inactivos, siendo la Sinovac (CorovaVac) de este tipo. Actualmente también está disponible la vacuna Abdala, conocida popularmente como la vacuna de Cuba, que es una proteína (es una vacuna que no utiliza virus), además de que la autoridad sanitaria autorizó el uso en caso de emergencia de la vacuna Patria (basado en el virus rNDV modificado) (Vaquero Simancas, 2024). Como podemos observar, existe gran variedad de vacunas (ver tabla 1). Las más utilizadas durante la emergencia en México fueron la AstraZeneca y Pfizer, en menos medida la CanSino (Mendoza-Hernandez et al., 2024).

La principal función de la vacuna no es evitar el contagio de COVID-19, sino que la enfermedad sea leve, o que el paciente vacunado no necesite ser hospitalizado. En este sentido, podemos decir que todas las vacunas cumplen de manera aceptable esta función, previniendo las formas graves de la enfermedad en un 70 a 95 %, lo cual varía según el tipo de vacuna aplicada y las características de la persona. Por ejemplo, las vacunas basadas en RNA generalmente mostraron una efectividad un poco mayor, y las personas con sistema inmune deprimido por alguna enfermedad se pudo observar una efectividad menor de las vacunas. Pero en general, todas ofrecen esta protección de manera apropiada, cuando se cumple el esquema planteado por el fabricante y aprobado por las autoridades sanitarias. Por ejemplo, hay vacunas que se aplican al menos dos veces para considerar un esquema completo, y después otros “refuerzos”. Este es un tema cambiante y del cual tenemos que atentos para seguir las indicaciones de los fabricantes y autoridades, sobre todo en los “refuerzos”.

¿UN PACIENTE VACUNADO SE PUEDE ENFERMAR DE GRAVEDAD?

Sí. Como mencionamos anteriormente, es mucho menos probable que se enferme de gravedad un sujeto

vacunado, en comparación con uno no vacunado. Por ello, desde el punto de vista médico, es recomendable la vacunación. Aunque respetando la autodeterminación (o autonomía) de cada individuo, esta es una decisión personal, pues la vacunación, contra COVID-19 u otras enfermedades, puede generar, en muy baja proporción, un efecto no deseado. Sin embargo, se recomienda la vacunación porque el beneficio es mayor que el probable riesgo. La autonomía se entiende como la libertad que tiene cada persona para aceptar un tratamiento, una intervención o una vacuna, pero esta presupone que la persona tiene la capacidad de decisión en condiciones de racionalidad, información, comprensión y total libertad. Por lo anterior, es importante brindar la mayor información a la comunidad, para que las personas tomen decisiones con autonomía, pero fundamentadas en gran parte por conocimientos. También es importante mencionar que las defensas generadas con la vacunación pueden bajar con el tiempo, por ello se han implementado dosis adicionales o refuerzos a los 6 meses o 1 año después del esquema de vacunación inicial. Aplicaciones posteriores y a lo largo de la vida podrían ser necesarias, atendiendo las recomendaciones de las autoridades sanitarias.

¿CUÁL ES LA MEJOR VACUNA?

Todas las vacunas autorizadas en México han demostrado una eficacia para evitar en gran medida las formas graves de la enfermedad, por lo que, en este sentido, podemos decir que son similares. Sin embargo, sí de los pacientes vacunados, lamentablemente alguno se enferma de gravedad, ¿Es lo mismo que haya sido vacunado con cualquier vacuna? La respuesta es NO. En este supuesto escenario sí existen diferencias. Un estudio realizado en Colima, México (apoyado por CONAHCYT, Proyecto no. 319282), donde se dio seguimiento a 462 pacientes hospitalizados por COVID-19 (estudio de cohorte), se demostró que aquellos pacientes vacunados con Pfizer tienen más del doble de posibilidad de sobrevivir, en comparación con los vacunados con AstraZeneca o con los NO vacunados. Lo anterior basado en los porcentajes de mortalidad y análisis estadísticos complejos que consideran todas las características de los pacientes (modelo mixto lineal multivariado generalizado ligado con regresión logística binaria, y análisis de supervivencia) (Mendoza-Hernandez et al., 2024). La mortalidad más alta se observó en el grupo no vacunado (52,6%), seguido de los vacunados con AstraZeneca (41,1%), y los pacientes con menor mortalidad fue el vacunado con Pfizer (31,7%).

En pacientes de 60 años o más, la mortalidad fue más elevada, falleciendo 6 de cada 10 pacientes no vacunados, 5 de cada 10 pacientes vacunados con Astra, y solo 3 de cada 10 vacunados Pfizer. Hay que considerar que los pacientes vacunados con Pfizer fueron los de mayor edad y con más enfermedades concomitante (diabetes, hipertensión, etc), y aun así, fueron los que menos murieron (Mendoza-Hernandez et al., 2024). Este estudio demostró que tanto los vacunados con Astra, como con Pfizer, al estar hospitalizados mantienen un número más elevado de células sanguíneas de las defensas contra virus (mayor número de linfocitos sanguíneos), pero los vacunados con Pfizer mostraron una supervivencia significativamente mayor. Es decir, estar vacunado ayuda en caso de una enfermedad grave, aunque en este caso sí se logró evidenciar que los vacunados con Pfizer tuvieron un mejor pronóstico y menos probabilidades de morir, sobre todo en pacientes adultos mayores y con enfermedades crónicas previas (Mendoza-Hernandez et al., 2024). Este estudio sólo analizó a los pacientes hospitalizados vacunados con AstraZeneca y Pfizer, en esquemas completos (al menos dos vacunas). De las otras vacunas no se obtuvieron datos, pues otras vacunas se aplicaron con menos frecuencia durante los primeros años de pandemia en México, y futuros estudios serían necesarios. En pocas palabras, estar vacunado ayudo a los pacientes a mantener un mayor número de células sanguíneas especializadas en la defensa de enfermedades contra virus (linfocitos), lo cual permitió afrontar de mejor manera la enfermedad grave, lo cual derivó en tener menos mortalidad, sobre todo al estar vacunado con Pfizer.

CONCLUSIÓN

Estar vacunado contra el virus que causa COVID-19 no solo reduce la probabilidad de padecer una enfermedad grave, sino también reduce la mortalidad de los pacientes que evolucionan a una enfermedad complicada y se hospitalizan. Lo anterior se logró comprobar claramente con la vacuna Pfizer. Pueden existir algunas diferencias entre las vacunas, por lo que más estudios son necesarios, sobre todo para conocer si otras vacunas, como la "Abdala" o "Patria", también ofrecen estas ventajas en pacientes con COVID-19 grave. Cada persona, de manera informada y según la disponibilidad de los diferentes tipos de vacunas, debe tomar su decisión sobre vacunarse contra el virus causante del COVID-19, siguiendo las recomendaciones de las autoridades sanitarias.

Literatura citada



- Delgado-Enciso, I., Delgado-Enciso, I., Paz-García, J., Barajas-Sauced, C. E., Mokay-Ramírez, K. A., Meza-Robles, C., López-Flores, R., Delgado-Machuca, N., Murillo-Zamora, E., Toscano-Velázquez, J. A., Delgado-Enciso, J., Melnikov, V., Walle-Guillen, M., Galvan-Salazar, H. R., Delgado-Enciso, O. G., Cabrera-Licona, A., Danielewicz-Mata, F. T. J., Mandujano-Díaz, P. J., Guzmán-Esquivel, J., ... Paz-Michel, B. A. (2021). Safety and efficacy of a COVID-19 treatment with nebulized and/or intravenous neutral electrolyzed saline combined with usual medical care vs. usual medical care alone: A randomized, open-label, controlled trial. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 22(3), 915. <https://doi.org/10.3892/ETM.2021.10347>
- González-González, E., Delgado-Enciso, I., Martínez Fierro, M. de la L., Hodgers-Gonzalez, R., Maggolino-Tuyu, G., Hodgers-Fernandez, T. J., & Rodríguez-Sánchez, I. P. (2024). Vacunas para COVID-19 basadas en Adenovirus. *Biología y Sociedad*, 7(13 SE-Artículos), 82–87. <https://doi.org/10.29105/bys7.13-109>
- Mendoza-Hernández, M. A., Guzmán-Esquivel, J., Ramos-Rojas, M. A., Santillán-Luna, V. V., Sánchez-Ramírez, C. A., Hernández-Fuentes, G. A., Díaz-Martínez, J., Melnikov, V., Rojas-Larios, F., Martínez-Fierro, M. L., Tiburcio-Jiménez, D., Rodríguez-Sánchez, I. P., Delgado-Enciso, O. G., Cabrera-Licona, A., & Delgado-Enciso, I. (2024). Differences in the Evolution of Clinical, Biochemical, and Hematological Indicators in Hospitalized Patients with COVID-19 According to Their Vaccination Scheme: A Cohort Study in One of the World's Highest Hospital Mortality Populations. In *Vaccines* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/vaccines12010072>
- Naciones Unidas (2023). Se acaba la emergencia por la pandemia, pero el COVID continúa. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2023/05/1520732>
- Vaquero Simancas, J. (2024). Las autoridades sanitarias avalan el uso de la vacuna Patria para casos de emergencia. El País. <https://elpais.com/mexico/2024-01-27/las-autoridades-sanitarias-avalan-el-uso-de-la-vacuna-patria-para-casos-de-emergencia.html>



UTOPIA ANTIMICROBIANA

/// TORRES-HERNÁNDEZ, ÁNGEL DAVID



Palabras clave: Antibióticos, resistencia antimicrobiana, plantas, etnobotánica.

RESUMEN

El uso de los antimicrobianos está descrito desde la antigüedad, sin embargo, el siglo XX fue el parteaguas entre el inicio del uso de sustancias químicas y el salto hacia el uso de compuestos producidos por hongos, como lo es la penicilina descubierta por Fleming, abriendo camino para la investigación y el desarrollo de nuevos antimicrobianos para definir posteriormente el término antibiótico. A pesar de la gran innovación, uno de los principales problemas de salud pública es el desarrollo de la resistencia bacteriana contra los antibióticos, causado por el uso desmedido y a la rápida generación por parte de los microorganismos desde hace más de 80 años. Estos hechos han contribuido a que las nuevas terapias solo cuenten con 10 años de vida útil, generando desinterés entre las farmacéuticas en el desarrollo de fármacos, debido a la baja rentabilidad. Hoy en día se ha retomado la importancia del uso etnobotánico de las plantas como alternativas para tratar enfermedades. Debido a sus metabolitos secundarios, las plantas se han convertido en una fuente para la obtención de nuevas moléculas para la generación de fármacos en el tratamiento de diversas afecciones. El objetivo de este escrito es dar a conocer una problemática actual de la sociedad en cuestión de salud, a través de la historia del uso y desarrollo de los antibióticos, así como presentar a las plantas como una alternativa natural, en la cual se pueden enfocar futuras investigaciones.

INTRODUCCIÓN

Imaginemos un mundo alternativo en donde los medicamentos como los antibióticos no existen debido a que la sociedad y el mundo se han mantenido libres de bacterias patógenas gracias a la implementación de estrictos protocolos de higiene y saneamiento, y que las opciones en la farmacia para tratar un dolor de cabeza solo sean una variedad de frascos con plantas secas en su interior (fig.1), en lugar de los medicamentos que normalmente consumimos. Hasta el momento, dentro de esta perspectiva, nos encontramos bien, pero el problema real se presentará cuando una epidemia aparezca y no se cuente con una vacuna o un medicamento específico para tratarlo. Aunque esto solo se trate de un capítulo de la serie televisiva de ciencia ficción "*Sliders*" (Azzopardi, 1995), la cual nos presenta diversos problemas sociales a través de mundos alternos; la representación de un panorama hipotético mediante la ficción, nos permite estar alertas y a su vez adelantarnos a eventos de gran impacto como lo es la generación de resistencia antimicrobiana, permitiéndonos adelantar la búsqueda de nuevas terapias en fuentes de origen natural como lo son las plantas.



Figura 1. Flor de manzanilla. Autor: Jérôme Bouche/stock.adobe.com

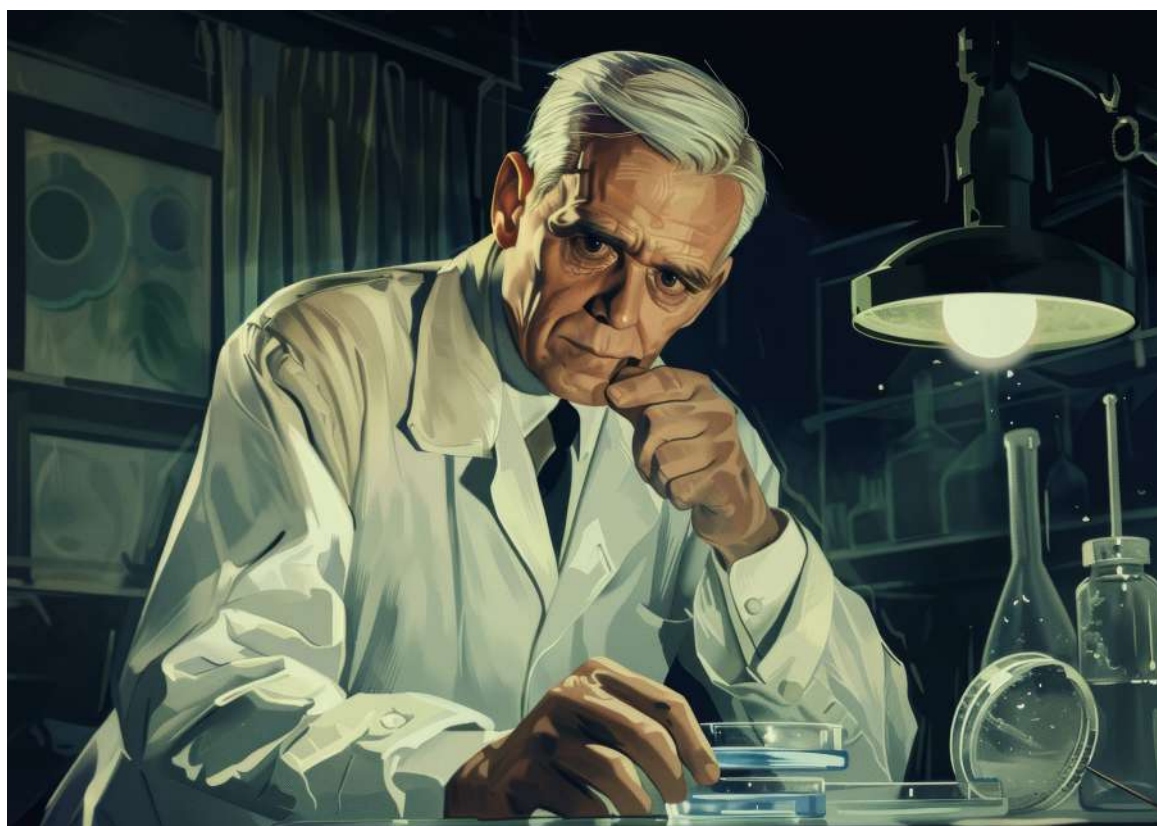


Figura 2. Alexander Fleming. Autor: spyrakot/stock.adobe.com

UNA BREVE HISTORIA DEL USO DE LOS MICROORGANISMOS

La historia del uso benéfico de los microorganismos se asentó hace 2 000 años en Serbia, China, Grecia y Egipto, al describirse el uso de manera empírica el pan con moho como cataplasma para tratar heridas abiertas (Dutta, 2024). Esta técnica se encuentra descrita en el papiro de Eber, el cual data del año 1550 a. C. y se considera como un documento médico, en donde además se incluye el uso de la arcilla medicinal como parte de sus remedios tradicionales (Ramírez-Alanoca y Copa-Gisbert, 2020).

Para el año de 1910, se daría a conocer el uso del Salvarsán como la primera droga utilizada con un efecto anti-infectivo, la cual fue desarrollada por Paul Ehrlich a base de arsénico y utilizada principalmente para tratar a la bacteria causal de la sífilis (*Treponema pallidum*); rápidamente esta droga sería desplazada por el fármaco Prontosil, una sulfonamida considerada como el primer antimicrobiano de amplio espectro desarrollado por Gerhard Domagk al seguir los pasos de Ehrlich (Hutchings *et al.*, 2019).

Las sulfonamidas se mantuvieron en uso hasta 1928, año que marcó el inicio de una revolución derivada de una contaminación en los cultivos de *Staphylococcus spp.*, los cuales eran parte del trabajo de investigación

de Alexander Fleming. Este hecho desencadenó la conocida serendipia de Fleming, al observar que los cultivos se veían inhibidos por la presencia del hongo contaminante, identificado como *Penicillium notatum* (Lobanovska y Pilla, 2017). Parte de este descubrimiento resultó de la astucia de Fleming, quien interpretó lo que sucedía dentro de aquella placa Petri, y que gracias a lo que hoy conocemos como penicilina es que se daba aquella inhibición, sin embargo, jamás llegó a imaginar la revolución y los hechos que esto traería consigo.

HISTORIA DE LOS ANTIBIÓTICOS

El descubrimiento de Fleming impulsó al microbiólogo Selman Waksman a finales de 1930 a dirigir un estudio sobre bacterias presentes en el suelo que posteriormente, en 1937, traería consigo el descubrimiento de un conjunto de bacterias denominado como actinobacterias (Fig.3). Waksman observó que este grupo de bacterias inhibía el crecimiento de otras bacterias como parte de un mecanismo de competencia, lo que finalmente ayudó a definir al término antibiótico como aquel compuesto sintetizado por algún microorganismo, ya sea hongo o bacteria, que cuente con actividad en contra de otros microorganismos (Hutchings *et al.*, 2019).



Figura 3. Cultivo de la actinobacteria *Streptomyces spp.*
Autor: ajayptp/stock.adobe.com

Aunque el producto derivado de un hongo dio inicio a la denominada época dorada de los antibióticos, lapso en el cual se descubrió entre el 70 y un 80 % de los antibióticos conocidos hoy en día, la realidad es que el 90 % de estos fueron producidos por actinobacterias (Ribeiro da Cunha *et al.*, 2019) (tabla 1), los cuales quizá estuvieron presentes en el remedio de tierra medicinal descrito en el papiro de Eber.

Tabla 1. Principales actinobacterias y los antibióticos derivados

Año de descubrimiento	Microorganismo	Antibiótico
1944	<i>Streptomyces griseus</i>	Estreptomicina
1947	<i>Streptomyces venezuelae</i>	Cloranfenicol
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	Polimixina E
1948	<i>Streptomyces aureofaciens</i>	Clortetraciclina
	<i>Saccharopolyspora erythraea</i>	Eritromicina
1952	<i>Streptomyces virginiae</i>	Virginiamicina
1956	<i>Amycolatopsis orientalis</i>	Vancomicina
1959	<i>Streptomyces mediterranei</i>	Rifamicina B
1969	<i>Streptomyces spp.</i>	Fosfomicina

RESISTENCIA ANTIMICROBIANA: UNA CRISIS ACTUAL

El primer reporte de resistencia antimicrobiana se presentó en el año de 1940 contra la penicilina, esto se atribuyó principalmente al uso indiscriminado de la misma; el uso de alternativas generó que se presentara

un segundo reporte de resistencia, esta vez contra la estreptomicina, a poco menos de cinco años de su descubrimiento en 1948 (Spagnolo *et al.*, 2021).

¿Pero qué es la resistencia y cómo puede ser adquirida? La resistencia a los antibióticos se considera como un mecanismo de defensa natural que se encuentra principalmente en el genoma de las bacterias, la cual puede ser adquirida mediante la transferencia horizontal de genes de otras bacterias presentes en el ambiente o bien mediante la exposición prolongada y desmedida a los antibióticos como sucede a través del uso clínico y de la industria ganadera (fig.4) (Ortiz-Brizuela *et al.*, 2023).



Figura 4. Uso de antibióticos en la industria ganadera. Autor: nevodka.
com/stock.adobe.com

Para 1970, la resistencia contra antibióticos propició el agotamiento de alternativas para tratamiento, convirtiéndolas en terapias estrictamente de uso precavido (fig. 5). Esto generó un descenso en la producción y desarrollo de nuevos antibióticos en el último medio siglo por parte de las empresas farmacéuticas, debido a que existe una mayor dificultad para identificar nuevas terapias, al aumento de los costos y a la baja rentabilidad para el desarrollo de nuevos fármacos, calculando que, el costo para impulsar un nuevo antibiótico al mercado es de 3,120 millones de dólares con una vida útil menor a 10 años antes de generar una resistencia (Spagnolo *et al.*, 2021).

La resistencia a los antimicrobianos ha provocado que en las últimas tres décadas se reconozca como uno de los diez principales problemas de salud pública, ya que genera alrededor de 700,000 muertes al año, y se estima que para el año 2050 se alcancen los 10 millones de muertes por año, llevándonos así a una era denominada posantibiótica (O'Neil, 2016).

Este es un tema que no se puede abordar de manera independiente, para esto, es necesario la coordinación y colaboración entre sectores como la industria farmacéutica, agrícola, la educación y organizaciones no gubernamentales, las cuales puedan generar colaboraciones a nivel nacional e internacional (Oliveira *et al.*, 2024); algunas de las medidas para el combate

de la resistencia antimicrobiana descritas por Salam y colaboradores (2023) se resumen a continuación:

1. Medidas internacionales: Establecen la colaboración entre agencias internacionales, gobiernos, organizaciones privadas y profesionistas para establecer una red de vigilancia, detección, seguimiento y monitoreo de patógenos.
2. Estrategias nacionales: Fortalecen la vigilancia, seguimiento y evaluación, integrándolos sectores de salud pública y veterinaria, e invierte en investigación básica para desarrollo de nuevos tratamientos y vacunas.
3. Prohibición de los antibióticos de venta libre: Propone un control regulatorio estricto para la venta y dispensación de antibióticos de venta libre en países en vías de desarrollo.
4. Uso de antibióticos en animales: Hace hincapié en la restricción de antibióticos en animales, reduciendo su uso como preventivo solo al existir una infección en una población.
5. Estrategia One Health: Es un enfoque transdisciplinario que trabaja a nivel local, regional, nacional y mundial para lograr una salud óptima para personas, animales y el medioambiente.
6. Desarrollo y uso de alternativas: Esta estrategia propone generar una mayor inversión para la investigación y desarrollo, enfocado en la búsqueda de posibles alternativas de tratamiento, en la cual las plantas se consideran fuentes poco explotadas en la búsqueda de posibles agentes antimicrobianos.



Figura 5. Prueba de antibiograma representando la resistencia de un cultivo bacteriano a diversos antibióticos. Autor: Saiful52/stock.adobe.com



Figura 6. Plantas medicinales. Autor: Oksana Smyshliaeva/stock.adobe.com

ETNOBOTÁNICA COMO ALTERNATIVA

El uso de remedios caseros a partir de plantas consideradas como medicinales es la herencia ancestral que nos ha acompañado a lo largo de los años. Esta se fue desarrollando mediante la observación de aquellos animales salvajes que consumían ciertas plantas o bayas que no ocasionaban daño alguno, descartando aquellas que pudieran ser tóxicas, dejando para uso aquellas que generaban un beneficio de forma medicinal (Mayor, 2024).

Uno de los registros más antiguo del uso de plantas como terapia, se encontró en un absceso dental presente en el fósil de un neandertal el cual contaba una antigüedad de 50 000 años, en este se logró identificar ADN correspondiente para el árbol de Álamo, el cual se ha descrito que contiene ácido salicílico, un componente químico de la aspirina actual (Weyrich *et al.*, 2017).

El registro escrito del uso de plantas se generó durante la conquista de los españoles en el siglo XVI con la producción de los libros denominados códices (fig.6), en los cuales se recopiló y describió los usos y aplicaciones de la herbolaria utilizada en la cultura mexicana. Dentro de los códices más importantes podemos encontrar el Códice de la Cruz-Badiano, escrito por el médico indígena Martín de la Cruz, y el Códice Florentino, escrito por fray Bernardino de Sahagún (Gómez-Dantés y Frenk, 2022).

Hoy en día las plantas se han convertido en una fuente importante para la obtención de nuevas moléculas con potencial terapéutico gracias a la etnobotánica y

la etnofarmacología, las cuales definen como planta medicinal aquellas especies utilizadas en la medicina tradicional que contienen elementos benéficos para curar enfermedades en humanos y animales, sin embargo, mientras la primera se encarga de estudiar la relación entre de las plantas y los seres humanos de manera tradicional, la última tiene como objetivo desarrollar un fármaco validando su uso tradicional (Rodrigues y Ribeiro de Oliveira, 2020).

Aproximadamente del 70-90 % de la población de los países en desarrollo aún depende de los remedios tradicionales basados en extractos de plantas, generado interés desde el punto de vista científico debido a que los componentes químicos vegetales son una fuente para el descubrimiento de nuevas terapias, las cuales han contribuido al sector salud con aproximadamente la mitad de los fármacos aprobados hoy en día por la Administración de Alimentos y Medicamentos, por sus siglas en inglés FDA (Anand *et al.*, 2019).

La biodiversidad de plantas a nivel mundial es tan amplia que aún no se ha explotado de manera adecuada con respecto a la búsqueda de nuevos medicamentos, ya que estimaciones sugieren que, de las 350,000 especies de plantas vasculares identificadas, solo el 7 % (~ 26,000 especies) han sido documentadas para su uso en la medicina tradicional, mientras que el registro de nuevas especies continúa, ya que solo en el año 2019 se registraron 1955 nuevos ejemplares (Oladunjoye *et al.*, 2022).

LAS PLANTAS COMO FUENTE DE METABOLITOS SECUNDARIOS

Los científicos hoy en día tienen la tarea de identificar nuevos compuestos biológicamente activos en especies vegetales (fig. 7). Estas moléculas son el resultado del metabolismo secundario de las plantas, las cuales se consideran que no son necesarias para su desarrollo, pero sí necesarias como parte de un mecanismo de defensa contra factores ambientales y biológicos como bacterias, hongos, virus y herbívoros (Anand *et al.*, 2019).

Estos metabolitos secundarios se pueden clasificar en diversos grupos de compuestos fenólicos y polifenoles como lo son terpenos, taninos, alcaloides, flavonoides, quinonas, cumarinas, saponinas, entre otros. Para estas moléculas se ha descrito que poseen una diversidad de actividades biológicas, las cuales pueden actuar como antioxidantes, antineoplásicos, antivirales, antifúngicos, pero sobre todo cabe resaltar su actividad antimicrobiana (Anand *et al.*, 2019; Khameneh *et al.*, 2019).

Dentro de su actividad antimicrobiana, se ha reportado que estas moléculas presentan mecanismos de acción principalmente en la inhibición de la síntesis de pared celular bacteriana, modulación de la susceptibilidad a los antibióticos, inhibición de biopelícula, atenuación de la virulencia bacteriana y la inhibición de bombas de

eflujo (Murugaiyan *et al.*, 2022). Keita y colaboradores (2022) describen algunos mecanismos de acción antimicrobianas para los siguientes metabolitos secundarios:

1. Berberina: Es una isoquinolona que actúa contra *Staphylococcus aureus*, resistente a meticilina, inhibiendo la adhesión a fibroblastos y el desarrollo de biopelículas.
2. Piperina: Es un alcaloide con actividad contra bacterias Gram positivas y negativas (*S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*), y que actúa como inhibidor de bombas de eflujo de *S. aureus* en combinación con ciprofloxacina.
3. Alicina y ajoene: Son compuestos organosulfurados de amplio espectro los cuales actúan induciendo la agregación de proteínas y la inactivación de enzimas esenciales de las bacterias.
4. Eugenol: Es un fenilpropanoide que inhibe la formación de biopelículas de *Streptococcus spp.*, interrumpe la membrana celular de *Salmonella typhi* y reduce la expresión génica de las toxinas de *S. aureus*.

La búsqueda se mantiene constante con la investigación de los recursos naturales; sin embargo, muchos de estos metabolitos aún no se han explorado y su actividad biológica permanece en desconocimiento. Cabe resaltar que, otro de los desafíos principales se encuentra en generar aplicaciones prácticas que puedan ponerse en



Figura 7. Estudio de los compuestos químicos de plantas. Autor: VK Studio/stock.adobe.com

marcha dentro de entornos clínicos, las cuales permitan reducir la brecha entre los procesos de investigación y la implementación de estos (Angelini, 2024).

CONCLUSIÓN

Mencionar un mundo alterno en donde la salud de la sociedad solo dependa de plantas y disciplina en la higiene ya no suena tan descabellado después de conocer un poco mejor la historia, y no queda duda de que las plantas han sido y seguirán siendo de gran apoyo para mantener el frente contra los inminentes desafíos del lado oscuro de la salud pública del siglo XXI. Recientemente, hemos vivido una pandemia en donde la higiene fue pilar esencial en la lucha contra una enfermedad infecciosa y en la cual se enfocaron todos los recursos disponibles para la investigación y el rápido desarrollo de una vacuna.

Esta experiencia nos deja en claro que está en nosotros impulsar la búsqueda y evaluación de nuevas moléculas para determinar su valor medicinal, y así adelantar una barrera contra el inminente alcance de la resistencia a los antimicrobianos, sin embargo, este tema no se puede combatir de manera independiente, y se debe impulsar el trabajo en equipo de manera interdisciplinaria, entre gobierno, organizaciones no gubernamentales y el

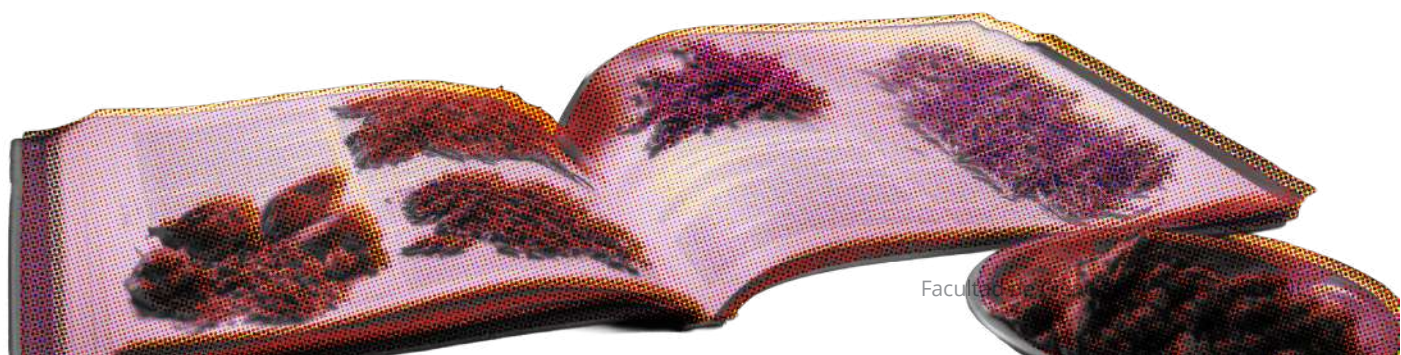
sector industrial, para impulsar el financiamiento para la generación de la mayor cantidad de información necesaria, para que pueda ser transformado en terapias de aplicación práctica en el sector salud.

De igual manera, las políticas implementadas para el control de antibióticos, la vigilancia epidemiológica y la búsqueda de alternativas, han permitido trabajar a nivel nacional e internacional, logrando que el flujo de información fluya de una forma eficiente, lo cual facilitará en un futuro generar una red integra de combate y prevención en contra de la resistencia antimicrobiana.

La carrera contra la resistencia continua, la ficción nos alcanza y cada vez nos vemos más cerca de una línea apocalíptica generada por una era posantibiótica, sin embargo, queda en nosotros mantener una conciencia sobre el problema y hacer uso de las herramientas disponibles para tratar un problema que nos ha acompañado desde hace más de 80 años.

AGRADECIMIENTOS

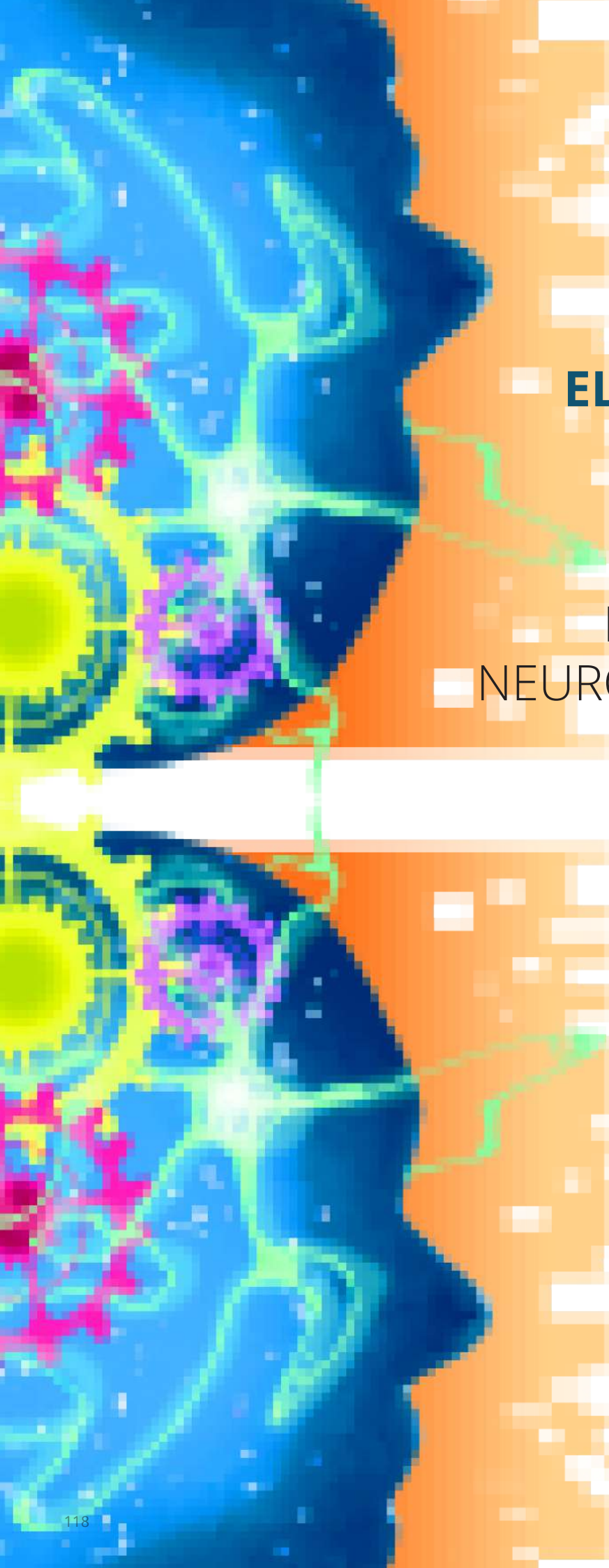
A la M.C. Alejandra Arreola Triana y a la Doctora Diana Caballero Hernández por su contribución en la guía para el desarrollo de este artículo.



Literatura citada



- Azzopardi M. (Director), R. Schacht y A. Powell (Escritores) (29 de marzo de 1995). *Fever* (Temporada 1, Episodio 5). T. Tormé y R.K. Weiss (Directores ejecutivos), *Sliders*. Fox Network.
- Dutta S.S. 2024. The history of antibiotics. En: <https://www.news-medical.net/health/The-History-of-Antibiotics.aspx> (Consultado el 7/11/2024).
- Ramírez-Alanoca G.F., V.J. Copa-Gisbert. 2020. Phasa: Todo sobre la arcilla comestible. *Revista Científica Ciencia Médica*. 23(2): 240-246. http://www.scielo.org/bo/pdf/rccm/v23n2/v23n2_a15.pdf.
- Hutchings M. I., A.W. Truman, B. Wilkinson. 2019. Antibiotics: past, present and future. *Current Opinion in Microbiology*. 51: 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2019.10.008>.
- Lobanovska M., G. Pilla. 2017. Penicillin's discovery and antibiotic resistance: Lessons for the future?. *Yale Journal of Biology and Medicine*. 90(1): 135-145. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5369031/>.
- Ribeiro da Cunha B., L.P. Fonseca, C.R.C. Calado. 2019. Antibiotic discovery: Where have we come from, where do we go? *Antibiotics*. 8(2): 45. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8020045>.
- Spagnolo F., M. Trujillo, J.J. Dennehy. 2021. Why do antibiotics exist?. *mBio*. 12(6). <https://doi.org/10.1128/mbio.01966-21>.
- Ortiz-Brizuela E., A. Ordinola-Navarro, B.A. López-Luis. 2023. ¿Un mundo sin antibióticos? Conoce la resistencia antimicrobiana. *Revista Digital Universitaria*. 24(3). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.3.9>.
- O'Neill J. 2016. Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. Review on antimicrobial resistance. *Wellcome Trust and HM Government*. https://amr-review.org/sites/default/files/160518_Final%20paper_with%20cover.pdf.
- Oliveira M., W. Antunes, S. Mota, Á. Madureira-Carvalho, R.J. Dinis-Oliveira, D. Dias da Silva. 2024. An Overview of the recent advances in antimicrobial resistance. *Microorganisms*. 12(9): 1920. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12091920>
- Salam M.A., M.Y. Al-Amin, M.T. Salam, J.S. Pawar, N. Akhter, A.A. Rabaan, M.A.A. Alqumber. 2023. Antimicrobial resistance: A growing serious threat for global public health. *Healthcare (Basel)*. 11(13): 1946. <https://doi.org/10.3390/healthcare11131946>
- Mayor A. 2024. How humans learned to self-medicate with certain plants by observing animals. En: <https://www.pbs.org/newshour/science/how-humans-learned-to-self-medicate-with-certain-plants-by-observing-animals> (Consultado el 10/11/2024).
- Weyrich L., S. Duchene, J. Soubrier, L. Arriola, B. Llamas, J. Breen, A.G. Morris, K.W. Alt, D. Caramelli, V. Dresely, M. Farrell, A.G. Farrer, M. Francken, N. Gully, W. Haak, K. Hardy, K. Harvati, P. Held, E.C. Holmes, J. Kaidonis, C. Lalueza-Fox, M. de la Rasilla, A. Rosas, P. Semal, A. Soltysiak, G. Townsend, D. Usai, J. Wahl, D.H. Huson, K. Dobney, A. Cooper. 2017. Neanderthal behaviour, diet, and disease inferred from ancient DNA in dental calculus. *Nature*. 544, 357-361. <https://doi.org/10.1038/nature21674>
- Gómez-Dantés O., J. Frenk. 2022. La atención a la salud en Mesoamérica antes y después de 1519. *Salud Pública de México*. 62(1). <https://doi.org/10.21149/10996>.
- Rodrigues E., D. Ribeiro de Oliveira. 2020. Ethnopharmacology: a laboratory science?. *Rodriguésia*. 71. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202071061>.
- Anand U, N. Jacobo-Herrera, A. Altemimi, N. Lakhssassi. 2019. A comprehensive review on medicinal plants as antimicrobial therapeutics: Potential avenues of biocompatible drug discovery. *Metabolites*. 9(11): 258. <https://doi.org/10.3390/metabo9110258>.
- Oladunjoye I.O., Y.A. Tajudeen, H.J. Oladipo, M.S. El-Sherbini. 2022. Planetary health and traditional medicine: A potential synergistic approach to tackle antimicrobial resistance. *Challenges*. 13(1), 24. <http://dx.doi.org/10.3390/challe13010024>.
- Khameneh B., M. Iranshahy, V. Soheili, B.S. Fazly Bazzaz. 2019. Review on plant antimicrobials: a mechanistic viewpoint. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 118. <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0559-6>
- Murugaiyan J., P.A. Kumar, G.S. Rao, K. Iskandar, S. Hawser, J.P. Hays, Y. Mohsen, S. Adukkadukkam, W.A. Awuah, R.A.M. Jose, N. Sylvia, E.P. Nansubuga, B. Tilocca, P. Roncada, N. Roson-Calero, J. Moreno-Morales, R. Amin, B.K. Kumar, A. Kumar, A.R. Toufik, T.N. Zaw, O.O. Akinwotu, M.P. Satya-seela, M.B.M. van Dongen. 2022. Progress in alternative strategies to combat antimicrobial resistance: Focus on antibiotics. *Antibiotics (Basel)*. 11(2): 200. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11020200>
- Keita K., C. Darkoh, F. Okafor. 2022. Secondary plant metabolites as potent drug candidates against antimicrobial-resistant pathogens. *SN Applied Sciences*. 4(8): 209. . <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05084-y>
- Angelini P. 2024. Plant-derived antimicrobials and their crucial role in combating antimicrobial resistance. *Antibiotics*. 13(8), 746. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13080746>



EL CEREBRO SOCIAL COMO BASE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: POTENCIAL USO EN NEURORREHABILITACIÓN

/// VERÓNICA MIRIAM GUZMÁN-SANDOVAL¹*, IVÁN DELGADO-ENCISO², PEDRO CÉSAR SANTANA-MANCILLA³, VÍCTOR HUGO CERVANTES-KARDASCH², SILVIA BERENICE-FAJARDO FLORES³, IRAM PABLO RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ⁴

¹Facultad de Psicología de la Universidad de Colima. Av Universidad 333, Colonia las víboras, CP 28040, Colima, Mexico.

²Facultad de Medicina de la Universidad de Colima. Av Universidad 333, Colonia las víboras, CP 28040, Colima, Mexico.

³Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Av Universidad 333, Colonia las víboras, CP 28040, Colima, Mexico.

⁴Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66455 México.

*Correspondencia: Verónica Miriam Guzmán-Sandoval Facultad de Psicología de la Universidad de Colima. Av Universidad 333, Colonia las víboras, CP 28040, Colima, Mexico.
gus_vero@ucol.mx

Facultad de Ciencias Biológicas | UANL



Palabras clave: discapacidad neurológica, discapacidad cognitiva, salud, calidad de vida, inteligencia artificial.

Keywords: neurological disability, health, quality of life, artificial intelligence

RESUMEN

La evolución del cerebro para su humanización, socialización y adaptación a un entorno cambiante ha tomado millones de años. El entendimiento completo de las funciones cerebrales y de las habilidades socioemocionales aún no se conoce con profundidad, pero se sabe que el tamaño y la complejidad del cerebro humano proviene de las demandas de la interacción social. Con la aparición de la neurociencia cognitiva se comprende el cerebro social, que conforma una interacción de redes neuronales y neurotransmisores involucrados en el proceso de aprendizaje; con estos conocimientos del funcionamiento de las redes neuronales se desarrollan modelos matemáticos para generar la inteligencia artificial. La inteligencia artificial puede contribuir a la neurorrehabilitación y en la habilitación socioemocional de personas con diversas discapacidades neurológicas, bajo leyes y principios éticos que garanticen su calidad de vida.

ABSTRACT

The evolution of the brain for humanization, socialization and adaptation to a changing environment has taken millions of years. A complete understanding of brain functions and socioemotional skills is not yet known in depth, but it is known that the size and complexity of the human brain stems from the demands of social interaction. With the emergence of cognitive neuroscience, the social brain is understood, which forms an interaction of neural networks and neurotransmitters involved in the learning process. With this knowledge of the functioning of neural networks, mathematical models are developed to generate artificial intelligence. Artificial intelligence can contribute to neurorrehabilitation and socioemotional habilitation of people with various neurological disabilities, under laws and ethical principles that guarantee their quality of life.



INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la hipótesis del cerebro social, el ser humano es una especie social que se adapta a las demandas ambientales y a las exigencias de interacción con otras personas para sobrevivir (Shultz & Dunbar, 2007; Dunbar, 2012). En este sentido, los cerebros de los primates denotan una relación directa entre el tamaño del cerebro y el tamaño del grupo social (Dunbar, 2009; Dunbar, 1993). El cerebro social se compone de redes neuronales inmersas en diversas estructuras del Sistema Nervioso Central (SNC), como la corteza temporal ventral en la circunvolución fusiforme (encargada de la lectura del rostro), la amígdala (estructura relacionada con la recompensa y las emociones), el córtex orbitofrontal (región cerebral que participa en la toma de decisiones y la regulación emocional) y los lóbulos temporales (encargados de procesar estímulos visuales y vinculados con la memoria y el lenguaje) y la corteza somatosensorial (encargada de procesar y dar significado a las sensaciones táctiles), entre otras estructuras (Jimenez & Meyer, 2024). Todas las áreas neuronales descritas con anterioridad están encargadas de desarrollar la cognición social, es decir, la habilidad para una rápida identificación de los estímulos y señales sociales, con el fin de contraponerse con la experiencia pasada y anticipar el comportamiento de los demás en un entorno altamente competitivo (Adolphs, 2009); al final esto se traduce en un aprendizaje y optimización de los recursos socioemocionales para garantizar el éxito en futuras interacciones sociales.

Con el avance de las neurociencias desde principios del siglo XIX (Larraín-Valenzuela, 2022), se comenzaron a explicar ciertos fenómenos que vinculan la parte afectiva y social durante las relaciones personales (socialización), así como, la mentalización (cognición) y la empatía (Hari, Henriksson, Malinen, & Parkkonen, 2015) y algunas hormonas, como la vasopresina y la oxitocina (Dunbar & Shultz, 2007). Este campo de la ciencia aún no es comprendido en su totalidad porque los cambios y remodelaciones del cerebro (plasticidad neuronal) en respuesta a los aspectos sociales son complejos. Sin embargo, la neurociencia cognitiva tiene grandes avances para explicar el funcionamiento del cerebro humano, por lo tanto, el propósito de este artículo es analizar el estudio de las redes neuronales del cerebro social y su aplicación en la inteligencia artificial para la neurorrehabilitación de personas con discapacidad neurológica.

EVOLUCIÓN DEL CEREBRO Y HUMANIZACIÓN

La evolución del cerebro comenzó hace 2.8 millones de años con el *homo habilis*, hasta llegar al *homo sapiens*, hace 150,000 años. Los cambios han sido notorios, el cerebro en este proceso de evolución aumentó en tamaño y complejidad. Actualmente el cerebro de un adulto pesa 1500 gramos -lo que representa aproximadamente el 2% de la masa corporal- y contiene cerca de 20 billones de neuronas (Rosales-Reynoso, Juárez-Vázquez, Barros-Núñez, 2015). El aumento del tamaño y de sus interconexiones neuronales, así como,

de su reorganización (citoarquitectura) y la evolución de las sustancias que se producen en las neuronas (cambios de la expresión genética) produjeron un cerebro especializado en aprender para adaptarse a las exigencias del medio ambiente. La trascendencia de esta evolución radica en la aparición de un razonamiento complejo, a través de las llamadas funciones ejecutivas, es decir, habilidades cognitivas que permiten controlar los pensamientos, emociones y acciones con el fin de planificar, organizar, y resolver problemas (Zapata, 2009). Las demandas del medio ambiente y las necesidades de mantener a otros humanos cercanos también son responsables de la evolución del cerebro humano y del comportamiento social (Shultz & Dunbar, 2007). Entonces, la socialización es una característica definitoria de la experiencia humana, dependemos de otros humanos y de las redes sociales que construimos para asegurar la supervivencia (Jimenez & Meyer, 2024).

La socialización es tan importante en las funciones cerebrales por lo que ambientes enriquecidos o con muchas interacciones sociales, promueven el desarrollo y bienestar de los seres humanos; además de generar habilidades de adaptación. De acuerdo con Di Paolo y De Jaegher (2012) las múltiples interacciones en el ámbito social han impulsado la evolución del cerebro humano a través del monitoreo de los demás y la anticipación de las conductas, incluso en la ausencia del otro, lo cual crea patrones y sinergias de autoorganización en el SNC que ayudan a explicar cómo las personas se entienden entre sí, produciendo la inteligencia emocional. Durante la interacción, surgen diversas posibilidades de asunción de roles, lo que determina un espectro de participación; mientras que el maltrato, el trauma, el estigma social y los ambientes violentos disminuyen en las personas la capacidad de aprender y de socializar (Guez-Barber, Eisch, & Cristancho, 2023). Otros aspectos que impactan en el aprendizaje y la socialización, son las enfermedades que afectan la función del cerebro, como es el caso del espectro autista (Sato et al., 2023); la alexitimia, que es una dificultad para expresar e identificar las emociones socialmente apropiadas (Goerlich et al., 2017; Scheerer, Boucher, & Larocci, 2021); enfermedades cerebrovasculares, demencia, depresión, entre otras enfermedades (GBD 2019 Dementia Collaborators, 2021), que dejan en estado de vulnerabilidad a la persona para responder y adaptarse a su medio social.

EL CEREBRO HUMANO Y EL SURGIMIENTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Hoy en día, los conocimientos del cerebro y sus funciones racionales (neurociencia cognitiva) están siendo probados en la robótica social, cuyo objetivo es

construir máquinas con habilidades de “pensamiento” y “emociones” similar al humano. Los primeros estudios documentados en la robótica social son de McCulloch y Pitts (1943), quienes interpretaron la actividad de las neuronas del Sistema Nervioso Central (SNC) del ser humano a través de un sistema binario (1/2); posteriormente, Rosenblatt (1958) comenzó a realizar ecuaciones matemáticas para explicar la actividad de las neuronas y aplicarlas a la tecnología, además de crear el concepto de perceptrón, una red neuronal muy sencilla con una única neurona binaria.

Las aportaciones de los estudios anteriores contribuyeron al surgimiento de la inteligencia artificial, definida como la rama de la informática-computación que se ocupa de la simulación del comportamiento inteligente (Cabanelas, 2019). La inteligencia artificial intenta reproducir las funciones cognitivas humanas a través de cálculos y procesos con el fin de llevar a cabo tareas sin instrucciones explícitas, por medio del autoaprendizaje y, de este modo, reproducir la diversidad y flexibilidad del cerebro humano para resolver problemas y demandas sociales. Para esto se usan redes neuronales artificiales que emplean modelos como *Machine Learning* (algoritmos y modelos estadísticos que emplean los sistemas de computación) o *Deep Learning* (red neuronal artificial que aprende en un sentido muy real para reconocer patrones en las representaciones digitales de sonidos, imágenes, rostros y otros datos), entre otros modelos tecnológicos (Arias et al., 2019; Forero-Corba y Negre, 2024). De acuerdo con Castañeda, Roldan y Vega (2022), las redes neuronales artificiales se componen de capas de nodos (neurona artificial) que se conectan entre sí a través de procedimientos (algoritmos) matemáticos para el aprendizaje, es decir, los nodos se distribuyen en capas de neuronas asociativas interconectadas entre sí, que a su vez se conectan a una segunda capa de neuronas llamadas de respuesta. Estos sistemas aprenden de la experiencia guardando los datos en la configuración de los valores (pesos sinápticos) y proporcionan dos estados de activación: “0” (apagada) y “1” (encendida). Estos avances convierten a una máquina en una herramienta al servicio del ser humano, que permite clasificar y agrupar datos a gran velocidad, pero sobre todo aprender.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA NEURORREHABILITACIÓN Y HABILITACIÓN SOCIOEMOCIONAL

La neurorrehabilitación es un campo de salud especializado que ayuda a las personas con lesiones neurológicas, empleando diversas terapias para recuperar, minimizar y/o compensar las funciones

afectadas. La integración de la inteligencia artificial como coadyuvante en la neurorrehabilitación puede mejorar la evaluación, el diagnóstico y los planes de tratamiento personalizados e integrales, sin sustituir el trabajo de los profesionales de salud (Fiorente, Mojdehdehbaheer & Calabró, 2024).

El primer antecedente de la inteligencia artificial se encuentra documentado en 1960, con el desarrollo de un programa informático conocido como ELIZA, para reproducir las habilidades conversacionales de un psicoterapeuta. Sin embargo, es durante la pandemia del COVID-19 que surge un aumento en el empleo de robots, chatbots y aplicaciones con inteligencia artificial para atender la salud mental y rehabilitar a los pacientes (Pham, Nabizadeh, & Selek, 2022).

En el metaanálisis de Calderone et al., (2024) con 522 documentos científicos identificados en las bases de datos PubMed, Web of Science y Scopus, del 2014 a 2024, encontraron en ocho estudios experimentales y con aleatorización de la muestra que al usar inteligencia artificial en la neurorrehabilitación a través de robots, *deep learning* y asistencia con teléfonos inteligentes hubo una mejora en la neurorrehabilitación motora y cognitiva de personas con accidente cerebrovascular; otro hallazgo fue que la inteligencia artificial crea una nueva oportunidad para la atención personalizada, mejora las evaluaciones clínicas, la personalización de la terapia y la monitorización remota, proporcionando intervenciones más precisas, integrales y una mejor gestión del tiempo. Estos datos son ratificados por Juárez y Murie (2023), quienes señalan que la inteligencia artificial permite avances en neurorrehabilitación asistida por obtener una gran cantidad de datos biométricos de la función motora y cognitiva del paciente y facilitar la automatización en el manejo terapéutico.

Es importante señalar que la inteligencia artificial impacta en el ámbito de salud, genera nuevas oportunidades para intervenir en poblaciones con

discapacidad neurológica, pero para una mejor aplicación al ámbito de salud, se deben considerar los siguientes aspectos: una evaluación de riesgos del desarrollo tecnológico con inteligencia artificial, su uso, respetar y proteger la autonomía del paciente, transparencia de los procesos (algoritmos) y la integración de profesionales de la salud y expertos en la regulación de principios éticos en la inteligencia artificial (Fiske, Henningsen & Buyx, 2019).

CONCLUSIONES

Conocer los mecanismos del cerebro social que incluye la interacción de redes neuronales, la especialización de las estructuras del SNC, la interacción de hormonas y neurotransmisores, su plasticidad o flexibilidad, entre otros aspectos, fueron elementos claves en la comprensión de las redes neuronales artificiales y el aprendizaje para el desarrollo de la inteligencia artificial.

Hoy en día la inteligencia artificial está revolucionando la neurorrehabilitación y la habilitación socioemocional, ofreciendo tratamientos personalizados y basados en datos que mejoran la recuperación en enfermedades neurológicas. Los esfuerzos futuros deben centrarse en la validación a gran escala de estos estudios y la ampliación del acceso a la atención domiciliar avanzada. Además, el desarrollo de la inteligencia artificial en el área de la neurorrehabilitación debe partir de estudios multidisciplinarios y de regulaciones éticas que garanticen mejorar la calidad de vida de población con discapacidad, sin sustituir el trabajo de los profesionales de la salud.

AGRADECIMIENTO

Este artículo fue apoyado por la Convocatoria Fortalecimiento de la Investigación 2024 de la Universidad de Colima con registro: No. Of. 11.1.3/10100/299/2024.

Literatura citada



- Adolphs R. (2009). The social brain: neural basis of social knowledge. *The Annual Review of Psychology*; 60, 693-716. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163514>
- Arias, V., Salazar, J., Garicano, C., Contreras, J., Chacón, G. Chacín-González, M. Añez, R., Rojas, J., Bermúdez-Pirela, V. (2019). Una introducción a las aplicaciones de la inteligencia artificial en Medicina: Aspectos históricos. *Revista Latinoamericana de Hipertensión*; 14(5), 580-609. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170262877013>
- Cabanelas, J. (2019). Inteligencia artificial ¿Dr. Jekyll o Mr. Hyde? *Mercados y Negocios*; 40, 4-16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=571860888002>
- Calderone, A., Latella, D., Bonanno, M., Quartarone, A., Mojdehdehbaher, S., Celesti, A., & Calabrò, R. S. (2024). Towards Transforming Neurorehabilitation: The Impact of Artificial Intelligence on Diagnosis and Treatment of Neurological Disorders. *Biomedicine*; 12(10),2415. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39457727/>
- Castañeda, A., Roldan, P., Vega, F. (2022). Redes neuronales artificiales: una medición de aprendizajes de pronósticos como demanda potencial. *Universidad, Ciencia y Tecnología*; 27(118), 51-60. <https://doi.org/10.47460/uct.v27i118.686>
- Di Paolo, E., & De Jaegher, H. (2012). The interactive brain hypothesis. *Frontiers in Human Neuroscience*; 6(163), 1-16. 10.3389/fnhum.2012.00163
- Dunbar, R.I. (2009). The social brain hypothesis and its implications for social evolution. *Annals of Human Biology*; 36(5),562-72. 10.1080/03014460902960289
- Dunbar, R.I., & Shultz, S. (2007). Evolution in the social brain. *Science*; 7,317(5843),1344-7. 10.1126/science.1145463
- Dunbar, R.I. (1993) Coevolution of neocortical size, group size and language in humans. *Behavioral and Brain Sciences*; 11,681-735.
- Dunbar, R.I. (2012). The social brain meets neuroimaging. *Trends in Cognitive Sciences*; 16(2),101-2. 10.1016/j.tics.2011.11.013
- Fiorente, N., Mojdehdehbaher, S., & Calabrò, R. S. (2024). Artificial Intelligence and Neurorehabilitation: Fact vs. Fiction. *Innovation in Clinical Neuroscience*;1(21),1-3. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38495602/>
- Fiske, A., Henningsen, P., & Buyx, A. (2019). Your Robot Therapist Will See You Now: Ethical Implications of Embodied Artificial Intelligence in Psychiatry, Psychology, and Psychotherapy. *The Journal of Medical Internet Research*; 21(5), e13216. 10.2196/13216
- Forero-Corba, W., y Negre, F. (2024). Técnicas y aplicaciones del Machine Learning e Inteligencia Artificial en educación: una revisión sistemática. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*; 27(1), 1-34.
- GBD 2019 Dementia Collaborators (2021). The Burden of Dementia due to Down Syndrome, Parkinson's Disease, Stroke, and Traumatic Brain Injury: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Neuroepidemiology*; 55(4), 286-296. 10.1159/000515393
- Goerlich, K. S., Votinov, M., Lammertz, S. E., Winkler, L., Spreckelmeyer, K. N., Habel, U., Gründer, G., & Gossen, A. (2017). Effects of alexithymia and empathy on the neural processing of social and monetary rewards. *Brain Structure and Function*; 222(5), 2235-2250. 10.1016/j.tics.2011.11.013
- Guez-Barber, D., Eisch, A.J., & Cristancho, A.G. (2023). Developmental Brain Injury and Social Determinants of Health: Opportunities to Combine Preclinical Models for Mechanistic Insights into Recovery. *Developmental of neuroscience*; 45(5):255-267. 10.1159/000530745
- Hari, R., Henriksson, L., Malinen, S., & Parkkonen, L. (2015). Centrality of Social Interaction in Human Brain Function. *Neuron*; 7;88(1):181-93. 10.1016/j.neuron.2015.09.022
- Jimenez, C. A., & Meyer, M. L. (2024). The dorsomedial prefrontal cortex prioritizes social learning during rest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*; 19;121(12), e2309232121. 10.1073/pnas.2309232121
- Juárez, A., Murie-Fernández, M. (2023). Nuevas tecnologías e inteligencia artificial en neurorrehabilitación. *Kranion*;18, 65-71
- Larraín-Valenzuela, J., Herrera-Guzmán, Y., Mardones, F., Freire, Y., Kausel, L., Aboitiz, F. (2022). Aportes históricos de la neurociencia cognitiva y su emergencia en Chile. *Revista Médica de Chile*; 150,368-380. <https://www.scielo.cl/pdf/rmc/v150n3/0717-6163-rmc-150-03-0368.pdf>
- McCulloch, W. S., & Pitts W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133.
- Pham, K.T, Nabizadeh, A., & Selek, S. (2022). Artificial Intelligence and Chatbots in Psychiatry. *Psychiatric Quarterly*; 93(1), 249-253. 10.1007/s11126-022-09973-8
- Rosales-Reynoso, C. I., Juárez-Vázquez, P., & Barros-Núñez (2015). Evolución y genómica del cerebro humano. *Neurología*; 33(4).10.1016/j.nrl.2015.06.002
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386-408. 10.1037/h0042519.
- Sato, M., Nakai, N., Fujima, S., Choe, K.Y., & Takumi, T. (2023). Social circuits and their dysfunction in autism spectrum disorder. *Molecular Psychiatry*; 28(8), 3194-3206. 10.1038/s41380-023-02201-0
- Shultz, S., & Dunbar, R. I. (2007). The evolution of the social brain: anthropoid primates contrast with other vertebrates. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*; 274(1624), 2429-36. 10.1098/rspb.2007.0693
- Scheerer, N.E., Boucher, T.Q., Larocci, G. (2021). Alexithymia is related to poor social competence in autistic and nonautistic children. *Autism Research*;14(6), 1252-1259. 10.1002/aur.2485
- Zapata, L. E. (2009). Evolución, cerebro y cognición. *Psicología desde el Caribe*; 24, 106-119. <https://www.redalyc.org/pdf/213/21312270006.pdf>

REVOLUCIONANDO LA ENTOMOLOGÍA:

EL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA CRISPR EN INSECTOS

/// MARIANA LIZBETH JIMÉNEZ-MARTÍNEZ¹, ADRIANA E. FLORES-SUÁREZ², BEATRIZ LÓPEZ-MONROY², JESÚS A. DAVILA-BARBOZA², EDUARDO A. REBOLLAR-TÉLLEZ², ILDEFONSO FERNÁNDEZ-SALAS³, IRAM PABLO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. mariana.jimenez80@gmail.com, iramrodriguez@gmail.com

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Zoología de Invertebrados, Laboratorio de Entomología Médica. Av. Universidad, S/N CD. Universitaria, 66455 San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. adriana.floressr@uanl.edu.mx, beatriz.lopezmr@uanl.edu.mx, jdavilab@uanl.edu.mx, eduardo.rebollartl@uanl.edu.mx

³Laboratorio de Entomología Médica, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. ildefonso.fernandez@uanl.edu.mx

*Correspondencia: iramrodriguez@gmail.com

Palabras clave: CRISPR, Entomología, Edición genómica



Keywords: CRISPR, Entomology, Genomic editing

RESUMEN

El desarrollo del sistema CRISPR ha marcado un hito en la entomología, al proporcionar una herramienta poderosa para la edición genómica precisa. Esta tecnología ha revolucionado la investigación en insectos, permitiendo estudios detallados sobre funciones genéticas y facilitando el desarrollo de nuevas estrategias de control de plagas. CRISPR ha sido clave en la mutagénesis dirigida de varios insectos, revelando aspectos cruciales de su biología, como la pigmentación, el desarrollo y la metamorfosis. Además, ha abierto nuevas posibilidades para el manejo de plagas mediante la creación de insectos genéticamente modificados capaces de reducir poblaciones de plagas de manera efectiva. La expansión del uso de CRISPR a especies no tradicionales ha permitido avances significativos en su estudio y manejo, mostrando su potencial en áreas como la conservación y el control de artrópodos de importancia médica, veterinaria y agrícola.

ABSTRACT

the development of the CRISPR system has marked a milestone in entomology by providing a powerful tool for precise genomic editing. This technology has revolutionized insect research, enabled detailed studies of genetic functions and facilitating the development of new strategies for pest control. CRISPR has been key in targeted mutagenesis in several insect species, revealing crucial aspects of their biology, such as pigmentation, development, and metamorphosis. Additionally, it has opened new possibilities for pest management by creating genetically modified insects capable of effectively reducing pest populations. The expansion of CRISPR to non-traditional species has led to significant advances in their study and management, demonstrating its potential in areas such as conservation and the control of arthropods of medical, veterinary, and agricultural control.

INTRODUCCIÓN

Los avances recientes en el campo de la biotecnología han transformado profundamente diversas disciplinas científicas, incluida la entomología. Entre estos desarrollos, destaca el sistema CRISPR/Cas9, una herramienta de edición genómica que ha abierto nuevas fronteras en la investigación biológica (Sternberg y Doudna, 2015).

El sistema CRISPR, cuyo nombre proviene del inglés *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas), es una herramienta revolucionaria en biología molecular que permite modificar el ADN con gran precisión. Fue descubierto en bacterias y arqueas como parte de su sistema inmunológico, funcionando como una especie de “memoria biológica” contra virus. Cuando un virus invade nuevamente, la bacteria activa este mecanismo con la ayuda de la proteína Cas9, que actúa como una “tijera molecular” para cortar el ADN del invasor y desactivarlo.

Este proceso ha sido adaptado por los científicos para la edición genética en otros organismos. Para ello, se diseña un ARN guía que dirige a la enzima Cas9 hacia una secuencia específica del ADN objetivo, donde realiza el corte. Durante la reparación natural del ADN, los investigadores pueden aprovechar para insertar, eliminar o modificar genes con gran precisión, lo que ha revolucionado el estudio y manipulación de los genes en una amplia variedad de organismos, incluidos los insectos (Figura 1) (Jinek et al., 2012; Barrangou y Doudna, 2016).

La precisión y eficiencia del sistema CRISPR/Cas9 lo ha convertido en una herramienta invaluable en diversas áreas de la biología y la medicina, permitiendo desde la corrección de mutaciones genéticas hasta el estudio de funciones génicas específicas (Hsu et al., 2014).

La aplicación de la tecnología CRISPR/Cas9 en entomología tiene un amplio potencial, ya que permite a los investigadores manipular los genomas de los insectos con una precisión y eficiencia sin precedentes. Esta herramienta puede revelar funciones genéticas clave, corregir defectos genéticos y ofrecer soluciones innovadoras a varios de los desafíos que enfrenta el campo de la entomología.

APLICACIONES DEL SISTEMA CRISPR EN EL ESTUDIO DE INSECTOS

La capacidad de CRISPR/Cas9 para realizar mutagénesis dirigida ha revolucionado la investigación genética en insectos, permitiendo estudios detallados sobre la función de genes específicos. Este sistema ha sido ampliamente utilizado en estudios funcionales de genes en diversos insectos, proporcionando información valiosa sobre los roles de genes específicos y facilitando el desarrollo de nuevas estrategias de control.

ESTUDIOS FUNCIONALES DE GENES

Utilizando como modelo de estudio al gusano oriental de la hoja (*Spodoptera litura*), Zhu et al. (2017), aplicaron la edición genética mediante CRISPR/Cas9 para estudiar el gen *BLOS2*, relacionado con la coloración del tegumento. La mutagénesis de *BLOS2* resultó en la pérdida de las franjas amarillas y manchas blancas

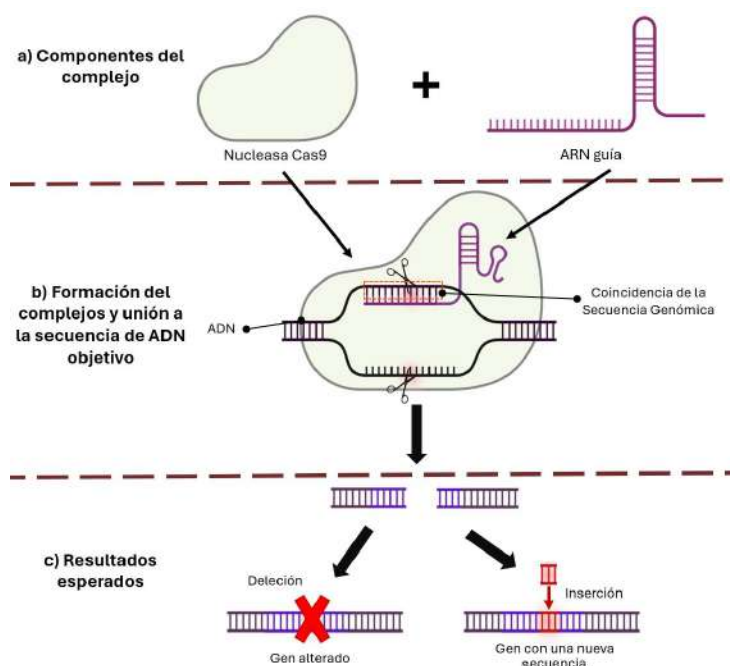


Figura 1. Mecanismo de edición genómica mediante CRISPR-Cas9. Ilustración del proceso de edición genética con CRISPR-Cas9. (a) Componentes del complejo: la nucleasa Cas9 y el ARN guía. (b) Formación del complejo y unión a la secuencia de ADN objetivo, donde Cas9 realiza un corte específico. (c) Resultados esperados: el ADN puede repararse mediante deleciones, inserciones o modificaciones, permitiendo la edición precisa de genes. Una herramienta fundamental en la investigación genética y la biotecnología moderna.

en las larvas, demostrando su papel crucial en la pigmentación. Este hallazgo subraya la importancia de *BLOS2* en la determinación de los patrones de color en esta especie de polilla.

Por otro lado, en el gusano de seda (*Bombyx mori*), se utilizó CRISPR/Cas9 para realizar un análisis funcional del gen *Wnt1*. La mutagénesis de *Wnt1* demostró su papel esencial en la segmentación y pigmentación durante la embriogénesis, lo que es vital para el desarrollo adecuado del organismo (Zhang *et al.*, 2015).

Asimismo, en el gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*), se aplicó la edición dirigida del gen *E93* utilizando CRISPR/Cas9, revelando que este gen afecta la expresión de otros genes cruciales para la metamorfosis. Este estudio mostró cómo *E93* regula la transición de pupa a la etapa adulta (Zhu, *et al.*, 2020).

CONTROL DE INSECTOS PLAGAS

La tecnología CRISPR ha abierto nuevas posibilidades en el manejo de plagas al permitir la creación de insectos genéticamente modificados que pueden controlar o reducir las poblaciones de plagas.

En el escarabajo de la papa, *Leptinotarsa decemlineata*, se llevó a cabo la mutagénesis dirigida del gen *vest* utilizando CRISPR/Cas9. Los resultados mostraron fenotipos claros de alas deformadas, proporcionando una metodología útil no solo para el estudio de la biología del escarabajo sino también para desarrollar estrategias innovadoras para el manejo de plagas en la agricultura (Gui *et al.*, 2020).

Otro ejemplo de aplicación de CRISPR en el control de plagas es el caso del gusano de la hoja del algodón (*Spodoptera littoralis*). En este insecto, el knockout del gen *Orco* mediante CRISPR/Cas9 resultó en una anosmia, es decir, la pérdida del sentido del olfato. Esta modificación afectó la detección de olores de plantas y feromonas sexuales, lo cual tiene un gran potencial para el desarrollo de nuevas estrategias de control de plagas al interferir con la capacidad de los insectos para localizar recursos y parejas (Koutroumpa *et al.*, 2016).

CONTROL EN INSECTOS VECTORES DE ENFERMEDADES

Dada la alta carga de enfermedades asociadas a vectores en diversas regiones del mundo, existe una necesidad urgente de avanzar en el uso de técnicas de edición genética, como CRISPR. Países como Arabia Saudita, Turquía, Corea, Filipinas, India,

Estados Unidos, Europa, China y Japón ya están utilizando estas técnicas para combatir de manera más efectiva las enfermedades transmitidas por vectores, particularmente en mosquitos como *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi* y *Anopheles gambiae* (Alphey, 2016; Paulraj *et al.*, 2016; Wickramasinghe *et al.*, 2021).

En el mosquito *An. gambiae*, la implementación de un sistema de impulso genético CRISPR/Cas9 ha permitido la edición de genes que inducen esterilidad en las hembras. Esta intervención ha demostrado ser eficaz en reducir las poblaciones de mosquitos transmisores de malaria, lo cual es crucial para controlar la propagación de esta enfermedad mortal (Hammond, *et al.*, 2015; Dong, *et al.*, 2018).

Además, Dong *et al.* (2018) utilizaron una versión modificada del sistema CRISPR/Cas9 para generar la mutación de *FREP1* en mosquitos *An. gambiae*. *FREP1* desempeña un papel importante en la invasión de oocinetos de *Plasmodium* sp. a las células epiteliales del intestino medio. Los mosquitos mutantes transgénicos con la mutación de *FREP1* mostraron una reducción significativa en la tasa de infectividad por *Plasmodium berghei* en roedores y *P. falciparum* en humanos. Sin embargo, este éxito en el control de la infección, conllevó un considerable costo de adaptación, incluyendo una reducción en las tasas de alimentación con sangre, fecundidad y eclosión de huevos. También se observó una menor supervivencia tras la alimentación con sangre y un retraso en el desarrollo larvario.

De manera similar, estudios dirigidos a otros mosquitos vectores como *Ae. aegypti* han sido pioneros en demostrar el potencial de la edición genética mediada por CRISPR/Cas9. Basu *et al.* (2015) utilizaron el enfoque multiplexado con CRISPR/Cas9, apuntando a seis genes diferentes (*kmo*, *loqs*, *r2d2*, *ku70*, *lig4* y *nix*) en *Ae. aegypti*. Para ello, diseñaron 40 ARN guía pequeños (sgRNA, por sus siglas en inglés: *single guide RNA*) adicionales y evaluaron su capacidad de edición en ensayos con embriones, logrando generar diversas mutaciones somáticas y de línea germinal en el mosquito.

En otro estudio, Dong *et al.* (2015) utilizaron CRISPR/Cas9 para modificar un gen en *Ae. aegypti* y lograr la expresión de la proteína fluorescente cian mejorada (ECFP, *Enhanced Cyan Fluorescent Protein*), permitiendo el uso de dos marcadores fluorescentes en los ojos de los mosquitos. Junto con Cas9, se utilizaron dos sgRNA dirigidos a diferentes regiones del gen ECFP, con ARNm transcritos in vitro para la transformación de la línea germinal. Como resultado, se obtuvieron cuatro grupos de mosquitos cuyos descendientes heredaron la modificación genética, con una eficiencia de knockout del 5.5%.

EDICIÓN GÉNICA EN MODELOS NO TRADICIONALES

El uso de CRISPR en insectos que no suelen ser empleados como modelos de estudio ha ampliado significativamente la investigación genética en una gran diversidad de especies. Esta tecnología no solo ha mejorado nuestro entendimiento de organismos ampliamente estudiados, sino que también ha permitido editar el ADN de especies menos exploradas. Esto ha abierto nuevas oportunidades en el control de plagas y en la comprensión de funciones genéticas específicas en diversos insectos.

Por ejemplo, en la chinche roja (*Pyrrhocoris apterus*), se estableció un protocolo eficiente para la edición genética con CRISPR/Cas9, optimizando la técnica de microinyección de embriones y el manejo de huevos, lo que incrementó considerablemente la eficiencia en la producción de mutantes. Este avance facilita el estudio funcional de genes en esta especie, mejorando nuestra comprensión de su biología y sus posibles aplicaciones en el manejo de plagas (Kotwica-Rolinska et al., 2019).

En la chinche marrón (*Euschistus heros*), se utilizó una combinación de CRISPR/Cas9 y ARN de interferencia (RNAi) para estudiar genes implicados en el desarrollo de las alas y la pigmentación de la cutícula. Este enfoque permitió desarrollar un método eficiente para analizar la función de genes en esta especie, proporcionando una herramienta útil para futuras investigaciones (Cagliari et al., 2020).

Asimismo, en la langosta migratoria (*Locusta migratoria manilensis*), se implementó la tecnología CRISPR-Cas13a junto con tiras de flujo lateral para la detección rápida

de ADN. Este método mostró alta especificidad y sensibilidad en la identificación de esta plaga, ofreciendo una herramienta eficaz para la vigilancia y el control de plagas agrícolas (Zhang et al., 2023).

CONCLUSIÓN

La integración de la tecnología CRISPR en el campo de la entomología ha transformado el panorama, abriendo nuevas vías para la exploración científica, el manejo de plagas y la conservación de la biodiversidad de artrópodos. La capacidad de esta tecnología para editar genes con precisión ha permitido avances significativos en el estudio de los insectos, desde explorar la comprensión de los roles de genes específicos hasta el desarrollo de métodos innovadores para el manejo y detección de plagas. Su implementación en el control de plagas representa una alternativa prometedora a los métodos convencionales, ofreciendo soluciones más específicas y efectivas,

Además, la expansión del uso de CRISPR a insectos no modelos ha ampliado las posibilidades de investigación en mayor número de especies, enriqueciendo nuestro conocimiento sobre la biodiversidad y proporcionando nuevas herramientas para el estudio de los ecosistemas.

A medida que continuamos explotando y refinando las aplicaciones de esta tecnología, es esencial considerar las implicaciones éticas y ecológicas de la edición genética en poblaciones naturales, garantizando un uso responsable y sostenible de CRISPR en el futuro.

Literatura citada



- Alphey L. 2016. Can CRISPR/Cas9 gene drives curb malaria? *Nature Biotechnology*, 34: 149-150. <https://doi.org/10.1038/nbt.3473>
- Barrangou, R. y Doudna, J. A. 2016. Applications of CRISPR technologies in research and beyond. *Nature Biotechnology*, 34(9): 933-941. <https://doi.org/10.1038/nbt.3659>
- Basu, S., Aryan, A., Overcash, J. M., Samuel, G. H., Anderson, M. A. E., Dahlem, T. J., Myles, K. M. y Adelman, Z. N. 2015. Silencing of end-joining repair for efficient site-specific gene insertion after TALEN/CRISPR mutagenesis in *Aedes aegypti*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112: 4038-4043. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502370112>
- Cagliari, D., Smagghe, G., Zotti, M., y Taning, C. 2020. RNAi and CRISPR/Cas9 as Functional Genomics Tools in the Neotropical Stink Bug, *Euschistus heros*. *Insects*, <https://doi.org/10.3390/insects11120838>
- Dong, S., Lin, J., Held, N. L., Clem, R. J., Passarelli, A. L. y Franz, A. W. 2015. Heritable CRISPR/Cas9-mediated genome editing in the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti*. *PLOS ONE*, 10: 0122353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122353>
- Dong, Y., Simoes, M. L., Marois, E. y Dimopoulos, G. 2018. CRISPR/Cas9-mediated gene knockout of *Anopheles gambiae* FREP1 suppresses malaria parasite infection. *PLOS Pathogens*, 14(3), e1006898. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006898>
- Gui, S., Taning, C., Wei, D. y Smagghe, G. 2020. First report on CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Journal of Insect Physiology*, 104013. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2020.104013>
- Hammond, A., Galizi, R., Kyrou, K., Simoni, A., Siniscalchi, C., Katsanos, D., Gribble, M., Baker, D., Marois, E., Russell, S., Burt, A., Windbichler, N., Crisanti, A. y Nolan, T. 2015. A CRISPR/Cas9 Gene Drive System Targeting Female Reproduction in the Malaria Mosquito vector *Anopheles gambiae*. *Nature Biotechnology*, 34, 78-83. <https://doi.org/10.1038/nbt.3439>
- Hsu, P. D., Lander, E. S. y Zhang, F. 2014. Development and applications of CRISPR/Cas9 for genome engineering. *Cell*, 157(6), 1262-1278. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.05.010>
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A. y Charpentier, E. 2012. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), 816-821. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>
- Kotwica-Rolinska, J., Chodáková, L., Chvalová, D., Křištofová, L., Fenclova, I., Provazník, J., Bertolutti, M., Wu, B. y Doležel, D. 2019. CRISPR/Cas9 Genome Editing Introduction and Optimization in the Non-model Insect *Pyrrhocoris apterus*. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00891>
- Koutroumpa, F. A., Monsempes, C., François, M. C., de Cian, A., Royer, C., Concordet, J. P. y Jacquín-Joly, E. 2016. Heritable genome editing with CRISPR/Cas9 induces anosmia in a crop pest moth. *Scientific Reports*, 6(1), 29620. <https://doi.org/10.1038/srep29620>
- Paulraj, M. G., Ignacimuthu, S. y Reagan, A. D. 2016. Gene silencing and gene drive in dengue vector control: A review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 7, 1-8.
- Sternberg, S. H. y Doudna, J. A. 2015. Expanding the biologist's toolkit with CRISPR/Cas9. *Molecular Cell*, 58(4), 568-574. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2015.02.032>
- Wickramasinghe, P. D., Silva, G. N., Silva Gunawardene, Y. I. y Dassanayake, R. S. 2021. Advances in *Aedes* mosquito vector control strategies using CRISPR/Cas9. *Genetically Modified and Other Innovative Vector Control Technologies*. Singapore: Springer; pp. 67-87. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2964-8_4
- Zhang, L., Yang, L., Li, H., Yu, Y. y Zhai, J. 2023. Rapid detection of insect pest with CRISPR-Cas13a-Based Lateral Flow Strip: Using *Locusta migratoria manilensis*. *Journal of Applied Entomology*, 147(6), 416-422. <https://doi.org/10.1111/jen.13121>
- Zhang, Z., Aslam, A., Liu, X., Li, M., Huang, Y. y Tan, A. 2015. Functional analysis of *Bombyx* Wnt1 during embryogenesis using the CRISPR/Cas9 system. *Journal of Insect Physiology*, 79, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2015.06.004>
- Zhu, G., Chereddy, S., Howell, J. y Palli, S. 2020. Genome editing in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: Multiple sgRNA/Cas9 method for identification of knockouts in one generation. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2020.103373>
- Zhu, G., Peng, Y., Zheng, M., Zhang, X., Sun, J., Huang, Y., y Dong, S. 2017. CRISPR/Cas9 mediated BLOS2 knockout resulting in disappearance of yellow strips and white spots on the larval integument in *Spodoptera litura*. *Journal of Insect Physiology*, 103, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.09.008>





MIGRACIÓN TERRESTRE DE SUDAMÉRICA A NORTEAMÉRICA: ANÁLISIS DE LA POSIBLE DISPERSIÓN DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS EN MÉXICO

/ CARMEN AMELIA MOLINA TORRES*, LUCIO VERA CABRERA,
JORGE OCAMPO CANDIANI Y JOSÉ ALEJANDRO RUIZ GARZA



Palabras clave: Migración, leishmaniasis, enfermedad de Chagas, paludismo, fiebre amarilla

Keywords: Migration, leishmaniasis, Chagas disease, malaria, yellow fever

RESUMEN

La dispersión de enfermedades infecciosas generada por la experiencia migratoria y las movilidades humanas, sobre todo en personas que viajan exclusivamente por vía terrestre, se considera de bajo riesgo. Sin embargo, dadas las condiciones de vulnerabilidad por la pobreza, poco acceso a los servicios de salud y el paso por lugares endémicos de algunos agentes infecciosos, existen algunos patógenos que pueden adquirirse en el lugar de origen, o bien durante el trayecto de viaje de las personas migrantes y que pueden ser llevados a otras poblaciones. Aquí, éstos patógenos pueden encontrar el medio y los vectores para ser introducidos en la población y dar lugar a brotes, o a que las enfermedades se vuelvan autóctonas. En este escrito damos algunos ejemplos de enfermedades infecciosas que muestran indicios de poder resurgir en áreas geográficas de México donde la transmisión puede ocurrir y convertirse un problema de salud pública.

ABSTRACT

The spread of infectious diseases generated by the migration experience and human mobility, especially among people who travel exclusively by land, is considered low risk. However, given the conditions of vulnerability due to poverty, limited access to health services, and passage through endemic areas for certain infectious agents, some pathogens can be acquired at the place of origin or during the migrants' journey and can be carried to other populations. Here, these pathogens can find the means and vectors to be introduced into the population and lead to outbreaks, or for the diseases to become autochthonous. In this article, we provide some examples of infectious diseases that show signs of resurgence in geographic areas of Mexico where transmission may occur and become a public health problem.

“LA SEQUÍA, LA PRECARIEDAD Y EL DESPLAZAMIENTO DE POBLACIONES HUMANAS Y ANIMALES SON TERRENO FÉRTIL PARA LAS EPIDEMIAS. PARA EVITARLOS, LAS PALABRAS CLAVE SON PREVENCIÓN Y ANTICIPACIÓN”

ARNAUD FONTANET

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE EPIDEMIOLOGÍA DE ENFERMEDADES EMERGENTES DEL INSTITUTO PASTEUR

La dispersión de las enfermedades infecciosas ha existido desde tiempos memorables, incluso, existen registros de ejemplos que se han recabado de páginas bíblicas (Barnett, 2008). Durante los 100 años después de la llegada de Colón al Nuevo Mundo fallecieron más indígenas de los que nacieron. Los estudios actuales parecen señalar que no fueron tanto las armas las que marcaron la diferencia, sino las enfermedades infecciosas traídas por los conquistadores españoles. La viruela, el sarampión, la peste bubónica, la difteria, el tifus, la escarlatina, la varicela, la fiebre amarilla, todas ellas eran enfermedades con las que los indígenas nunca habían tenido contacto y que, por lo tanto, no habían tenido posibilidad de desarrollar inmunidad contra ellas (Cervera, 2015).

La aparición de nuevas enfermedades que se difunden con rapidez se ve favorecida actualmente por fenómenos de la globalización como el comercio internacional, las migraciones y el turismo (Barnett, 2008). El mejor ejemplo lo tenemos con la reciente pandemia de COVID-19, producida por el coronavirus SARS-CoV-2, que ha causado 6.9 millones de muertes desde su aparición en diciembre del 2019 (WHO, 2023). Otras enfermedades que se difundieron con rapidez y afectaron a nuestro país en tiempos recientes son: el VIH/SIDA, dengue, zika, chikungunya y la viruela símica (Clinton, 2003; López-Vélez, 2003).

El riesgo de transmisión de algunas enfermedades infecciosas por parte de la población migrante se considera sustantivamente bajo (Cabieses, 2019). La Organización Mundial de la Salud considera que no se debe estigmatizar a esta población que además enfrenta una situación de vulnerabilidad en el país de destino.

La migración es un fenómeno complejo y multifacético influenciado por diferentes factores, incluidos ámbitos políticos, sociales, culturales y económicos. Durante su trayecto, las personas migrantes suelen enfrentarse a situaciones de alta vulnerabilidad, siendo algunas de las más importantes las limitaciones económicas, la exposición a situaciones de abuso y violencia -particularmente para

mujeres y niñas-, el limitado acceso a albergue y comida, a infraestructuras de agua y saneamiento y a los servicios de salud, que a la vez aumenta su riesgo de enfermedades e infecciones. A ello se suman las barreras sociales que enfrentan en las comunidades de acogida, como las diferencias lingüísticas y culturales, la xenofobia y la discriminación (OPS/OMS, 2024).

La dinámica de la migración en las Américas, especialmente hacia Norteamérica, se incrementó considerablemente en el 2023. La Organización Internacional para las Migraciones (OIM) informó que la migración irregular en México aumentó 62 % en los primeros ocho meses de 2023 comparado con el mismo periodo de 2022 (OPS/OMS, 2024).

Aunque la movilidad humana desde países de Centroamérica y el Caribe, especialmente de Haití, ha incrementado -a menudo provocada por el aumento de la violencia y la inseguridad, combinadas por los efectos de fenómenos adversos como sequías y huracanes, así como por la falta de oportunidades económicas-, el aumento de personas en movimiento en las Américas en 2023 sigue estando vinculado principalmente a la migración procedente de Venezuela y Ecuador. México es considerado un corredor migratorio importante en el mundo, ya que sirve como país de origen, lugar de tránsito y destino para muchos inmigrantes que esperan ingresar a los Estados Unidos de América (EE. UU.) (OPS/OMS, 2024). En la población que migra de México a los EE. UU. las enfermedades con mayor prevalencia en las comunidades rurales de origen de los migrantes incluyen principalmente la tuberculosis, las infecciones de transmisión sexual (ITS) y el VIH/SIDA (de Snyder, 2007).

El mejor ejemplo de éxito de un patógeno dispersado por la migración humana corresponde a *Mycobacterium tuberculosis*, agente causal de la Tuberculosis. Estudios recientes han demostrado, por medio del estudio de los linajes, que la enfermedad co-migró con la población humana moderna desde el cuerno de África hace unos 40,000 años (Gutiérrez, 2005; Mellars, 2006). Los linajes son grupos de cepas de *M. tuberculosis* que comparten características genéticas, biológicas y epidemiológicas similares, lo que permite entender su origen, evolución

y dispersión geográfica. De 7 linajes de *M. tuberculosis* reconocidos, el linaje 4 es el más ampliamente distribuido, afectando a los humanos en todo el mundo. Este linaje fue traído por los europeos durante la colonización de América y es el que mejor se ha adaptado a la población en nuestro continente (Brynildsrud, 2018; Molina-Torres, 2022). Todos los demás linajes de esta bacteria se han expandido globalmente en los últimos 180 años fruto de la explosión demográfica moderna y los movimientos intercontinentales. Lo mismo se cree que sucedió con la lepra y la bacteria causante de la gastritis, *Helicobacter pylori* (Wirth, 2008). En EE. UU., los inmigrantes representan el 75.8 % de todos los casos de tuberculosis y los nacionales mexicanos representan casi el 20 % en ambos casos (CDC, 2025; Tsang, 2017). De acuerdo con la información anterior, los migrantes mexicanos podrían considerarse transmisores potenciales de la infección tuberculosa, pero esto no debería resultar en su estigmatización, sino en la comprensión de la situación de vulnerabilidad en la que se encuentran, misma que promueve la transmisión de infecciones (de Synder, 2007; Medina-Macías, 2020).

En este escrito nos vamos a centrar en hablar de algunas enfermedades infecciosas que se pueden propagar por el fenómeno de migración de personas que viajan principalmente por vía terrestre y representan un reto para el personal de salud en México. Dichas enfermedades pueden formar focos geográficos emergentes de infecciones que no existían o que se creían controladas

LEISHMANIASIS

La migración de población latinoamericana a EE. UU. en busca de una mejor calidad de vida, lo hace recorriendo grandes distancias para poder llegar a la frontera del país. Los individuos recorren, generalmente a pie, toda la región de Darién conformada por zonas tropicales que caracterizan a América Central y América del sur; de mismo modo, su recorrido consta de distintos países que presentan variaciones en el ecosistema, servicios básicos, sistema de salud, entre otros factores de importancia. De acuerdo con cifras del Servicio Nacional de Fronteras más de 281.000 migrantes cruzaron el Darién en 2024, de los cuales 196.813 son venezolanos, seguidos por los colombianos con 16.000, los ecuatorianos (15.000), chinos (12.000) y haitianos (11.000) (Fig 1). En octubre, se registraron 21.542 migrantes en las estaciones de recepción de la provincia de Darién (Guevara, 2023).

En Centroamérica, el flujo de migrantes en tránsito por esa subregión se ha multiplicado casi por tres entre 2022 y 2023. Este trayecto constituye un riesgo para la adquisición de la leishmaniosis, infección cutánea producida por un parásito y transmitida por



Figura 1. Migrantes al término de su paso a través de la Selva del Darién; las canoas les llevan a centros de recepción de Panamá. Fotografía de Idiam Osorio, tomado de Guevara, 2023.

un mosquito del género *Lutzomia* (Guevara, 2023). En un estudio realizado en el Centro para Enfermedades Tropicales en Montreal J.D. MacLean realizado del 2008 al 2019 se encontraron 33 casos de leishmaniasis cutánea en viajeros y migrantes provenientes de América del Sur. Cabe resaltar que esta enfermedad no existe en Canadá (Lemieux, 2022).

En México, la incidencia de la enfermedad se presenta en las zonas sur, sureste y oriente del país, pero en la mayoría de los estados del norte esta enfermedad no existe. En 2023 la revista *The Lancet* publicó el caso de una paciente de 7 años proveniente de Venezuela, que tras largas semanas de viaje y haber sido diagnosticada previamente en Panamá llegó a Ciudad Juárez, Chihuahua, con una leishmaniasis cutánea compleja. La paciente tuvo que ser hospitalizada para su tratamiento en un Hospital infantil (Gómez-Ponce, 2023). En los dos últimos años el Servicio de Dermatología del Hospital Universitario José E. González en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, ha revisado 3 casos de leishmaniasis cutánea en migrantes de Haití que hicieron el recorrido a través del Darién. Dos de ellos fueron confirmados por PCR y cultivo del parásito y otro solamente por datos clínicos. A estos pacientes no se les pudo dar seguimiento porque siguieron su camino hacia la frontera (J. Ocampo-Candiani, 2025, com. pers.). De uno de estos pacientes se desprendió una infección accidental: el caso se trata de una residente de dermatología de 29 años que se punccionó accidentalmente con una aguja utilizada en uno de los pacientes provenientes de Haití con leishmaniasis. Dos meses después de la exposición, la residente presentó una lesión en un brazo que empeoró hasta ulcerarse (Fig 2, a y b). La biopsia de la úlcera evidenció la presencia de amastigotes sugestivos de *Leishmania spp* (Fig 2, c). Ella inició el tratamiento adecuado y logró la remisión del cuadro (Perales-González, 2023).

La presencia, cada vez mas común, de pacientes con leishmaniosis en las zonas del norte del país representa

el riesgo de la introducción de la enfermedad dado que en algunos estados como Nuevo León y Tamaulipas existe un vector con posibilidad de transmitir la enfermedad: *Lutzomia anthopora* (González, 2011).

ENFERMEDAD DE CHAGAS

La enfermedad de Chagas es una infección parasitaria causada por *Trypanosoma cruzi*, transmitida principalmente por un insecto hematófago del género *Triatoma*, también conocido como “chinche besucona”. La infección ocasiona miocardiopatías y megaórganos en el tracto digestivo. Se presenta en población vulnerable como la que habita en zonas rurales y vive en condiciones de pobreza extrema y poca higiene, pobre acceso a servicios básicos, sobre todo a agua y drenaje. La presencia del vector se ha relacionado con viviendas hechas de adobe, techo de baldosas y piso de lodo (Conners, 2017).

México es uno de los países que se consideran endémicos de la enfermedad de Chagas con una prevalencia estimada alrededor del 1 %, pero en algunos estados, como Chiapas, su prevalencia incrementa hasta el 13 %. La población que radica en estas zonas, sobre todo en la zona fronteriza de México y Guatemala, presenta un riesgo aumentado en la transmisión del parásito por el poco acceso que tienen a la promoción de la salud, sobre todo para la población migratoria por el estigma o discriminación que ellos presentan por la variabilidad de su estado legal, presentando poca atención médica, disminuyendo la detección del

parásito. En un estudio publicado en el año 2017, se analizaron sueros de 389 pacientes de la zona fronteriza de México-Guatemala con factores de riesgo, gran parte de ellos provenía de Guatemala (41 %). En el análisis de las muestras, cuyo criterio para considerarse *T. cruzi* positivo eran dos pruebas ELISA reactivas, en 12 de los pacientes se detectó el parásito (Conners, 2017).

La enfermedad es endémica solamente en algunos estados del centro-sur de México, pero se han detectado numerosos casos en todo el país gracias al tamizaje que se aplica en los bancos de sangre. Un reciente estudio sistemático de encuestas epidemiológicas a lo largo de 14 años estimó que la seroprevalencia de la infección por *Trypanosoma cruzi* era de 3.38 % [95 %CI 2.59–4.16], sugiriendo que hay 4.06 millones de casos en México (Arnal, 2019). La mayoría de los pacientes detectados en los bancos de sangre son migrantes de áreas rurales de los estados endémicos y de Centroamérica que llegan a ciudades industrializadas como Ciudad de México o Monterrey, por mejores ofertas de empleo.

La presencia de personas infectadas con el parásito *Trypanosoma cruzi* en áreas no endémicas representa un riesgo de que la enfermedad se vuelva autóctona ya que la presencia del vector está extendida en gran parte del país. Estudios recientes sugieren que la mayor exposición de poblaciones humanas a triatóminos infectados ocurre en Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Oaxaca y Chiapas, y es posible que en otros estados también exista el riesgo de completar el ciclo vital del parásito por la presencia del vector transmisor de la enfermedad (Ramsey, 2015).

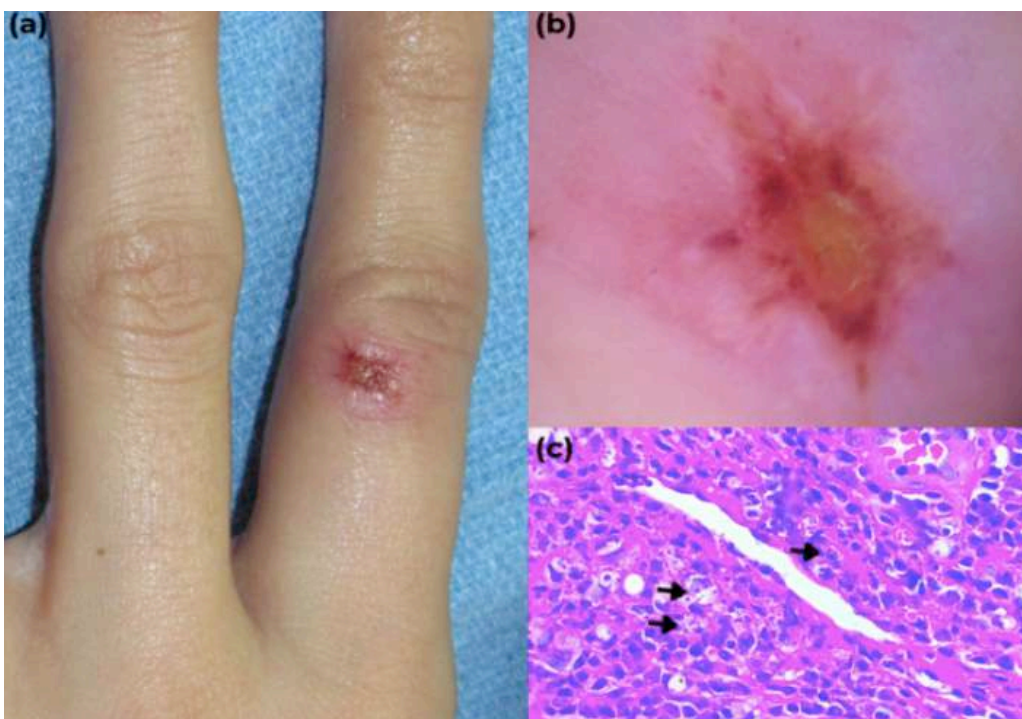


Figura 2. a y b) Leishmaniasis cutánea en una residente de Dermatología del Hospital Universitario José E. González, Monterrey N.L. c) Amastigotes en macrófagos, teñido con Giemsa. Tomado de Perales-González et al, 2023.

FIEBRE AMARILLA

La fiebre amarilla es una infección viral hemorrágica que ocurre en humanos y en primates. Es transmitida por mosquitos del género *Haemagogus* en su ciclo selvático, mientras que en el ciclo urbano es transmitido por *Aedes aegypti*. En la actualidad, México no se considera una zona endémica. La Campaña de Erradicación de la Fiebre Amarilla logró contener y eliminar la circulación del virus registrándose el último caso el 7 de febrero de 1923 en Pánuco, Veracruz (Torres, 1995).

En 2023, cuatro países de la Región de las Américas notificaron 41 casos confirmados de fiebre amarilla, incluyendo 23 defunciones: Bolivia (cinco casos, incluyendo dos defunciones), Brasil (seis casos, incluyendo cuatro defunciones), Colombia (dos casos incluyendo una defunción) y Perú (28 casos, incluyendo 16 defunciones). Hasta el 19 de marzo de 2024, en la Región de las Américas se han notificado siete casos confirmados de fiebre amarilla, incluyendo cuatro casos fatales. Los casos se han registrado en tres países de la Región: Colombia (tres casos fatales) Guyana (dos casos) y Perú (dos casos, incluyendo una defunción) (OPS, 2024).

Las personas provenientes de áreas con transmisión o que visitan éstas y carecen de vacuna contra la Fiebre Amarilla, conjuntamente con la existencia del vector en casi todo México, constituye un riesgo de re-introducción y dispersión del virus, por lo que es preponderante fortalecer las acciones de vigilancia epidemiológica con el propósito de identificar de manera inmediata la ocurrencia de casos sospechosos e implementar las acciones de prevención y control que eviten la circulación del virus (Valente-Acosta, 2017).

MALARIA

El paludismo o malaria es una enfermedad febril causada por el parásito *Plasmodium* y transmitida por la picadura de mosquitos infectados del género *Anopheles*. La enfermedad grave afecta principalmente a niños en el continente africano y la especie de parásito que causa la mayor mortalidad por esta enfermedad es *Plasmodium falciparum*. De acuerdo con la OMS, en 2023 se registraron 482 mil casos con 343 muertes en la región de las Américas, siendo *Plasmodium vivax* el principal parásito responsable junto con *Plasmodium falciparum* (World malaria report, 2023).

El paludismo en México se encuentra en proceso de eliminación, la reducción de más del 90 % en la transmisión del paludismo durante los últimos 18 años, ha colocado al país en fase de pre-eliminación. En abril de 2021 el país se incorpora a la iniciativa E25 de la

OPS/OMS, de países comprometidos a interrumpir su transmisión autóctona para el 2025.

Durante el 2023, se registraron un total de 44 casos autóctonos confirmados, lo que representa una variación de 73.0 % menos casos y del 55.0 % menos localidades positivas, con respecto al 2022, acumulando ya 28 estados sin registro de casos autóctonos. Cabe destacar, que hace varios años no se presentan casos de la enfermedad por *Plasmodium falciparum* en el país (Secretaría de Salud, 2024). Pero en 2023 se confirmaron un total de 303 casos importados, lo que representa un 320 % de incremento respecto a los casos registrados durante 2022 y del 1,200 % si se compara con los casos de 2019. Durante el primer trimestre de 2024, se han registrado 193 casos importados en 16 estados del país, lo que representa un aumento del 219 % con respecto a los casos registrados durante el mismo periodo de 2023 (Secretaría de Salud, 2024). En el estado de Veracruz se han diagnosticado más de 38 casos de malaria todos importados, principalmente en la zona sur y en las vías de rutas migratorias (Ojeda, 2024).

Este aumento en los casos importados en la población en situación de movilidad que ingresa a nuestro país, y que son registrados en estados que han interrumpido la transmisión local, supone un alto riesgo de restablecimiento de la transmisión ya que el vector que facilita la infección se encuentra en todo el país.

CONCLUSIÓN

La migración humana es inevitable debido a que, desde que se lleva registro de actividad humana se ha visto este fenómeno, siendo casi parte de la naturaleza del ser vivo, pero es importante señalar los problemas relacionados a este evento para aumentar el interés sobre la situación, y así, lograr mayor concientización sobre las infecciones emergentes.

Uno de los primeros puntos a destacar es que los sistemas de salud de los países interesados deben abordar estrategias muy puntuales para la promoción y protección de la salud de los migrantes a lo largo de su proceso migratorio. Esto repercutirá no solo en el derecho universal a la salud que tienen los seres humanos, sino también en la salud de las poblaciones de paso y acogida de la población migrante.

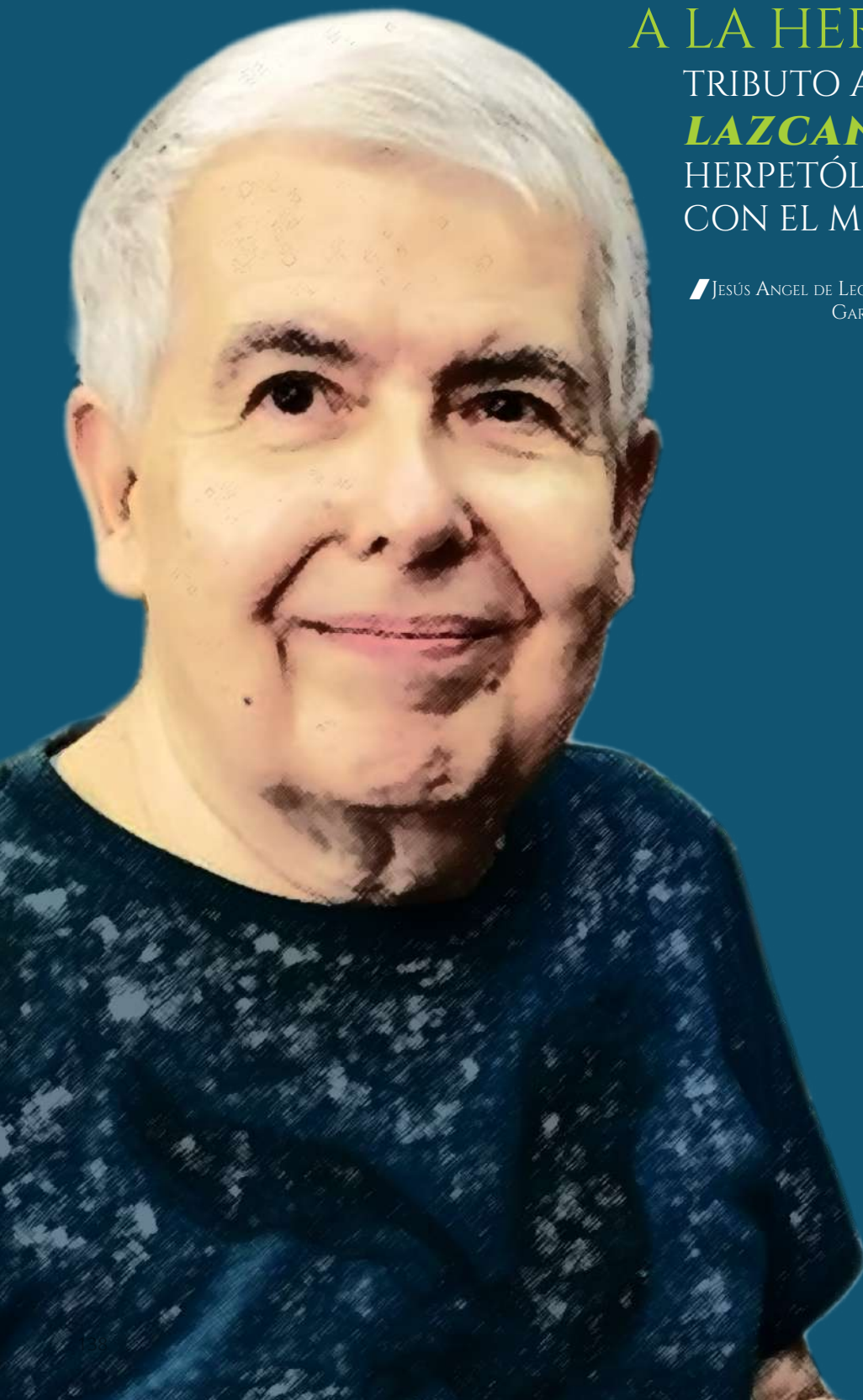
No solo el sector salud debe centrarse o conocer sobre el tema, sino también la población general ya que existen diversas formas de prevención al momento de viajar a zonas que son endémicas de ciertos microorganismos, donde algunos ya cuentan con vacuna que pueden prevenir, o como mínimo, disminuir la morbilidad al generar inmunidad; como lo es el caso de la BCG, fiebre amarilla, entre otros.

Literatura citada



- Arnal, A., E. Waleckx, O. Rico-Chávez, C. Herrera, E. Dumonteil. 2019. Estimating the current burden of Chagas disease in Mexico: A systematic review and meta-analysis of epidemiological surveys from 2006 to 2017. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 13(4): e0006859. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006859>
- Barnett, E. D., P. F. Walker. 2008. Role of immigrants and migrants in emerging infectious diseases. *Medical Clinics of North America*. 92(6), 1447-1458. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2008.07.001>
- Brynildsrud, O. B., C. S. Pepperell, P. Suffys, L. Grandjean, J. Monteserin, N. Debech, V. Eldholm. 2018. Global expansion of *Mycobacterium tuberculosis* lineage 4 shaped by colonial migration and local adaptation. *Science advances*. 4(10): eaat5869. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat5869>
- Cabieses, B., M. Libuy, J. Dabanch (Ed.). 2019. Dabanch. *Hacia una comprensión integral de la relación entre migración internacional y enfermedades infecciosas*. Colegio Médico de Chile, 125pp.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2025. Reported Tuberculosis in the United States, 2023. En <https://www.cdc.gov/tb-surveillance-report-2023/commentary/index.html> (consultado el 03/04/2025).
- Cervera, C. 2020. El mito del «Genocidio español»: las enfermedades acabaron con el 95 % de la población. En: https://www.abc.es/historia/abci-verdad-sobre-genocidio-espanol-cuando-virus-mataron-95-por-ciento-poblacion-america-202003182340_noticia.html (consultado el 03/04/2025).
- Clinton-White, A., R.L. Atmar. 2002. Infections in Hispanic Immigrants. *Clinical Infectious Diseases*. 34(12):1627-1632. <https://doi.org/10.1086/340620>
- Connors, E. E., T.L. Ordoñez, C. Cordon-Rosales, C.F. Casanueva, S.M. Miranda, K.C. Brouwer. 2017. Chagas Disease Infection among Migrants at the Mexico/Guatemala Border. *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 97(4):1134-1140. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0777>
- Gómez-Ponce, C.A., E. Pérez-Barragán, D.M. Méndez-Palcios, K.O. Ramírez-Romero, S. Pérez-Cavazos. 2023. Emerging infectious diseases and migration: a case of leishmaniasis in northern Mexico. *The Lancet. Infectious diseases*. 23(6): 648-650. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(23\)00197-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(23)00197-4)
- González, C., E.A. Rebollar-Téllez, S. Ibáñez-Bernal, I. Becker-Fauser, E. Martínez-Meyer, A.T. Peterson, V. Sánchez-Cordero. 2011. Current knowledge of *Leishmania* vectors in Mexico: how geographic distributions of species relate to transmission areas. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 85(5):839-846. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0452>
- Guevara, D. (2023). Salta el Tapón del Darién y la migración a EE. UU. pasa a ser continental. Universidad de Navarra. En: <https://www.unav.edu/web/global-affairs/salta-el-tapon-del-darien-y-la-migracion-a-eeuu-pasa-a-ser-continental> (consultado 17/01/2025).
- Gutierrez, M.C., S. Brisse, R. Brosch, M. Fabre, B. Omais B, M. Marmiesse, P. Supply, V. Vincent. 2005. Ancient origin and gene mosaicism of the progenitor of *Mycobacterium tuberculosis*. *PLOS Pathogens*. 1(1): e5. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0010005>
- Lemieux, A., F. Lagacé, K. Billick, M. Ndao, C.P. Yansouni, M. Semret, M.D. Libman, S. Barkati. 2022. Cutaneous leishmaniasis in travellers and migrants: a 10-year case series in a Canadian reference center for tropical diseases. *CMAJ Open*. 10(2):E546-E553. <https://doi.org/10.9778/cmajo.20210238>
- Lopez-Velez, R., H. Hueriga, M.C. Turrientes. 2003. Infectious diseases in immigrants from the perspective of a tropical medicine referral unit. *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 69(1):115-121. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2003.69.115>
- Medina-Macías, O., P. Stoesslé, L.E. Perales-Rendón, J.E. Moreno-Cuevas, F. González-Salazar. 2020. Latent tuberculosis in migrants travelling through the northeast regions of Mexico. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*. 21:100194. <https://doi.org/10.1016/j.jctube.2020.100194>
- Mellars, P. 2006. Going east: new genetic and archaeological perspectives on the modern human colonization of Eurasia. *Science*. 313:796-800. <https://doi.org/10.1126/science.1128402>
- Molina-Torres, C. A., F.D. Quinn, J. Castro-Garza, A. Gómez-Velasco, J. Ocampo-Candiani, A. Bencomo-Alerm, H.J. Sánchez-Pérez, S. Muñoz-jiménez, A. Rendón, A. Ansari, M. Sharma, P. Singh, L. Vera-Cabrera. 2022. Genetic Diversity of *Mycobacterium tuberculosis* Isolates From an Amerindian Population in Chiapas, México. *Frontiers in cellular and infection microbiology*. 12:875909. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.875909>
- Ojeda, S. 2024. Suman más de 38 casos de paludismo en Veracruz. En: <https://nvnoticias.mx/index.php/2024/10/24/suman-mas-de-38-casos-de-paludismo-en-veracruz/> (consultado el 03/04/2025)
- Organización Panaericana de la salud (OPS). 2023. Aumento de la migración en las Américas en 2023: retos para garantizar la salud de las personas migrantes y respuesta de la Organización Panamericana de la Salud. En: <https://www.paho.org/es/noticias/18-12-2023-aumento-migracion-americas-2023-retos-para-garantizar-salud-personas-migrantes> (consultado 17/01/2025)
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), Actualización Epidemiológica Fiebre amarilla en la Región de las Américas, 21 de marzo del 2024. En: <https://www.paho.org/es/documentos/actualizacion-epidemiologica-fiebre-amarilla-region-americas-21-marzo-2024> (consultado el 03/04/2025)
- Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS). 2024. Salud y Migración en la Región de las Américas. En: <https://www.paho.org/sites/default/files/2025-01/sitrep-migracion-salud-oct-2024.pdf> (consultado el 03/04/2025)
- Perales-González, A., D.M. Pérez-Garza, V.F. Garza-Dávila, J. Ocampo-Candiani. 2023. Cutaneous leishmaniasis by a needlestick injury, an occupational infection?. *PLOS neglected tropical diseases*. 17(3):e0011150. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011150>
- Ramsey, J.M., A.T. Peterson, O. Carmona-Castro, D.A. Moo-Llanes, Y. Nakazawa, M. Butrick, E. Tun-Ku, K. de la Cruz-Félix, C.N. Ibarra-Cerdeña. 2015. Atlas of Mexican Triatominae (Reduviidae: Hemiptera) and vector transmission of Chagas disease. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 110(3):339-52. <https://doi.org/10.1590/0074-02760140404>

- Salgado de Snyder, V. N., T.T. González-Vázquez, I. Bojórquez-Chapela, C. Infante-Xibille. 2007. *Migración México-Estados Unidos: consecuencias para la salud*. Instituto Nacional de Salud Pública. México, 57pp.
- Secretaría de Salud. 2024. Día Nacional del paludismo,. Dirección de enfermedades transmitidas por vector. En: <https://www.gob.mx/salud/cenaprece/articulos/dia-mundial-del-paludismo-362967?idiom=es> (consultado el 03/04/2025).
- Torres-Muñoz, A. 1995. La fiebre amarilla en México. Erradicación del aedes aegypti. *Salud Publica de México*. 37. Recuperado a partir de <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/4570>
- Tsang, C.A., A.J. Langer, T.R. Navin, L.R. Armstrong. 2017. *Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR)*. 66:295–298. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6611a3>
- Valente-Acosta, B., J. García-Acosta. 2017 . Fiebre amarilla: revisión concisa ante el actual escenario epidemiológico. *Medicina interna de México*. 33(5): 648-654. <https://doi.org/10.24245/mim.v33i5.1560>
- Wirth, T., F. Hildebrand, C. Allix-Béguec, F. Wölbeling, T. Kubica, K. Kremer, D. van Soolingen, S. Rüsch-Gerdes, C. Locht, S. Brisse, A. Meyer, P. Supply, S. Niemann. 2008. Origin, Spread and Demography of the *Mycobacterium tuberculosis* Complex. *PLOS Pathogens*. 4(9): e1000160. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000160>
- World Health Organization (WHO). 2023. Coronavirus disease (COVID-19). En: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/coronavirus-disease-\(covid-19\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/coronavirus-disease-(covid-19)) (consultado el 03/04/2025).
- World malaria report 2023. World Health Organization. 2023. En: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/malaria/world-malaria-reports/world-malaria-report-2023-spread-view.pdf?sfvrsn=bb24c9f0_4#page=113 (consultado el 03/04/2025)



UNA VIDA DEDICADA
A LA HERPETOLOGÍA:
TRIBUTO AL **DR. DAVID
LAZCANO VILLARREAL**
HERPETÓLOGO COMPROMETIDO
CON EL MEDIO AMBIENTE

/// JESÚS ÁNGEL DE LEÓN GONZÁLEZ, MARÍA ELENA GARCÍA
GARZA Y JOSÉ IGNACIO GONZÁLEZ ROJAS

El Dr. David Lazcano-Villarreal, fundador y coordinador del Museo de Historia Natural de la Universidad Autónoma de Nuevo León y jefe del Laboratorio de Herpetología de la Facultad de Ciencias Biológicas, falleció el 12 de abril de 2025, poco después de haber celebrado su 73° aniversario. Tras una prolongada y titánica lucha contra un cáncer agresivo, el Dr. Lazcano mantuvo su compromiso inquebrantable con la ciencia y la docencia. Durante años, soportó tratamientos médicos intensivos que afectaron su calidad de vida, pero nunca le impidieron continuar con su labor apasionada por los anfibios y reptiles. Su incansable dedicación lo convirtió en una figura central y respetada dentro de la herpetología mexicana, dejando un legado invaluable para las futuras generaciones de biólogos y conservacionistas.

Nació el 2 de febrero de 1952 en la ciudad de Monterrey, N.L. donde pasó sus primeros años. Sus padres fueron el Sr. David Lazcano Gutiérrez y la Sra. Francisca Villarreal Carrera, a muy temprana edad, su Padre emigró a la familia a los Estados Unidos de Norteamérica y la trasladó a la ciudad de Chicago, Illinois, donde permaneció de 1959 a 1967, tiempo en el cual estudió su educación primaria en *San Gabriel and San Thomas Elementary School's* (1° a 5° grado), posteriormente en el *Peter Copper Upper Grade Center* (6° a 8° grado). Durante ese tiempo en Chicago, visitaba continuamente una zona boscosa aledaña a la ciudad, el *Chicago Forest Preserve District of Cook Country*, lugar donde junto a su hermano Oscar emprendía episodios de exploración de la naturaleza, observando plantas y animales de la zona, fue ahí que empezó su gusto por la química y la biología. Fue voluntario en el área de herpetología del Zoológico de Brookfield entre 1965-1966, a la edad de 13 años, durante esa estancia le intrigó la biología de la serpiente de cascabel pigmea (*Sistrurus catenatus*) llamada comúnmente *Massasauga* (palabra del idioma de la tribu Norteamérica de los Chippewa que significa Gran Boca de Río), la distribución de esta especie estaba restringida al condado de Cook donde se encuentra la Cd. de Chicago. A temprana edad, comprendió que el rápido crecimiento de la mancha urbana amenazaba a esa y muchas otras especies y que debían existir programas de conservación de fauna y flora.

En 1967 la familia se trasladó de nuevo a la ciudad de Monterrey donde continuó sus estudios de secundaria en el Colegio Panamericano, e ingresó a la Preparatoria No. 3 de la UANL. En 1973 ingresó a la Facultad de Química obteniendo el título de Licenciado en Ciencias Químicas en 1977, y casi simultáneamente, entre 1975 y 1980 cursó sus estudios de Licenciado en Ciencias Biológicas, obteniendo el título de Biólogo, su generación estaba conformada por estudiantes jóvenes, entusiastas de la



biología, con muchos deseos de aprender y entender el mundo natural que los rodeaba. Las experiencias durante su estancia como estudiante fueron gratas: salidas al campo, la principal, *ya que el biólogo tiene que trabajar en campo, además de pasar tiempo en el laboratorio* (palabras expuestas por él), eso fue lo que incrementó su pasión por la carrera. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Manejo de Vida Silvestre en 1999. Realizó una estancia de investigación en la University of Texas at College Station durante junio de 2003 a junio del 2004, misma que le valió para culminar su investigación y obtener el Doctorado en Ciencias Biológicas con especialidad en Ecología en 2005 en la UANL.



FAMILIA

En 1974 conoce a María de los Ángeles Martínez de la Rosa con quien se une en matrimonio el 24 de septiembre de 1980 justo después de haber finalizado su carrera de Biólogo, del fruto de su matrimonio procrean dos hijos, David Darwin (1984) y Alan Patricio (1987). De su hijo Alan Patricio nació su única nieta, Lía Alejandra Lazcano Ruiz.

TRAYECTORIA PROFESIONAL

PARTICIPACIÓN EN LA ACADEMIA

El 1 de septiembre de 1979 ingresa a la Facultad de Ciencias Biológicas como auxiliar en el laboratorio de Enzimología, el mismo año ofrece cursos en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Preparatoria Eugenio Garza Sada, aunque ahí permanece algunos meses solamente; después, entre 1979 y octubre de 1983 ingresa la Universidad Regiomontana, A. C. División de Ingeniería y Ciencias Exactas, en el Área de Química impartiendo las materias de Química I, Química de Refuerzo, y Biología. En octubre de 1979 recibe la oportunidad de trabajar en el Acuario Municipal como responsable de la colección de peces, anfibios y reptiles, puesto que desarrolló hasta 1982, dejó muestra de cómo una colección de especies vivas debe ser preservada y mantenida, elevando la calidad de vida de los ejemplares ahí depositados. Octubre de 1979 lo recibió como docente en la Facultad de Ciencias Biológicas y hasta 1999 fue maestro en el área de Pedología e Hidrología, posteriormente apoyó en otras áreas como Biogeografía, Etología animal, Sistemática e Inglés. Desde enero de 1987 impartió cátedra en las asignaturas de Herpetología y Ecología de Reptiles. Entre 2003 y 2012 fue maestro de las asignaturas Biología I y II bilingüe en la Preparatoria No. 7 de la UANL. Participó como docente en el postgrado en Manejo de Vida Silvestre y Desarrollo Sustentable desde 2007 hasta 2017.

LABORATORIO DE HERPETOLOGÍA Y COLECCIÓN HERPETOLÓGICA

El laboratorio de Herpetología fue fundado a instancias del Dr. Salvador Contreras Balderas y en 1966 creó la colección de reptiles y anfibios de la Universidad Autónoma de Nuevo León. En diciembre de 1982 es cedida a la FCB de forma definitiva las instalaciones de lo que ahora es la Unidad "B", y son instalados ahí 8 laboratorios entre los que se encontraría el de Herpetología. Tiempo después, el Dr. David Lazcano y el Dr. Carlos Humberto Treviño Saldaña tomaron a su resguardo el laboratorio y la colección, que poseía ejemplares preservados en alcohol. En 1993, David fue nombrado jefe del laboratorio, en ese entonces la colección constaba de algunos ejemplares representativos del estado de Nuevo León, pasado el tiempo, llegó a contener alrededor de 10,000 ejemplares representantes de prácticamente todos los estados de la República, recolectados por personal académico y alumnos de la FCB; así como 2,500 ejemplares procedentes de Tamaulipas donados por el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamaulipas. A partir de 1996, David dio forma a una colección de especies vivas, iniciando con diversas especies de montaña del



género *Crotalus*, de la cual se hablará adelante. Además, estructuró una colección viva de ajolotes de Nuevo León. Gracias a las actividades de este laboratorio, David logró interactuar con investigadores de otras instituciones como la Universidad Nacional de México, Universidad de Juárez en Gómez Palacio, Durango, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Autónoma de Zacatecas, Universidad Autónoma de Coahuila, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores, por mencionar algunas. Durante el tiempo que manejó serpientes de cascabel vivas fue mordido en 4 ocasiones y fue atendido por el Dr. Rodolfo Márquez en el Hospital Universitario de Monterrey, y le fue aplicado en cada ocasión un promedio de 20 frascos de faboterápico polivalente antiviperino, según sus palabras, esos eventos pudieron ayudarle a sobrellevar su enfermedad por largo tiempo.



MUSEO DE HISTORIA NATURAL

David Lazcano estuvo al frente del proyecto del Museo de Historia Natural de la FCB, mismo que fue inaugurado el 24 de septiembre de 1984, estando de director el Dr. Cipriano Reyes Garza. Para su construcción, modificaron parte del segundo piso de la Unidad "B" para la colocación de estantes y vitrinas. Por varios años dio un servicio valioso a la comunidad, recibiendo a miles de estudiantes de educación básica, muchos de los que ahora son biólogos pasaron como niños visitantes a nuestro museo, despertando el interés por las ciencias naturales. El Museo cerró sus puertas en 2008 y fue anexado al laboratorio de Herpetología, en ese espacio actualmente se encuentra la colección viva de serpientes de cascabel de montaña.

PROYECTOS CIENTÍFICOS

Durante su desarrollo como profesor investigador de la FCB, coordinó alrededor de 40 proyectos científicos, muchos de los cuales fueron pioneros sobre distribución, ecología, reproducción en cautiverio

e historia natural de especies de reptiles y anfibios endémicas del noreste del país. Tuvo la fortuna de ser apoyado financieramente durante muchos años por varios zoológicos de los Estados Unidos de Norteamérica, entre ellos el de Los Angeles, San Antonio, Houston y Gladys Porter. Por parte de la UANL a través de su programa Paicyt, así como por los apoyos del Laboratorio Bioclon, S.A. de C.V. Su carisma lo llevó a relacionarse con investigadores de otras universidades y centros de investigación del país y extranjeros, mejorando su nivel como investigador, incrementando la calidad de su trabajo de investigación y facilitando la obtención de apoyos financieros. Su proyecto más destacado es el mantenimiento en cautiverio de una colonia de serpientes de cascabel de montaña enfocándose en la morfología, ecología, comportamiento, la composición de sus venenos y sus efectos en animales experimentales. Esa colonia llegó a contener 114 especímenes de Aguascalientes, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, contando siempre con los permisos correspondientes de recolecta científica ante Semarnat.





ALGUNOS TÍTULOS DE PROYECTOS

- Anfibios y Reptiles en Estado de Nuevo León, México. Financiado por CONABIO (1995)
- Anfibios y Reptiles del Estado de Tamaulipas, México. Financiado por CONABIO (1996).
- Distribución y Estructura Poblacional de la Tortuga del Desierto *Gopherus [Xerobates] berlandieri* en el Noreste de México. Financiado por CONABIO (1996-1997).
- Rancho Ecológico La Anacahuíta, en el Área de Rincón del Toro, Matamoros, Tamaulipas, México. Parcialmente financiado por Nature Conservancy 1996-1997).
- Riqueza Herpetológica del Parque Ecológico Chipinque, San Pedro Garza García, Nuevo León, México: Financiado por el Parque Ecológico de Chipinque (1998).
- Comparative Ecology of the Tamaulipan Rock Rattlesnake, *Crotalus lepidus morulus* in Nuevo León, México: Financiado por San Antonio Zoo (1999).
- Un Programa de Propagación del Cornezuelo *Ophryacus melanurus* de una Población en Zapotitlan de Salinas, Puebla en Condiciones de Cautiverio. Financiado por U.A.N.L. y Zoológico de San Antonio (2003).
- Las Cascabeles del Estado de Zacatecas, Un Programa de Educación Ambiental Para El Estado de Zacatecas y la Oficina Federal de SEMARNAT (2004).
- Historia Natural de la Cascabel *Crotalus polystictus*; un Estudio a Largo Tiempo, Usando el Estudio de la Recaptura. Financiado. UANL, San Antonio Zoo, Oklahoma Zoo, San Diego Zoo y Contraparte la Universidad de Granada, España (2003-2009).
- Un Programa de Propagación de las Cascabel de la Mexicanas de Montaña *Crotalus aquilus*, *Crotalus lepidus lepidus*, *Crotalus lepidus klauberi*, *Crotalus lepidus maculosus*, *Crotalus lepidus morulus*, *Crotalus triseriactus triseriatus* y *C. willardi*. UANL.- Instituto Bioclon S.,A. de C.V. (2003-2013)
- Aspectos taxonómicos y ecológicos de la lagartija cocodrilo *Gerrhonotus farri* (Sauria: Anguidae) en Tamaulipas, México (Título actualizado). Financiado Zoológico de Los Ángeles (2016-2017).
- Caracterización Ecológica y Monitoreo de la Herpetofauna del ANP Sierra de Zapalinamé, Saltillo, Coahuila, México. (Título actualizado). Financiado Asociación ANP Sierra de Zapalinamé (2016-2017).
- Presencia de Quitridiomycosis en Anfibios de Nuevo León, México. Financiado University of Texas at San Marcos (2016-2017).
- Selección de pareja en una población inusual de *Lampropeltis alterna* (A. E. Brown, 1901) del Noreste de Mexico. (Título actualizado). Financiado por University of Texas at San Marcos (2018).
- Distribución y abundancia de los Reptiles y Anfibios del Estado Tamaulipas (Título actualizado). Financiado Interno (2023).
- Herpetofauna atropellada en el Estado de Nuevo León, México (Título actualizado). Financiado Interno (2024).

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El Dr. David Lazcano fue mentor de generaciones de biólogos, naturalistas y conservacionistas, dejando una huella indeleble en sus estudiantes y colegas. Durante su vida académica ayudó en la formación de múltiples estudiantes en todos los niveles educativos, dirigió o participó en los comités de 41 tesis de licenciatura, cuatro de maestría y 10 de doctorado no solo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, también de otras instituciones como la Facultad de Medicina Veterinaria (UANL), Escuela de Biología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Universidad de Guadalajara y la Universidad de Zacatecas.

LEGADO

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

El legado de David también ha quedado plasmado en numerosas publicaciones científicas, colaboraciones interdisciplinarias y contribuciones invaluable al conocimiento y protección de la biodiversidad mexicana. Fungió como miembro del cuerpo académico "Biología de la Conservación" y de la Red Nacional "Especies Exóticas de México".

David fue una persona sencilla y agradecida, continuamente daba crédito a estudiantes que pasaron por su laboratorio, así como a colegas nacionales y extranjeros con quienes colaboró. Su primer artículo científico fue publicado en 1988 donde describe la coloración de serpiente mexicana nariz de cerdo (*Heterodon nasicus kennerlyi*), fue hasta 1992 cuando publicó su siguiente trabajo, el primer reporte de un ácaro (*Ophionyssus natricis*) sobre serpientes de la colección herpetológica que él dirigía, así como tres artículos más, en este año da inicio a su famosa serie "Notas sobre la herpetofauna mexicana" en el Bulletin of the Chicago Herpetological Society, llegando a publicar 45 notas al respecto en ese boletín. En ese mismo año despuntaría su producción científica llegando a producir a lo largo de su carrera 273 artículos científicos, lo que lo coloca como uno de los profesores investigadores más prolíficos en la Facultad de Ciencias Biológicas. Publicó trabajos en las revistas científicas Herpetological Review, The Southwestern Naturalist, The Bulletin Chicago of the Herpetological Society, Publicaciones Biológicas, Litteratura Serpentina, Revista Ecológica, Dactylus, México Desconocido, Revista de DUMAC, The European Herp Magazine, Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana, Acta Zoológica Mexicana, Maryland Herpetological Society, Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana, Journal of Herpetology, The European Herp Magazine Reptilia, Reptilia, Texas Journal of Science, Ciencia UANL, Animal Behaviour, Acta Química Mexicana, Journal of Zoology, Journal



of Biogeography, Revista Mexicana de Biodiversidad, Molecular Phylogenetics and Evolution, Natural Protected Areas Journal, Ecotoxicology, Phyllomedusa, 2013, Toxicon, Copeia, Planta, The Southwestern Association of Naturalists, Check List, Mesoamerican Herpetology, Journal of Biochemistry, Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias, Journal of Water, Air, & Soil Pollution, Molecular Phylogenetics and Evolution, Biología y Sociedad, Biodiversity Conservation through Sustainability, Biotecnología y Proceedings of the Royal Society B (Anexo 1).

Ha sido coautor de alrededor de 25 capítulos de libro y cuatro libros, con la participación de quienes en algún tiempo fueron parte del laboratorio de Herpetología. En 2008 publican la Herpetofauna de las Dunas de Viesca y su Hábitat. En 2009, publica el libro Anfibios y Reptiles Exóticos en México editado por CONABIO.

Por último, en 2010 publica, *Serpientes del estado de Nuevo León*, donde incluyen una breve historia de los reptiles, la taxonomía biológica de las serpientes, incluyen claves de identificación para las serpientes de Nuevo León, fichas descriptivas de las especies de serpientes que habitan en este estado del noreste de la república mexicana, así como una guía al tratamiento y prevención de mordeduras por serpientes venenosas. Más recientemente, en 2024, participa en la publicación del libro *"Guía visual de ranas, sapos, salamandras y sirenas comunes de Tamaulipas, México"*, el cual resultó ser una estupenda y agradable guía fotográfica a las especies de anfibios de Tamaulipas.

MIEMBRO DE SOCIEDADES CIENTÍFICAS

Fue miembro de diversas sociedades científicas como la Chicago Herpetological Society, Maryland Herpetological Society, The Journal of the Society for Conservation Biology, American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Herpetologists League, Society for the Study of Amphibians and Reptiles.

ÚLTIMOS DÍAS

David fue una persona muy querida en el ambiente académico, tenía relación con muchos investigadores nacionales e internacionales los cuales lo visitaron en su casa hasta semanas antes de partir, de la misma manera, grupos de excompañeros se daban a la tarea de visitarlo, recordando anécdotas y vivencias. Otros más se comunicaban por teléfono haciendo llevaderos aquellos últimos días en este plano material.





Fue mi director de tesis de licenciatura, en el 2009 viaje de Querétaro a Monterrey para trabajar en su laboratorio, durante mi estancia fue más que un profesor, fue como un padre también. Lamentable,

perdí el contacto con él y es muy triste enterarme de su muerte de esta manera.

INDRA



Definitivamente, el Dr. Lazcano marcó el rumbo de mi vida. Cuando lo conocí apenas iba en segundo semestre de la carrera de biólogo, y mi primera opción fue el laboratorio de Herpetología. En un principio, las palabras entre el Dr. y yo eran cortas, solo simples instrucciones como “ayuda con esto” o “acomoda esto” pero, a él no le bastaba con solo decirnos que hacer, si no que él también se ensuciaba las manos con nosotros, juntos hacíamos las labores más básicas del laboratorio y terminábamos hablando de una manera completamente amena, como si hubieran sido meses trabajo.

Con él, cualquier pequeña observación o detalle era motivo de emoción, y nos alentaba a seguir trabajando como lo hacíamos, porque él sabía lo valiosa que era la sensación del descubrimiento y la satisfacción de contribuir al conocimiento. La pasión que manifestaba el Dr. en su trabajo fue el detonante para que quisiera seguir sus pasos, y el apoyo que él me brindó durante mis años de estudiante fueron esenciales para seguir el camino de la ciencia.

Puedo decir con total certeza que hoy no estaría donde estoy de no haber sido por él. Nunca olvidare sus palabras de apoyo, las risas en los momentos de descanso, y la confianza que nos brindaba al trabajar en su laboratorio. La experiencia de haber colaborado, aún desde algo tan pequeño como la limpieza del laboratorio, hasta la formación de una publicación científica sobre algún ejemplar de la colección es algo invaluable, por lo que podré decir con orgullo que fui su estudiante y que atesorare por siempre.

BIOL. HÉCTOR ALEJANDRO VARGAS RAMÍREZ
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN,
FAUNA SILVESTRE Y SUSTENTABILIDAD, FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, UANL

LA HERPETOLOGÍA NORESTENSE LLEVA EL NOMBRE Y SELLO DEL DR. DAVID LAZCANO-VILLAREAL (1952-2025)

Conocí personalmente al Dr. David Lazcano en el año de 2004 durante el curso propedéutico de la carrera de biología generación 2004-2008 de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. En ese entonces yo era un recién egresado del bachillerato en Ciudad Victoria, Tamaulipas que buscaba hacer realidad su sueño de convertirse en un estudioso de la vida y especialmente del grupo de los anfibios y reptiles, pero aún más particularmente de las serpientes venenosas. Mi experiencia previa en la materia se reducía solamente a evidencia empírica obtenida en campo después de haber crecido en un entorno semi árido conocido como matorral espinoso tamaulipeco, en donde escucharía por primera vez el maravilloso e hipnotizante sonido del cascabel o sonaja de un ejemplar adulto de *Crotalus atrox*, que me atraparía para siempre.

Recuerdo que abandoné la larga y aburrida sesión en el auditorio de usos múltiples para acercarme al laboratorio de herpetología ubicado a unos escasos pasos dentro del mismo edificio conocido como "unidad B". Al tocar la puerta ahí me recibiría un profesor de escasos 1:30 quizá no más de 1:40 metros de estatura, quien me dijo: "vente luego, aún estás muy verde...". Esto marcaría mi larga estancia en Monterrey o más bien en San Nicolás de los Garza de poco más de 4 años y medio. Regresé una y otra vez buscando un espacio, una sola oportunidad de aprender de los seres vivos que más me fascinaban y fascinan en esta vida: las serpientes venenosas de México. Pasaron los años, y en el 2006 pude adquirir mi primer cámara fotográfica, así que al mismo tiempo comencé a contactar por mi cuenta a investigadores extranjeros como William L. Farr del entonces Zoológico de Houston, quien venía a Tamaulipas a trabajar, en colaboración con David Lazcano, en el estudio formal de la herpetofauna de Tamaulipas. David no se opuso y, al contrario, estaba contento de que un estudiante pudiera acompañar a Farr a explorar el Tamaulipas más profundo. Aún recuerdo esas largas jornadas de exploración escuchando a los Rolling Stones y atrapando y retratando a algunas especies que soñaba con observar en campo como es el caso de *Crotalus tototatus*. Derivado de esta interacción con Farr y Lazcano, es que surgieron mis primeras notas científicas como fue el caso del registro distribucional en Tamaulipas de una de las especies más raras conocida como *Anelytropsis papillosus*, una lagartija ciega y sin patas, dos ejemplares que fueron depositadas vivas en la colección del laboratorio de herpetología que ahora lleva el nombre de "David Lazcano Villareal". Posteriormente, se

llegó el tiempo de decidir si me graduaría a través de algún método como el "curso de titulación" o bien a la antigua: tesis de investigación. Ya en ese entonces, era el año de 2008 quizá principios de 2009 y leí una convocatoria en la unidad B que solicitaba estudiantes para participar en un proyecto de investigación en las islas del golfo de California con poblaciones de serpientes de cascabel insulares. Sin dudar un solo momento, me dirigí inmediatamente a Lazcano quien me conectaría con Gustavo Arnaud Franco, otro egresado de la FCB UANL que es docente investigador en el CIBNOR sede La Paz, BCS. Fue así que se cumpliría el sueño visitando la isla Santa Catalina, El Muerto y Tortuga con las densidades de cascabeles más grandes en el mundo. Si bien Lazcano nunca me aceptó como estudiante en su laboratorio, no se negó a ser mi director de tesis. En el año de 2017 fui invitado como ponente a un congreso de la AICAR en San Miguel de Allende Guanajuato, en este evento, Lazcano fue condecorado por su larga trayectoria como herpetólogo en el noreste de México, y durante la cena de despedida, me saludó y me pidió que me sentara un momento en su mesa. Me sorprendió mucho lo que me dijo: "yo a ti te he hecho muchas jaladas, y por eso te quiero pedir una disculpa". Si bien es cierto que siempre percibí al Dr. Lazcano como alguien que se negó a ser mi mentor al nunca aceptarme en el Laboratorio de Herpetología de la FCB UANL, a partir de entonces nos convertimos en buenos amigos, y comenzamos a colaborar en conjunto con mi otro extinto mentor Larry David Wilson (QEPD), hasta sus últimos días (en ambos casos), en no pocas contribuciones científicas -muchas de las cuales fueron publicadas en la Revista Biología y Sociedad de la FCB UANL- un libro sobre diversidad de anfibios en Tamaulipas y un libro más, sobre diversidad de anfibios y reptiles en la Sierra Madre de Oaxaca, se quedó en proceso en manos de la editorial de la UANL. Así que una vez dicha esta breve recopilación de hechos, no me resta nada más que decir que me siento agradecido y en deuda moral con el pequeño gigante que fue en vida el Dr. David Lazcano Villareal, quien siempre me motivó a esforzarme, bajo la premisa de que, si todo fuera fácil en esta vida, quizá no lo apreciaría o atesoraría. El Dr. Lazcano fue en vida una institución en sí mismo del conocimiento formal de la herpetología norestense, y sus estudiantes, discípulos y amigos/colegas tenemos la responsabilidad de seguir su ejemplo de vida y abonar entonces en conjunto a consolidar el conocimiento a cabalidad de la herpetofauna del noreste de México a la cual él dedicó toda su vida académica. Hacer esto, será el más grande homenaje a la memoria y obras de David Lazcano.

ELÍ GARCÍA-PADILLA

Recuerdo que conocí a David en un festejo del "Día del Biólogo", allá por 1982-1983. En esos ayerés, era celebrado con una cena-baile en un restaurant ubicado en Félix U. Gómez. Asistíamos por igual biólogos y

QBP´s. David conducía un “bocho” y ese día se trabó el seguro del volante. Ni como moverlo. Había agitación porque varios alumnos biólogos armaron un combate afuera del restaurant y varios ingresaron al festejo con la camisa rasgada y ensangrentada.

No recuerdo bien por qué estábamos conversando con David, algunos amigos me decían: “¿Este qué hace en nuestra mesa?, es biólogo !!!” La respuesta fue: “Acaba de regresar de EUA y sabe mucho”.

David siempre fue inquieto y lideró a un grupo de alumnos y profesores que buscaban crear y mantener un “Museo” con reptiles y anfibios en el interior de nuestra Facultad. ¡¡Lo lograron!! Nuestra Facultad contó, por varios años, con un Museo pequeño, pero efectivo y muy didáctico. El Museo se ubicó en el 2 piso de la Unidad B.

En ese andar, el manejo de organismos como víboras de “cascabel” (*Crotalus durissus*), era un reto. Desafío que le costó varias mordeduras. Creo que gracias a los varios “piquetes” de víbora, David generó una especie de anticuerpos que le protegieron durante más de 12 años de su padecimiento de fondo.

Al final de su vida, nos reuníamos a almorzar, el último jueves de cada mes a las 10:00 h en la cafetería de la Unidad “B”. La charla siempre amena, llena de recuerdos de su vida en Estados Unidos, sus inicios en nuestra Facultad y desafíos científicos. Entre ellos, siempre resaltaba a sus maestros, a la biología molecular y biotecnología como herramientas científicas para conocer y clasificar a los seres vivos, especialmente a los reptiles. Como buen herpetólogo, buscaba ver el funcionamiento de varias enzimas tipo proteasas de sus amados reptiles. Todo con el objetivo de encontrar suplementos alimenticios que mejoraran su vida en cautiverio.

Charlas amenas, llenas de risas y análisis académicos y científicos de nuestra universidad y del mundo.

Hasta siempre David

DR. BENITO PEREYRA ALFERES,
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, UANL



El Dr. David Lazcano Villarreal fue compañero y amigo desde la licenciatura, vivencias y anécdotas que tengo de este entrañable amigo son muchas, la mayoría de ellas informales y no publicables, entre aquellas de más formalidad y que pudiera ser publicadas. Claro que al contarla con su estilo picaresco único en él, recuerdo la experiencia de David cuando fue operado de los ojos durante la licenciatura, contaba él que al estar hospitalizado llevo consigo la imagen de Darwin, la cual colocho en la mesa de la lámpara al lado de la cama, en el momento en que fue operado y que su cama estaba vacía, se acercó a la imagen una enfermera para pedirle un milagro por algún problema familiar o económico por el cual pasaba, ya de regreso a la cama en el tiempo postoperatorio, la enfermera se acercó a David para preguntarle que como se llamaba el santito que tenía en la mesa, que era muy bueno ya que le había concedido el milagro que le pidió, rápidamente David le contesto que no era ningún santo, que era una imagen de un científico responsable de la teoría de la evolución, imagínate Piri confundir a Darwin con un santo.

HUMBERTO QUIROZ MARTÍNEZ
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, UANL



EL LEGADO DEL DR. DAVID LAZCANO VILLARREAL

Cuando me integré a la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL en febrero del 2002 para impartir cursos del Área de Química y como investigador del Laboratorio de Fitoquímica, una de las personas que me recibió en forma muy entusiasta fue el Dr. David Lazcano Villarreal del Laboratorio de Herpetología. Yo me quedé perplejo, porque no veía una relación entre nuestras áreas de investigación. El misterio se aclaró cuando David me comentó que habíamos coincidido varios años como estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL, en donde yo terminé mi Licenciatura en Ciencias Químicas en 1976 y David en 1977. No sé si muchos colegas de FCB sepan de esta “doble vida” de David, como Químico y como Biólogo. A partir de aquel reencuentro fueron numerosas las pláticas con David, intercambiando impresiones sobre nuestras actividades académicas y de investigación.

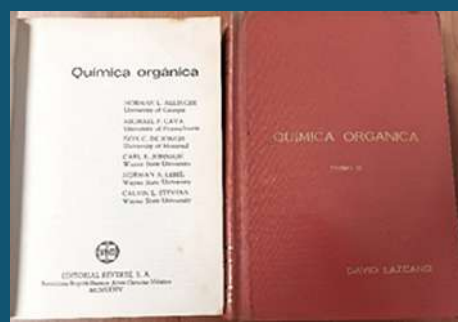
Aproximadamente veinte años después de aquel reencuentro, David se presentó en nuestro Laboratorio para comunicarme que ya estaba en proceso de jubilación y me traía un “Legado”. Se trataba de los volúmenes del texto de Química Orgánica que usamos durante nuestros estudios en la Facultad de Ciencias Químicas (“El Allinger”, edición 1973), cuidadosamente encuadernados.

En ese momento, le comenté a David en broma que ahora si le creía que había tomado en serio su Licenciatura en Ciencias Químicas.

He decidió compartir estas vivencias personales con David para recordar la calidad humana y solidaridad profesional que lo acompañaron durante toda su vida.

Descanse en paz el Maestro e Investigador David Lazcano Villarreal.

RAMIRO QUINTANILLA LICEA
LABORATORIO DE FITOQUÍMICA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, UANL



Recordar a David Lazcano siempre me trae una sonrisa, aunque me pesa su partida. Además de compañero en la Universidad, fuimos colegas, pues compartimos la pasión por las serpientes de cascabel. Por este motivo es que le envié algunos de mis estudiantes a su Laboratorio de Reptiles de la Facultad de Ciencias Biológicas, para que en su estancia aprendieran de él, pues David era un investigador dedicado y además, como tenía una personalidad relajada y buen sentido del humor, pensaba que los estudiantes apreciarían la manera en que él se apasionaba por los reptiles.

Viví muchas anécdotas con él, pero hubo una en particular que recuerdo y que aún me hace esbozar una sonrisa. Sucedió en una salida de campo de la clase optativa de herpetología, con el inolvidable maestro Carlos Treviño "Charly" (QDEP). Habíamos pasado el día entero buscando y colectando lagartijas bajo el sol, y después, por la noche, en la búsqueda de serpientes, no encontramos ninguna. Cansados y hambrientos regresamos al campamento y nos preparamos para cenar unos sándwiches. David, con su usual desenvoltura, nos ofreció un poco de "sal" que traía en un frasco, para condimentar la comida.

Todos le pusimos con confianza, pero en las primeras mordidas, nos dimos cuenta que algo no cuadraba. Esa "sal" no cambiaba el sabor de nada. Nos miramos unos a otros extrañados, pero sin decir nada. No recuerdo si fue el Johnny quien hizo muecas de asco al darle la tercera o cuarta mordida a su sándwich. Nos pusimos serios cuando David empezó a reír. Era una risa a carcajadas que no parecía tener un motivo aparente para el resto de nosotros. Fue entonces cuando alguien se percató: ¡aquello no era sal, sino bórax!

Los cinco reaccionamos molestos, indignados y le reclamamos diciéndole que nos iba a matar, pero David no le daba importancia a nuestra reacción, solo atinó a decir entre risas que la dosis era mínima y que, en el peor de los casos, solo nos provocaría un poco de diarrea. No se inmutó ni un ápice ante nuestro enojo, y su risa contagiosa terminó por disolver la tensión. No hubo rencor ni resentimientos por aquello. Hasta nos sirvió para relajarnos, pues un rato después todos nos reíamos diciendo tonterías!

Ese era David. Un apasionado de la herpetología que abordaba la ciencia con pasión, pero que nunca perdió la chispa de la diversión y la broma. Extrañaré las visitas que le hacía a su Laboratorio de la UANL, pues no faltaba el momento en el cual dijera algo que me provocara sonrisas.

GUSTAVO ARNAUD FRANCO
CIBNOR-LA PAZ



Cuando cursaba el 3er semestre, en el año 2000, entré como "ayudante" en el museo de historia natural (actualmente laboratorio de herpetología). Realmente era más una estorbante que ayudante, pero gracias a las enseñanzas del Dr. David Lazcano o como nos decíamos con cariño "profe Lazcano" y "Tomb Raider", descubrí y aprendí sobre el maravilloso mundo de los reptiles.

Sobra decir que el profe Lazcano fue un investigador destacado en herpetología. No solo me enseñó a manejar y alimentar a la mayoría de los reptiles, sino que también aprendí de su ejemplo en dar lo mejor de uno a pesar de las adversidades. Me encantaba ir al museo después de clases, aprendía y reía mucho con las ocurrencias del profe Lazcano, de Ramiro David Jacobo y de Javier Banda. Ellos me cuidaban mucho, nunca me dejaron manipular a la cobra por mi seguridad, aunque el profe nos dio tremendo susto cuando lo mordió una víbora de cascabel juvenil, pero afortunadamente no pasó a mayores.

Gracias al profe, en agosto del 2000 conocí Cuatro Ciénegas y fuimos varias veces con otros profesores y alumnos. Posteriormente, en enero y febrero de 2001 visitamos Peña Nevada, uno de sus lugares favoritos. Una anécdota muy graciosa es que, en una noche, yo estaba platicando con mi novio de ese entonces y el profe Lazcano, que instaló su tienda de campaña al lado de la nuestra, pensó que yo le hablaba y me dijo: "¿Qué pasó Jessy?" a lo que respondí: "nada profe, usted duérmase", al día siguiente me dijo que lo hice sentir como viejito porque lo mandé a dormir jajaja. Pasaron los años y cada que nos veíamos recordábamos esa anécdota y nos reíamos tanto.

También recuerdo diversos eventos de educación ambiental durante el 2000 al 2002 donde el profe Lazcano me prestó varios ejemplares vivos para llevar a escuelas. En una ocasión, debido al intenso calor, se me murió una culebra ratonera, me sentí tan mal, pero el profe me dijo que no me preocupara, que no fue mi culpa, que era parte de los riesgos del traslado de los ejemplares.

Al final de la licenciatura en el 2004, invité al profe a mi Comité de tesis, pero nuestra amistad no terminó ahí, al contrario, perduró sin importar el lugar y el tiempo. En el 2006 le escribí desde Chicago para decirle que era voluntaria en la colección de herpetología del Field Museum y me dijo que saludara a Alan Resetar (el profe tenía excelente relación con herpetólogos nacionales y extranjeros). Del 2011 al 2016 trabajé en la Conabio por lo que se la pasaba encargándome posters, guías y libros ya que era todo un coleccionista. Durante el 2014 y 2015 me encargó del centro y sur de México mazorcas de colores y unas estatuas de los dioses del maíz los cuales adornan la entrada de su laboratorio. En el 2017 me encargó una hoja de estampillas de los reptiles de Holanda la cual enmarcó y colgó en su oficina. A mí simplemente me encantaba verlo contento como niño con cada cosa que le llevaba y cuando le platicaba sobre mis viajes, mis posgrados y trabajos me decía que estaba muy orgulloso de mí.

En el 2012 cuando me enteré que el profe tenía cáncer, le hice saber que es y siempre será mi “papá de carrera” y a partir de ahí, cada año que iba a Nuevo León pasaba a visitarlo y nos tomábamos una foto del recuerdo, porque en ese tiempo el pronóstico de su salud era menor a un año. Es impresionante cómo aceptó y asimiló su situación y mantuvo una actitud positiva, cómo mantuvo su buen humor, cómo mantuvo su gusto por continuar trabajando y atendiendo el laboratorio, él decía que si se retiraba a su casa se iba a deprimir, que el laboratorio lo mantenía vivo y realmente creo que así fue. Después de 6 años con cáncer me dio tanto gusto verlo tan recuperado en el 2018 y más gusto me dio por regresar a Nuevo León y colaborar con él durante el 2024 en sus últimos capítulos sobre anfibios y reptiles para la Evaluación Diagnóstica sobre la Biodiversidad de Nuevo León, los cuales están próximos a publicarse.

A pesar de que en un principio me había hecho a la idea de su inevitable partida a causa de su enfermedad, el hecho de que pasaran tantos años y verlo recuperarse causó que su partida doliera aún más. No solo fue mi profesor, fue un gran amigo que estuvo al pendiente de mi trayectoria académica, laboral y personal, con el que reí y lloré (y viceversa) porque la vida no es perfecta, me enseñó que hay que seguir adelante con la mejor actitud posible y que en nosotros está la decisión sobre cómo queremos vivir. Hasta luego y muchas gracias por todo profe, con cariño su amiga Tomb Raider.

JESSICA VALERO PADILLA



Conocí a David Lazcano cuando fue mi profesor de Hidrobiología en mi época de estudiante alrededor de 1980, me parecía admirable su entusiasmo al impartir cátedra, sin duda, nació para enseñar. Como editor de la revista Biología y Sociedad, tuve la fortuna de convivir con David desde el inicio de la revista, allá por 1988, su apoyo con manuscritos para publicación, fue fundamental para el sostenimiento y continuidad de Biología y Sociedad. Hasta diciembre del 2024 era común verlo en mi oficina, preguntando por algún artículo o si habría posibilidad de someter otro, posteriormente hablamos en algunas pocas ocasiones por teléfono, pero nunca supe la gravedad en la que se encontraba, nuestras pláticas eran relajadas y llenas de humor. Por mucho tiempo mantuvimos una amistad, no tanta como hubiera querido, ya que él se dedicaba a un grupo muy diferente al que yo trabajaba. Pero los tiempos se dieron y la convivencia fue suficiente para cimentar una amistad, extrañaré a mi amigo David el resto de mi vida.

JESÚS ANGEL DE LEÓN GONZÁLEZ



DR. DAVID
LAZCAÑO VILLARREAL

ANEXO I
(PRODUCCIÓN
CIENTÍFICA POR AÑO)

1988

Lazcano, D. 1988. *Heterodon nasicus kennerlyi* (Mexican Hognose Snake) Coloration. Herpetological. Review 19(2): 36.

1992

Lazcano D. y M. L. Tovar Rodríguez. 1992. Primer Reporte de Acaro *Ophionyssus natricis* (Acarina: Macronyssidae) en Una Colección Herpetológica Para México. The Southwestern Naturalist 37(4):426.

Lazcano D., A. Kardon, and K. Henry Peterson. 1992. Notes on Mexican Herpetofauna #1: *Senticolis triaspis* and *Trimorphodon tau tau*. Bulletin Chicago Herpetological. Society 27(1):4.1992.

Badii, H. M., M. Ibarra Villa, D. Lazcano y H. Quiroz. 1992. Sobre poblaciones de dos especies de lagartijas en campo. Publicaciones Biológicas F.C.B./ U.A.N.L. 6 (1): 51-59.

Badii, H. Mohamed., M. Ibarra Villa, D. Lazcano y H. Quiroz. 1992. Análisis Conceptual del Nicho Alimenticio y Diversidad Intraespecífica Mediante Dos Especies de lagartijas. Publicaciones Biológicas F.C.B./U.A.N.L. 6(1):65-69

1993

Lazcano D., A. Kardon and H.K. Peterson. 1993. Notes on Mexican Herpetofauna #2: Reproduction in the Northern Mexican Bullsnake, *Pituophis deppei jani* (Cope, 1860[1861]. Bulletin Chicago Herpetological. Society 28(10):209-211.

Lazcano D., A. Contreras Arqueta, and M. Nevares de los Reyes. 1993. Notes on Mexican Herpetofauna #3: Reproductive Biology of *Gerrhonotus lugoi* an Anguid Lizard from the Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Bulletin Chicago Herpetological. Society 28(12): 263-265.

1994

Lazcano D. and R.D. Jacobo Galván. 1994. A Mexican Herpetological Collection. Litteratura Serpentina, Holland, Europa. Vol.14(1).

Lazcano D., H. K. Peterson, R. Mercado Hernández and R.D. Jacobo Galván. 1994. Notes on Mexican Herpetofauna # 4: Substrate Selection in the Lance-Headed Rattlesnake *Crotalus polystictus*. Bulletin Chicago Herpetological. Society. 29(11): 250-252.

1995

Lazcano D. and R. D. Jacobo Galván. 1995. Captive Reproduction in the Mexican Milksnake *Lampropeltis triangulum annulata*. Litteratura Serpentina, Holland, Europa, Volume (15) Number 5 October.

Lazcano D. y H.K. Peterson. 1995. ¿Cómo Resultaron Algunas Cascabeles Viviendo en las Montañas? Revista Ecológica del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Marzo 1995

1996

Lazcano D. and H. Garza Fernández.1996. Bacterial Flora Present in Skin, Mouth and Cloaca of the Leopard Gecko, *Eublepharis macularius*, Blyth 1854. Dactylus 5(1) 29- 35

Lazcano D., R.D. Jacobo Galván y H.K. Peterson. 1996. Cascabeles de Nuevo León. México Desconocido Número 236, Octubre 1996

Jacobo Galván R.D. y D. Lazcano. 1996. Las Cascabeles de las Rocas. En la Revista de DUMAC cuarto trimestre 1996 ISSN. 1665-8493

1999

Lazcano D. y W.C. Sherbrooke. 1999. Los Camaleones de México. México Desconocido Septiembre 1999 Numero 271.

Hernández Reyna J.F. y D. Lazcano 1999. Serpientes de Cascabel en las Rocas de Chipinque –The Rattlesnake. Ambiente Chipinque. ISSN: 0186-3231.

2000

Lazcano D. y R.D. Jacobo Galván. 2000. Los Reptiles y el Desierto Pronatura. Capítulo en Revista.

Lazcano D. and R.D. Jacobo Galván. 2000. The Snakes of Nuevo Leon, Mexico. Litteratura Serpentina European Snake Society.Vol. 20 Number 1. ISSN: 1131-9062 Dutch Snake Society Zoetermeer

2001

Bryson Jr. R.W., G.T. Salmon and D. Lazcano. 2001. *Lampropeltis mexicana* (San Luis Potosí Kingsnake). México Sinaloa. Herpetological Review. 32(2):123.

2002

Bryson Jr. R.W. & D. Lazcano. 2002. Reproduction and Mating Behaviour in the del Nido Rigenose Rattlesnake, *Crotalus willardi amabilis*. Southwestern Naturalist 47(2): 310-312.

Bryson Jr. R.W., J. Banda-Leal & D. Lazcano. 2002. *Crotalus lepidus maculosus* (Durango Rock Rattlesnake) Diet. Herpetological Review. 33 (2):139.

Bryson Jr. R.W., J. Banda-Leal & D. Lazcano. 2002. *Crotalus pricei pricei* (Price's Twin Spotted Rattlesnake). Habitat Selection. Herpetological Review. 33 (2):140.

Banda-Leal, J., R.W.Bryson Jr. & D. Lazcano. 2002. New Record of *Elgaria parva* (Lacertilia: Anguidae) From Nuevo León, México. The Southwestern Naturalist 47(4): 614-515

2003

Bryson Jr. R.W. & D. Lazcano. 2003. *Crotalus pricei miquihuanus* the Miquihuanan Rattlesnake. Reptilia (GB) 28(3): 43-46.

Bryson Jr. R.W., J. Banda-Leal & D. Lazcano. 2003. *Crotalus pricei miquihuanus* (Miquihuanan Rattlesnake). Diet. Herpetological Review.34 (1). 65-66.

Bryson Jr. R.W., J. Banda-Leal & D. Lazcano. 2003 *Rhadinaea montana* (Nuevo Leon Graceful Brown Snake) Habitat and Diet. Herpetological Review. 34(1).72.

Lazcano, D. y R.W. Bryson. 2003. Una Pequeña Cascabel de México. México Desconocido, Edición Diciembre 2003.

Bryson Jr. R.W., G.U. de la Rosa-Lozano y D. Lazcano. 2003. Observations on a Population of Mexican Lance-headed Rattlesnakes (*Crotalus polystictus*) from an Agricultural Area in the Mexican State of Mexico. Herpetological Review 34 (4): 313-314.

Bryson, Jr. R.W., D. Lazcano, J. Banda-Leal, C. García-de la Peña y G. Castañeda. 2003. Historia Natural de la Lagartija Pigmea (*Elgaria parva*) Endémica de Nuevo León, México.

2004

- García-de la Peña, C., A. Contreras-Balderas, G. Castañeda-Gaytán y D. Lazcano. 2004. Infestación y distribución corporal de la nigua *Eutrombicula alfreddugesi* (Acari: Trombiculidae) en el lacertilio de las rocas *Sceloporus couchii* (Sauria: Phrynosomatidae). *Acta Zoológica Mexicana* 20(2): 159-164.
- Castañeda-Gaytán, G., C. García-de la Peña & David Lazcano. 2004. Notes on Herpetofauna # 5: Herpetological Diversity of the Sand Dunes in Viesca, Coahuila, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society*. 39(4): 65-68
- Bryson, Jr. R.W., & D. Lazcano. 2004. A Longevity Record for the Rare Mexican Crossbanded Mountain Rattlesnake (*Crotalus transversus*). *Maryland Herpetological Society* 40(4):196-198
- Lazcano D., J. Banda-Leal, G. Castañeda-Gaytán, C. García de la Peña & R.W. Bryson Jr. 2004. *Crotalus lepidus* (Tamaulipean Rock Rattlesnake) Diet. *Herpetological Review*. 35(1): 62-63.
- Bryson, R.W. and D. Lazcano. 2004. *Thamnophis godmani*. (Goodman's Garter Snake) Diet. *Herpetological Review* 35(1) 73-74.
- Lazcano, D., A. Contreras-Balderas, J.I. González-Rojas, G. Castañeda-Gaytán, C. García-de la Peña & C. Solís-Rojas. 2004. Notes on Herpetofauna # 6: Herpetofauna of the Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, Nuevo León, Mexico: Preliminary List *Bulletin Chicago Herpetological Society* 39 (10): 181-187.
- Salmon, G.T., E.A. Liner, J.E. Forks & D. Lazcano. 2004. Geographic Distribution Reptilia/Serpentes *Lampropeltis alterna* (Gray-banded Kingsnake) Nuevo Leon, Mexico. *Herpetological Review*. 35(3): 292.
- García-de la Peña, C., G. Castañeda-Gaytán, H. Gadsden, A. Contreras-Balderas y D. Lazcano. 2004. Autotomía caudal de *Uma exsul* (Sauria: Phrynosomatidae). *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana (SHM)* 12(1) 1-5.
- Lazcano, D., G. Castañeda-Gaytán, C. García-de la Peña, C. Solís-Rojas y S. Contreras-Arquieta. 2004. Depredación de la Araña Pescadora *Dolomedes tenebrosus* (Araneae: Pisauridae) sobre la Culebra Zacatera de Newman *Adelphicos quadrivirgatus newmanorum*, en Nuevo León, México. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* 12 (2) 49-51.
- Medrano. 2005 *Masticophis. flagellum* (Coachwhip Snake). *Diet. Herpetological Review* 36(1): 69.
- Castañeda-Gaytán, G., C. García-de la Peña, D. Lazcano & J. Banda-Leal. 2005. *Cophosaurus texanus* (Texas Earless Lizard). *Saurophagy. Herpetological Review* 36(2):174.
- García-de la Peña, G., G. Castañeda Gaytán & D. Lazcano. 2005. *Sceloporus olivaceus* (Texas Spiny Lizard). *Ectoparasitism. Herpetological Review* 36(2):183.
- Lazcano, D. S. Contreras-Arquieta, C. García-de la Peña, G. Castañeda Gaytán & C. Solís-Rojas. 2005. *Adelphicos quadrivirgatus newmanorum* (Newman's Earth Snake). *Spider Predation. Herpetological Review* 36(2): 186.
- Lazcano, D., C. García de la Peña, G. Castañeda-Gaytán & J.I. González Rojas. 2005. *Drymarchon corais* (Indigo Snake) Diet. *Herpetological Review* 36(2):193.
- Conroy, C.J., R.W. Bryson Jr., D. Lazcano & A. Knight. 2005. Phylogenetic Placement of the Pygmy Alligator Lizard Based on Mitochondrial DNA. *Journal of Herpetology* 39(1) 142-147.
- Bryson Jr. R.W., & D. Lazcano. 2005. The Pygmy Alligator Lizard of Nuevo León, Mexico. *The European Herp Magazine Reptilia (GB)* 39(2): 69-72.
- Bryson Jr., R.W., J.R. Dixon & D. Lazcano. 2005. New species of *Lampropeltis* (Serpentes: Colubridae) from the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Journal of Herpetology* 39(2): 207-214
- García-Vázquez, U., D. Lazcano, C. García de la Peña & G. Castañeda-Gaytán. 2005. *Scincella silvicola caudaequinae*. (Horse Tail Falls Ground Skink) Distribution. *Herpetological Review* 36(3): 337.
- León-Regagnon, V., E.A. Martínez-Salazar, D. Lazcano & R. Rosas Valdez. 2005. Helminth Parasites of Four Species of Anurans from Nuevo Leon, Mexico. *Southwestern Naturalist* 50(2): 251-258.
- Banda-Leal, J., R.W. Bryson, Jr. & D. Lazcano. 2005. *Gerrhonotus parvus* (Pygmy Alligator Lizard). *Maximum Size. Herpetological Review* 36(4) 449.

2006

2005

- Castañeda-Gaytán, G., C. García-de la Peña, D. Lazcano & A. Salas-Westphal. 2005 Notes on Herpetofauna #7: Herpetological Diversity of the Low Basin of the Nazas River, Durango, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 40(3):34-37.
- García-de la Peña, C., G. Castañeda-Gaytán & D. Lazcano. 2005. Observations on the ectoparasitism of *Eutrombicula alfreddugesi* on *Sceloporus cyanogenys* in a population of Nuevo León, México. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 40 (3):52-53.
- García-de la Peña, C., H. Gadsden, H. López Corrujedo & D. Lazcano. 2005. *Uma exsul* (Coahuila Fringe Toed Sand Lizard). *Body Temperature. Herpetological Review* 36(1):66-67.
- Castañeda Gaytán, C., C. García-de la Peña, D. Lazcano & I. Rivera-Sáenz. 2005. *Arizona elegans* (Glossy Snake). *Diet. Herpetological Review* 36(1) 67.
- Lazcano, D., C. García-de la Peña, G. Castañeda-Gaytán, A. Contreras-Balderas, J.A. Sánchez-Almazán & O. Ballesteros
- Lazcano, D., R.D. Jacobo-Galván, C. García-de la Peña & G. Castañeda-Gaytán. 2006. *Phrynosoma cornutum* (Texas Horned Lizard). *Mortality. Herpetological Review*. 37(1) 91
- García de la Peña, C., G. Castañeda Gaytán & D. Lazcano. 2006. *Uma exsul* Schmidt y Bogert (1947). El lagarto de dunas de arena. *Revista Internacional de Divulgación. Reptilia*. 44: 74-78.
- Castañeda Gaytán G., C. García de la Peña, D. Lazcano and A. J. Contreras Balderas. 2006 Dietary composition of the Mexican spade foot toad (*Spea multiplicata*) from a sand dune habitat in southwestern Coahuila, Mexico. *Texas Journal of Science*. 58(1) 55-64.
- Lazcano, D., J. Banda-Leal, G. Castañeda Gaytán & C. García de la Peña. 2006. Herpetological Notes of Northeast of Mexico. # 8 Herpetofauna of the Ecological Park Chipinque, Garza Garcia and Monterrey, Nuevo Leon, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 41(7) 117-123.
- Lazcano, D., C. García de la Peña & G. Castañeda Gaytán. 2006. *Coleonyx brevis* (Texas Banded Gecko). *Color Pattern. Herpetological Review*. 37(2) 220.
- Lazcano, D., C. García de la Peña & G. Castañeda Gaytán. 2006 *Gerrhonotus infernalis* (Texas Alligator Lizard). *Mortality. Herpetological Review*. 37(2): 222.
- Lazcano, D. J.A. Contreras-Lozano, A.J. Contreras-Balderas, G. Castañeda & C. García de la Peña. 2006. *Sceloporus couchii*

(Couch's Spiny Lizard). Saurophagy. *Herpetological Review* 37(2): 227.

Castañeda-Gaytán, G., D. Lazcano, C. García de la Peña & J.A. Contreras-Lozano. 2006 *Sceloporus cyanogenys* (Blue Spiny Lizard) Predation. *Herpetological Review* 37(2): 227

de la Rosa Lozano, G., G. Castañeda, C. García-de la Peña y D. Lazcano. 2006. Aspectos de Distribución e Historia Natural del Pletodóntido Endémico *Chiropterotriton priscus* en el Sur de Nuevo León, México. *Boletín Sociedad Herpetologica Mexicana*. 14(2): 12-19.

Guerrero Vázquez, S., D. Lazcano, C. García de la Peña & G. Castañeda Gaytán. 2006. *Aspidoscelis lineatissimus* (Colima Whiptail Lizard) Predation. *Herpetological Review* 37(4): 462-463.

2007

Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano & A.J. Contreras-Balderas. 2007. *Sceloporus cyanogenys* (Blue Spiny Lizard) Predation. *Herpetológica Review* 38(1): 82-83.

Aguillón-Gutiérrez, D.R., D. Lazcano, R. Ramírez-Romero, A. Aguirre-Ramos, J.J. Zarate-Ramos y A. Wong-González. 2007. Bacterias cloacales y evaluación física de la herpetofauna del Parque Ecológico Chipinque. *Ciencia UANL Volumen X Numero 2 Abril.-, Junio*. 168-174.

Lazcano, D., G. Castañeda Gaytán, A. Sánchez-Almazán & C. García de la Peña. 2007. Herpetological Notes of the Northeast of Mexico # 9: Herpetofauna Diversity of the Fragmentized *Juniperus* Plant Community in San Juan y Puentes, Aramberri, Nuevo Leon, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 42(1):1-6 2007

Recchio, I.M., C.M. Rodriguez & D. Lazcano. 2007. *Geophis dugesii aquilonaris* (Chihuahua Earth Snake) México: Sonora. Range Extension. *Herpetological Review* 38(1): 1003-1004.

Lazcano, D., F. Mendoza-Quijano, A. Kardon, C. García de la Peña & G. Castañeda-Gaytán. 2007 *Crotalus aquilus* (Queretaran Dusky Rattlesnake). Mortality *Herpetological Review* 38(2):204-205.

Farr, W.L., P.A. Lavín Murcio & D. Lazcano. 2007. New Distributional Records for Amphibians and Reptiles from the State of Tamaulipas, Mexico. *Herpetological Review* 38(2) 226-233.

Lazcano, D., R. Jacobo-Galvan, C. Garcia.de la Peña, y G. Castañeda-Gaytan . 2007. *Crotalus lepidus* Mantenimiento en cautiverio de cascabeles de montaña. *Reptilia*, 66:31-35.

Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano & A.J. Contreras-Balderas. 2007 Herpetological Notes of the Northeast of Mexico # 10: Ecological Distribution of the Herpetofauna in Three Plant Communities in the Sierra Picachos, Nuevo Leon, Mexico. *Bullentin Chicago Herpetological Society* 42(11):177-187.

2008

Lazcano, D., N. Cruz-Maldonado, B.I. González-Garza & J.I. González-Rojas. 2008. *Phrynosoma cornutum* (Texas Horned Lizard) Predation. Decapitation. *Herpetological Review* 39(1): 90.

Lazcano, D., A. Kardon, I. Recchio & C. Rodríguez. 2008. *Sceloporus olivaceus* (Texas Spiny Lizard) Predation. *Herpetological Review* 39(1)94.

2009

Estrella Mociño-Deloya, Kirk Setser, Juan M. Pleguezuelos, Alan Kardon and David Lazcano 2009 Cannibalism of non-viable offspring by postparturient Mexican lance-headed

rattlesnake *Crotalus polystictus*. *Animal Behaviour* (77):145-150

Lazcano, D., J.A. Contreras-Lozano, J. Gallardo-Valdez, C. García de la Peña & Gamaliel Castañeda-Gaytán. 2009 Notes on Mexican Herpetofauna #11: Herpetological Diversity in Sierra "Cerro de La Silla" (Saddleback Mountain), Nuevo León, México. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 44(2):21-27.

Lazcano, D., S.M. Acosta García, R. Mercado Hernández, J.A. Chávez Cisneros y S. Narváez Torres. 2009. Tiempo de Deglución en Crías de *Crotalus aquilus* (Klauber, 1952) en Condiciones de Cautiverio. *Ciencia UANL: Volumen XIII Numero 3 (288-294) Julio-Sept.* 2009.

Lazcano, D., M.A. Salinas-Camarena & J.A. Contreras-Lozano. 2009. Herpetological Notes of the Northeast of Mexico # 12: Are DORs Taking Their Toll in the Snake Populations. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 44(5):69-75

Cruz Sáenz, D., S. Guerrero Vázquez, D. Lazcano & J. Téllez-López. 2009. Notes on the Herpetological of Western Mexico # I: An Update on the Herpetofauna of the State of Jalisco, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 44(7):105-113.

Zugasti Cruz, A. A.C. Cepeda Nieto, J. Morlett Chávez, G. de la Cruz Galicia1 y D. Lazcano Villarreal. 2009. Características Bioquímicas y Toxicológicas del Veneno de las Serpientes de Coahuila. *Acta Química Mexicana*

Sherbrooke W.C. & David Lazcano. 2009. Obituaries (Fernando Mendoza Quijano (1957-2008). *Herpetological Review* 40(2):133-134.

Cruz Sáenz, D., D. Lazcano, S. Guerrero Vázquez & J. Téllez-López. 2009. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 2: Distribution Patterns of Reptiles in the Mexican State of Jalisco. *Bulletin. Chicago Herpetological. Society* 44(10):1-4.

Recchio, I.M., J.N. Hogue and David Lazcano 2009 *Phrynosoma asio* (Giant Horned Lizard). Diet. *Herpetological Review* 40(3):347-348.

Setser, K., E. Mociño-Deloya, D. Lazcano & A. Kardon. 2009. *Crotalus polystictus* (Mexican Lance-headed Rattlesnake). Maximum Elevation. *Herpetological Review*: 40(4):440.

Godambe, A., E. Mociño-Deloya, K. Setser, D. Lazcano & A. Kardon. 2009. *Crotalus triseriatus* (Mexican Dusky Rattlesnake). Reproduction. *Herpetological Review* 40(4):441.

Setser, K., E. Mociño-Deloya, D. Lazcano & A. Kardon. 2009. *Salvadora bairdi* (Bairds Patch-nosed Snake) Diet. *Herpetological Review* 40(4):442.

Farr, W.L., D. Lazcano & P.A. Lavín-Murcio. 2009. Part II. New Distributional Records for Amphibians and Reptiles from the State of Tamaulipas, Mexico. *Herpetological Review* 40(4) 459- 467.

Lazcano, D., W.L. Farr, P.A. Lavin-Murcio, J.A. Contreras-Lozano, A. Kardon, S. Narváez-Torres & J.A. Chávez-Cisneros. 2009. Notes on Mexican Herpetofauna # 13: DORs in the Municipality of Aldama Tamaulipas, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 44(12):181-195.

Setser, K., E. Mociño-Deloya, D. Lazcano & A. Kardon. 2009. *Crotalus polystictus* (Mexican Lance-headed Rattlesnake) Maximum Elevation. *Herpetological Review* 40(4) 440.

Godambe, A., E. Mociño-Deloya, K. Setser, D. Lazcano & A. Kardon. 2009. *Crotalus triseriatus* (Mexican Dusty Rattlesnake) Reproduction. *Herpetological Review* 40(4) 441.

Setser, K., E. Mociño-Deloya, D. Lazcano & A. Kardon. 2009. *Salvadora bairdi* (Baird 's Patch-nosed Snake) Diet. *Herpetological Review* 40(4) 442

2010

- Chávez-Cisneros, J.A., D. Lazcano & M.A. Salinas-Camarena. 2010. *Cophosaurus texanus* (Greater Earless Lizard). Mortality. *Herpetological Review* 41(1):75.
- Price, M.S., C.R. Harrison & D. Lazcano. 2010. *Sceloporus cyanostictus* (Blue-spotted Spiny Lizard). Distribution. *Herpetological Review* 41(1):108.
- Price M.S. & D. Lazcano. 2010. *Sceloporus merriami australis* (Canyon Lizard) Distribution. *Herpetological Review* 41(1):109.
- Lazcano, D. & R.W. Bryson. 2010. *Gerrhonotus parvus* (Pygmy Alligator Lizard) Juvenile Size. *Herpetological Review* 41(1):79.
- Setser, K., E. Mociño-Deloya, J.M. Pleguezuelos, D. Lazcano & A. Kardon. 2010. Reproductive ecology of female Mexican lance-headed rattlesnake. *Journal of Zoology*. 281(3) 175-182.
- Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano, J.A. Contreras-Balderas & P.A. Lavín-Murcio. 2010. Notes on Mexican Herpetofauna # 14: An Update to the Herpetofauna of Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, México. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 45(3):41-46.
- Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano y A.J. Contreras-Balderas. 2010. Estatus de la herpetofauna presente en el Cerro "El Potosí", Nuevo León, México CIENCIA UANL /VOL.XIII.No.2, ABRIL-JUNIO 2010.
- Lazcano David, Roberto Mendoza-Alfaro, Lizeth Campos-Múzquiz, Lavín-Murcio, Pablo Antonio and M. Quiñonez-Martínez. 2010. Notes on Mexican Herpetofauna #15. The Risk of Invasive Species in the Northeast of Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 45(7):113-117.
- Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano & A.J. Contreras-Balderas. 2010. *Barisia ciliaris* (Northern Imbricate Alligator Lizard). Antipredator Behavior. *Herpetological Review* 41(2):217.
- Lazcano, D., M.Á. Cruz-Nieto, J.I. González-Rojas & Gabriel Ruiz-Ayma. 2010. *Holbrookia approximans* (Speckled Earless Lizard). Predation. *Herpetological Review* 41(2): 224.
- Cruz-Saenz, D. & D. Lazcano. 2010. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 3: Herpetofauna Sympatric with *Xantusia sanchezi* in an Oak Forest of Jalisco, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 45(11): 173-176.
- Recchio, I. & D. Lazcano. 2010. *Crotalus catalinensis* (Santa Catalina Island Rattlesnake) Reproduction. *Herpetological Review* 41(4): 500-501.
- Cruz-Sáenz, D., S. Guerrero-Vázquez, A. Camacho-Rodríguez and D. Lazcano. 2010. *Leptodeira maculata* (Southwestern Cat-eyed Snake) Diet. *Herpetological Review* 41(3):366.

2011

- Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano & A.J. Contreras-Balderas. 2011. Aggregation of *Sceloporus minor* (Sauria Phrynosomatidae) from Cerro el Potosí, Nuevo León, México. *Southwestern Naturalist* 56(1):121-122.
- Lazcano, D., A. Kardon, R.J. Muscher & J.A. Contreras-Lozano. 2011. Notes on Mexican Herpetofauna #16: Captive Husbandry Propagation of the Exiled Mexican Garter Snake, *Thamnophis exsul* Rossman, 1969. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 46(2):13-17.
- Bryson, R.W., R.W. Murphy, A. Lathrop, & D. Lazcano. 2011. Evolutionary drivers of phylogeographical diversity in the highlands of Mexico: a case study of the *Crotalus triseriatus* species group of montane rattlesnakes. *Journal of Biogeography* 38(4) 697-701.

- Álvarez-Mendoza, F.J., E.M. Tamez-Cantú, D. Lazcano, K.W. Setser y E. Mociño-Deloya. 2011. Morfología de las células sanguíneas y perfil leucocitario de *Crotalus polystictus* (Cope 1865). *CIENCIA UANL / 15(1):53-59.*
- Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano y A.J. Contreras-Balderas. 2011. Distribución ecológica de la herpetofauna en gradientes altitudinales superiores del Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 27 (2):231-243.
- Lazcano, D., I.G. Cervantes-León, R. Mercado-Hernández y R.D. Jacobo-Galván. 2011. Variación en el crecimiento de juveniles de la cascabel de las rocas *Crotalus lepidus* (Kennicott, 1861) en condiciones de cautiverio. *CIENCIA UANL* 15(2):162-169.
- Cruz-Sáenz, D., D. Lazcano, L. Ontiveros-Esqueda, S. Narváez-Torres & E. Flores-Covarrubias. 2011. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 4: A Case of Parental Care in the Mountain Skink (*Plestiodon callicephalus*) in Huaxtla, Zapopan, Jalisco, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 46(5):57-61.
- Dixon, J.R., D. Lazcano, J. Banda-Leal & J.A. Chávez-Cisneros. 2011. Notes on Mexican Herpetofauna # 17: The Status of *Rhadinaea montana*, *R. gaigeae* and *R. quinquelineata* of the Sierra Madre Oriental of Eastern Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 46(6):69-73.
- Lazcano, D., G. Arnaud, O. Cruz & E. García-Padilla. 2011. Notes on the Herpetofauna of the Northwester of Isla El Muerto, Ensenada, Baja California, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 46(10):129-133.
- Cruz-Sáenz, D., D. Lazcano & Leticia Ontiveros-Esqueda. 2011. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 5: An Update of Herpetofauna in the Oak Forest of Huaxtla, Zapopan, Jalisco, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 46(7): 81-87.
- Farr, W.L., T. Burkhardt & David Lazcano. 2011. *Tantilla rubra* (Red Black-headed Snake) Maximum Size. *Herpetological Review* 42(3):445.
- Farr, W.L. & D. Lazcano. 2011. *Drymobius margaritiferus* (Speckled Racer) Defensive Behaviour: Thanatosis. *Herpetological Review* 42(4): 613.
- Lazcano, D., J.A. Chávez-Cisneros & J. Banda-Leal. 2011. *Arizona elegans elegans* (Kansas Glossy Snake). Diet. *Herpetological Review* 42(4): 610.
- Bryson Jr, R.W., R.W. Murphy, M.R. Graham, A. Lathrop & D. Lazcano. 2011. Ephemeral Pleistocene woodlands connect the dots for highland rattlesnakes of the *Crotalus intermedius*. *Journal of Biogeography*.38 (12): 2299-2310.

2012

- Cruz-Saenz, D. & D. Lazcano. 2012 Biological and ecological aspects of *Xantusia sanchezi*, an endangered lizard in oak forest in the state of Jalisco, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (83):129-132.
- Bryson Jr, R.W., J.R. Jaeger, J.A. Lemos-Espinal & D. Lazcano. 2012. A *multilocus* perspective on the speciation history of a North American aridland toad (*Anaxyrus punctatus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 64: 393-400.
- Flores-Covarrubias, E., D. Cruz-Sáenz, & D. Lazcano 2012: Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 6: Amphibians and Reptiles of Hostotipaquillo, Jalisco, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 47(2): 21-26.

Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano & A.J. Contreras-Balderas. 2012. Herpetofauna of the Cerro El Potosi Natural Protected Area of Nuevo Leon, Mexico: Status of the Ecological and Altitudinal Distribution. *Natural Protected Areas Journal* 32(4):377-385.

García-Bastida, M., C.A. Madrid-Sotelo & D. Lazcano. 2012. Evaluation of Simple Method of Externally attaching radio-transmitters of the Texas Alligator Lizard *Gerrhonotus infernalis*. *Herpetological Review* 43 (3):410-412

Penilla-Juárez, A., D. Cruz-Sáenz & D. Lazcano. 2012. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 7: Reproduction of *Plestiodon callicephalus* in Jalisco, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 47(11):141-143.

Aguilera-González, C., P. González del Pliego, R. Mendoza-Alfaro, D. Lazcano & J. Cruz. 2012. Pollution biomarkers in the spiny lizard (*Sceloporus* spp.), from two suburban populations of Monterrey, Mexico. *Ecotoxicology*, 21(8):2103-2112.

Lazcano, D., J.A. Contreras-Lozano, S. Narváez-Torres & J. Chávez-Cisneros. 2012. Notes on Mexican Herpetofauna # 18: Herpetofauna of Cerro El Topo Chico Natural Protected Area, Nuevo León México. *Bulletin. Chicago Herpetological Society* 47(12):149-155.

Meik, J.M., J.W. Streicher, E. Mociño-Deloya, K. Setser & D. Lazcano. 2012. Shallow phylogeographic structure in the declining Mexican Lance-headed Rattlesnake. *Crotalus polystictus* (Serpentes: Viperidae). *Phyllomedusa* 11(1):3-11.

Chávez-Cisneros, J.A. & D. Lazcano. 2012. *Sceloporus marmoratus* (Northern rose-bellied lizard). Kyphosis and Scoliosis. *Herpetological Review* 43(1):140.

2013

Banda-Leal, J., D. Lazcano & M. Nevárez de los Reyes. 2013. Notes on Mexican Herpetofauna # 19: Herpetofauna Sympatric with *Gerrhonotus parvus* in San Isidro Canyon, Santiago, Nuevo León, Mexico. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 48(2):13-19.

Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano, J.A. García-Salas & A.J. Contreras-Balderas. 2013. Herpetofauna in Two Coastal Sites in the Municipality of Soto La Marina, Tamaulipas, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. 29 (1):144-152

Cruz-Sáenz, D., J.L. Ortega de Santiago & D. Lazcano. 2013. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 8: Observation on the Diet of the Zacatecas Night Lizard, *Xantusia sanchezi*, in an Oak Forest of Jalisco, México. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 48(5):67-69.

García-Bastida, M., D. Lazcano, L.D. McBrayer & R. Mercado-Hernández. 2013. Sexual dimorphism in the alligator lizard *Gerrhonotus infernalis* (Sauria: Anguidae) implications of sexual selection. *The Southwestern Naturalist* 58(2):202-208.

Martínez-Romero, G., A. Rucavado, D. Lazcano, J.M. Gutiérrez, J.M. Borja-Jiménez, B. Lomonte, Y. Garza-García & A. Zugasti-Cruz. 2013. Comparison of venom composition and biological activities of the subspecies *Crotalus lepidus lepidus*, *Crotalus lepidus klauberi* and *Crotalus lepidus morulus* from Mexico. *Toxicon* 71(2013):84-95.

Penilla-Juárez, A., D. Cruz-Sáenz & D. Lazcano. 2013. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 9: status of Green Iguanas (*Iguana iguana*) and Western Spiny-tailed Iguanas (*Ctenosaura pectinata*) in the Protected Natural Area "Estero El Salado" in Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 48 (7):92-97.

Cruz-Sáenz, D., Á. Penilla-Juárez & D. Lazcano. 2013. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 10: Herpetofauna of the Protected Natural Area "Estero El Salado" and Adjacent Areas in Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 48 (9):117-119.

Recchio, I. & D. Lazcano. 2013. *Sceloporus undulatus* (Eastern Fence Lizard). 2013. Feeding. *Herpetological Review* 44(3):513.

Cruz-Sáenz, D., E.S. García-Mata & D. Lazcano. 2013. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 11: A Range Extension for the Mexican Dusty Rattlesnake, *Crotalus triseriatus*, in Jalisco, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 48(10): 135-136.

Borja-Jiménez, J.M., D. Lazcano, G. Martínez-Romero, J. Morlett, E. Sánchez, A.C. Cepeda-Nieto, Y. Garza-García & A. Zugasti-Cruz. 2013. Intra-specific Variation in the Protein Composition and Proteolytic Activity of *Crotalus lepidus morulus* Venom from the Northeast of Mexico. *Copeia* 2013, (4): 707-716.

Farr, W.L., D. Lazcano & P.A. Lavín Murcio. 2013. Part III New Distributional Records for Amphibians and Reptiles from the State of Tamaulipas, Mexico. *Herpetological Review* 44(4): 631-645.

2014

Banda-Leal, J., D. Lazcano & M. Nevárez-de Los Reyes. 2014. Notes on Mexican Herpetofauna # 20: Sympatric and Predation Herpetofauna with *Gerrhonotus parvus* in the Canyon of San Isidro, Santiago, Nuevo Leon, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 49(2): 17-23.

Chávez-Cisneros, J.S.A., S. Narváez-Torres, D. Lazcano & J.A. Contreras-Lozano. 2014. Notes on Mexican Herpetofauna # 21: Green Ratsnake (*Senticolis triaspis*), A New Record from Sierra Cerro de la Silla (Saddleback Mountain), Nuevo León, México. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 49 (4): 1-4.

Nevárez-de los Reyes, M., D. Lazcano & J. Banda-Leal. 2014. Notes on Mexican Herpetofauna # 22: Herpetofauna del Municipio de Hermosillo, Sonora, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 49 (8): 105-115.

Montoya-Ferrer, D., D. Lazcano & M. García-Bastida. 2014. Notes on Mexican Herpetofauna # 23: An Unusual Injury by a Native Moss on *Gerrhonotus infernalis* (Texas Alligator Lizard) in Parque Ecológico Chipinque, San Pedro Garza Garcia, Nuevo Leon, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 49 (9):125-126.

Banda-Leal, J., D. Lazcano, M. Nevárez-de los Reyes & C. Barriaga-Vallejo. 2014. NGD. Noteworthy records of *Gerrhonotus parvus* in Nuevo Leon, Mexico *Gerrhonotus parvus* Knight and Scudday, 1985 (Squamata: Anguidae): New range extension and clutch size in the state of Nuevo León, Mexico. *Check List* 10(4): 950-953.

Lazcano, D. 2014. La Plantas Carnívoras: Un Hobby. *Planta* 9(18): 22-27.

Banda-Leal, J., D. Lazcano, M. Nevárez de los Reyes, C. Barriaga-Vallejo & C. Aguilera- González. 2014. *Ambystoma velascoi* (Plateau Tiger Salamander). Predation. *Herpetological Review* 45(4): 675

2015

Lazcano, D., y S. Pacheco-Treviño. 2015. Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, Nuevo León: La Herpetofauna y los Agaves de la Sierra. *Planta* 9 (19): 26-32.

Rodríguez-Jaime, A., D. Lazcano, J. Banda-Leal & M. Nevárez-de los Reyes. 2015. Notes on Mexican Herpetofauna # 24: Unusual Food Items in the Diet of The American Black Bear, *Ursus americanus eremicus*

- (Pallas, 1790), in Parque Ecologico de Chipinque, Nuevo Leon, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 50(1):1-7.
- Forstner, M.J.R., D. Lazcano & R.A. Thomas. 2015. In Memoriam: James Ray Dixon, The Southwestern Naturalist 60(1): 132-138.
- Villamizar-Gomez, A., W.R. Farr, D. Hahn, J.R. Dixon, D. Lazcano & M.R.J. Forstner. 2015. Absence of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Eighteen Species of Amphibians from a Variety of Habitats in Tamaulipas, Mexico. Herpetological Review 46(1):34-37.
- Nevárez de los Reyes, M., S. Contreras-Arquieta & D. Lazcano. 2015. *Cophosaurus texanus* (Greater Earless Lizard). Aquatic Escape Behavior. Herpetologica Review (Natural History Notes) 46(1):89.
- Banda-Leal, J., D. Lazcano, M. Nevárez de los Reyes & A. Huereca-Delgado. 2015. *Crotalus lepidus* (Rock Rattlesnake). Diet Natural History Notes. Herpetologica Review 46(1):102.
- Farr, W.L., M. Nevárez de los Reyes, D. Lazcano & S.E. Ortiz-Hernández. 2015. *Crotalus totonacus* (Totonacan Rattlesnake). Diet. Natural History Note Herpetologica Review 46(1):103.
- Lazcano, D., S. Pacheco-Treviño, M. Nevárez de los Reyes, J. Banda Leal & C. Barriga-Ibarra. 2015. Notes on Mexican Herpetofauna # 25: Association of Herpetofauna with Agaves in the States of Nuevo Leon and Tamaulipas, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 50(6):77-86.
- Cruz-Sáenz, D., S. Guerrero-Vázquez & D. Lazcano. 2015. Notes on the Herpetofauna # 13: Effects of Wildfires on the Reptile Community in the Natural Protected Area "La Primavera", Jalisco, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 50(7):96-100.
- Cruz-Sáenz, D., F.J. Muñoz-Nolasco, D. Lazcano & E. Flores-Covarrubias. 2015. NGD. Noteworthy records of *Tantilla cascadeae* and *T. ceboruca* (Squamata: Colubridae) from Jalisco, Mexico. Check List:11(4):1-5
- Lazcano, D., J. Banda-Leal, D. Montoya-Ferrer, M. Nevárez-de los Reyes & C. Barriga-Vallejo. 2015. Notes on Mexican Herpetofauna # 26: Aggressive Behavior in Captive Pygmy Alligator Lizards, (*Gerrhonotus parvus* Knight and Scudday, 1985). Bulletin of the Chicago Herpetological Society 50(9):138-141.
- Banda-Leal, J., D. Lazcano, M. de Los Reyes, C. Solís-Rojas, J.M. de Luna-González & Rodolfo Antonio Rojas-Malacara. 2015. *Sceloporus oregon* (Royal Lesser Minor Lizard) Diet. Natural History Notes. Herpetological Review 46(3):438.
- Farr, W.L., M. Nevárez de los Reyes, J. Banda-Leal & D. Lazcano. 2015. NGD. The Distribution of *Crotalus totonacus* in Nuevo León, Mexico. Mesoamerican Herpetology-Septiembre 2015. 2(1): 242-251.
- Lazcano, D., S. Pacheco-Treviño, J. Banda-Leal, W.L. Farr & A. Kardon. 2016. Notes on Mexican Herpetofauna # 28: Association of the Herpetofauna with Mangrove Forests in the Municipalities of Aldama and Soto La Marina Tamaulipas, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 51(4):57-65.
- Banda-Leal, J., D. Lazcano, M. de Los Reyes, C. Solís-Rojas, J.M. de Luna-González & R.A. Rojas-Malacara. 2016. *Sceloporus oregon* (Royal Lesser Minor Lizard) Diet. Herpetological Review: Natural History Notes 46(3):438.
- García Mata, E.S., D. Cruz-Sáenz, A.R. Romero-Guzmán & D. Lazcano. 2016. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico # 14: Herpetofauna of a Dry Oak Forest in a Portion of Sierra del Cuale on the Pacific Coast of Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 51(6):89-93.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano & J. Banda-Leal. 2016. *Crotalus ornatus* (Eastern Black-tailed Rattlesnake). Herpetological Review. Distribution Notes 47(2):261-262.
- Nevárez de los Reyes, M., & D. Lazcano. 2016. *Sceloporus merriami* (Canyon Lizard). Herpetological Review. Distribution Notes 47(3):424
- de Luna-González, J.M., C. Solís-Rojas & D. Lazcano. 2016. *Sceloporus olivaceus* (Texas Spiny Lizard). Predation. Natural History Notes. Herpetological Review, 47(3):469.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano, E. García-Padilla, V. Mata-Silva, J.D. Johnson & L.D. Wilson. 2016. The Herpetofauna of Nuevo León, Mexico: Composition, 2016. Distribution, and Conservation. Mesoamerican Herpetology 3(3): 557-638.
- García-Padilla, E., M. Price, T. Fisher, M. Nevárez de los Reyes, D. Lazcano, J.D. Johnson, & L.D. Wilson. 2016. Distribution Notes. *Eleutherodactylus verrucipes* (Cope, 1885). Mesoamerican Herpetology 3:736.
- García-Padilla, E., M. Nevárez de los Reyes, D. Lazcano, V. Mata-Silva, J.D. Johnson & L.D. Wilson. 2016. Distribution Notes: *Coniophanes imperialis* (Günther, 1858). Mesoamerican Herpetology 3: 776.
- García-Padilla, E., G.J. Herrera-Enríquez, M. Nevárez de los Reyes, D. Lazcano, Vicente Mata-Silva, J.D. Johnson & L.D. Wilson. 2016. Distribution Notes. Distribution Notes: *Crotalus ornatus* (Hallowell, 1854). Mesoamerican Herpetology 3: 778.
- Nevárez de los Reyes, M., J. Banda Leal, D. Lazcano, R.W. Bryson, Jr. and R.W. Hansen. 2016. Noteworthy Records of Snakes of the *Lampropeltis mexicana* Complex from Northeastern Mexico. Other Contributions Reptilia: Squamata (snakes). Mesoamerican Herpetology 3(4): 1055-1058.
- Montoya-Ferrer, D. & D. Lazcano. 2016. *Aspidoscelis gularis* (Texas Spotted Whiptail/Common Spotted Whiptail). Scavenging. Herpetological Review 47(4):666.
- Lazcano, D. & R. Quirino-Olvera. 2016. Sotols and Beargrass Involved in Herpetological Activity in the State of Nuevo Leon, Mexico. Planta 11(22): 29-38
- Cruz-Sáenz, D., D. Lazcano, E. Bailón-Cuellar & B. Navarro-Velázquez. 2016. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico #15: A New Food Item for *Ctenosaura pectinata* (Wiegmann, 1834) Garrobo de Roca/Western Spiny-tailed in Colima, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 51(11):187-190.

2016

- Godoy-Godoy, J.B., K. Pérez-Guzmán, J.M. Borja-Jiménez, D. Lazcano, J. Morlett, C. A. Sierra-Rivera, A.C. Cepeda-Nieto, Y. Garza-García & A. Zugasti-Cruz. 2016. Comparative enzymatic study of venoms of rattlesnakes *Crotalus aquilus* and *Crotalus ravus* exiguous. Mexican Journal of Biochemistry 1(1) 12-20.
- Borja, J.M., J.A. Galán, E. Cantú, Jr., A. Zugasti-Cruz, A. Rodríguez-Acosta, D. Lazcano, S. Lucena, M. Suntravat & E.E. Sánchez. 2016. Morulustatin, a disintegrin that inhibits adp-anduced platelet aggregation, isolated from the Mexican Tamaulipan rock rattlesnake (*Crotalus lepidus morulus*). Revista Científica, Facultad de Ciencias Veterinaria-División -Investigación. 26 (2): 86-94.

2017

- Lazcano, D., R. Quirino-Olvera, M. Nevárez de los Reyes & J. Banda-Leal. 2017. Notes on Mexican Herpetofauna # 29: Association of the Herpetofauna with Sotols and Beargrass in the State of Nuevo Leon, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 52(2):17-26.

- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano, J. Forks, C.A. Alejo-Luna & B. Navarro-Velázquez. 2017. Notes on the Mexican Herpetofauna # 30: A New Food Item in a Mexican *Lampropeltis alterna* (A.E. Brown, 1901) Gray-banded Kingsnake from Bustamante, Nuevo León, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 52(4):61-65.
- Cruz-Sáenz, D., D. Lazcano & B. Navarro-Velázquez. 2017. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico #16: A New Food Item in a *Conophis vittatus* (W. C. H. Peters, 1860). Bulletin of the Chicago Herpetological Society 52(5):80-84.
- Farr, W.L. & D. Lazcano. 2017. Distribution of *Bothrops asper* in Tamaulipas, Mexico and a Review of Prey Items. SWAN (Southwestern Association of Naturalists) 62(1):77-84.
- García-Mata, E.S., D. Cruz-Sáenz, J.A. Carlos-Gómez, B. Navarro-Velázquez, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2017. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico #17: Predation on *Rhinella horribilis* (Linnaeus, 1758) by two species, *Leptodeira maculata* (Hallowell, 1861) and *Caracara cheriway* (Jacquin, 1784) in the municipality of Cuauhtémoc, Colima, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 52(8):139-143.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano & A. Bonilla-Vega. 2017. *Leptophis mexicanus* (Mexican Parrot Snake). México: Nuevo León: Geographic Distribution: Squamata-Snake. Herpetological Review 48(3):590.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano & J. Banda-Leal. 2017. *Tantilla nigriceps* (Plains Black-headed Snake). México: Nuevo León: Geographic Distribution: Squamata-Snake. Herpetological Review 48(3):591.
- Peña-Peniche, A., D. Lazcano, I. Ruvalcaba-Ortega & L.D. Wilson. 2017. *Crotalus scutulatus* (Kennicott, 1861) (Crotalidae): Diet. Other Contributions Reptilia: Squamata (snakes). Mesoamerican Herpetology 4(3):644-648.
- Lazcano, D., J. Banda Leal & N.M. Alvarado-Moreno. 2017. *Gerrhonotus parvus* Knight and Scudday, 1985. Malformation. Other Contributions Reptilia: Squamata (lizards). Mesoamerican Herpetology 4(3): 632-635.
- Barriga-Ibarra, C., C.A. Aguilera-González, R.E. Mendoza-Alfaro & D. Lazcano. 2017. "Ecotoxicological biomarkers in multiple tissues of the neotenic *Ambystoma* sp for a non-lethal monitoring of contaminant exposure in wildlife and captive populations". Journal of Water, Air, & Soil Pollution 228: 414-425.
- Lazcano, D., D.B. Esquivel-Arévalo, A.I. Heredia-Villarreal, B. Navarro-Velázquez & M. Nevárez de los Reyes. 2017. Notes on Mexican Herpetofauna # 31: Are Roads in Nuevo León, Mexico: Taking Their Toll on Snake Populations II?. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 52(11): 185-194.
- Lazcano, D., E. Bailón-Cuellar, G. Ruiz-Ayma, R. Mercado-Hernández, B. Navarro-Velázquez, D.L. Wilson, G.L. Powell & A.P. Russell. 2017. Texas Horned Lizards (*Phrynosoma cornutum*) as prey in Swainson's hawk (*Buteo swainsoni*) nest sites at La Reserva de la Biosfera de Janos, Chihuahua, Mexico. Mesoamerican Herpetology 4(4):886-900.
- Lazcano, D. & J. Banda Leal. 2017. Comments on the biology of *Gerrhonotus parvus* (Reptilia: Squamata: Anguidae). Other Contributions, Nature Notes. Mesoamerican Herpetology 4(4): 926-929.
- municipality of Tecuala, Nayarit, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 53(4): 73-80.
- Lazcano, D., B. Navarro-Velázquez y M. Nevárez de los Reyes. 2017/2018. Polinización y Dispersión de Semillas por Lagartijas. Planta, 12(23): 38-45.
- García-Bastida, M., D. Lazcano, J.A. Méndez-Tamez & L.D. Wilson. 2018. *Gerrhonotus infernalis* Baird, 1859 (1858). Predation by *Urocyon cinereoargenteus* (Mammalia: Canidae). Other Contributions: Squamata (lizards). Mesoamerican Herpetology 5 (1):157-159.
- Lazcano, D., M. Nevárez de los Reyes & G. Guajardo-Martínez. 2018. *Lithobates berlandieri* (Baird, 1859). Diet. Other Contributions: Family Ranidae). Mesoamerican Herpetology 5 (1):157-159.
- Banda-Leal, J., D. Lazcano, C. Barriga-Vallejo & M. Nevárez-de los Reyes. 2018. New records of *Gerrhonotus parvus* Knight & Scudday, 1985 (Squamata, Anguidae) in the state of Coahuila, Mexico. Check List, 14(3):523-528.
- Dávalos-Martínez, A., D. Cruz-Sáenz, S. Guerrero-Vásquez, L. López-Fernández, J. Banda-Leal & D. Lazcano. 2018. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 18: Noteworthy records of the Wiegmann's Alligator Lizard *Gerrhonotus liocephalus* (Wiegmann, 1828) in Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 53(6):125-130.
- Rojo-Gutiérrez, J.R., D. Jaimes-Rodríguez, D. Cruz-Sáenz, L. López-Fernández, E. Chávez-Uribe & D. Lazcano. 2018. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 19: An update of the herpetofauna of the Volcán Tequila in Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 53(8): 165-169.
- Ortiz-Hernández, T., M.W. Herr, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, M. Black & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution *Apalone spinifer* (Spiny Softshell). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49 (3): 501.
- Ortiz-Hernández, T., M.W. Herr, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, M. Black & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution *Pseudemys gorzugi* (Rio Grande Cooter). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49(3): 502.
- Ortiz-Hernández, T., M.W. Herr, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, M. Black & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution *Trachemys scripta* (Pond Slider). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49(3): 503.
- Ortiz-Hernández, T., M.W. Herr, A. Espinosa Treviño, D. Lazcano, M. Black & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution *Sceiroporus couchii* (Couch's Spiny Lizard). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49(3): 504.
- Baeza-Tarín, F., T. Ortiz-Hernández, L.A. Giovanetto, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution. *Lampropeltis gentilis* (Western Milksnake). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49(3): 505.
- Ortiz-Hernández, T., M.W. Herr, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, M. Black & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution. *Masticophis schotti* (Schott's Whipsnake). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49(3): 506.
- Ortiz-Hernández, T., M.W. Herr, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, M. Black & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution. *Masticophis taeniatus* (Striped Whipsnake). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49(3): 506.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano & A. Espinosa-Treviño. 2018. Geographic Distribution. *Salvadora deserticola* (Big Bend Patch-nosed Snake). Herpetological Review 49(3): 507.
- Baeza-Tarín, F., T. Ortiz-Hernández, L.A. Giovanetto, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, & S.P. Graham. 2018. Geographic

- Distribution. *Tantilla cucullata* (Trans-Pecos Black-headed Snake). MEXICO: COAHUILA. Herpetological Review 49(3): 507–508.
- Baeza-Tarín, F., T. Ortiz-Hernández, L.A. Giovanetto, A. Espinosa-Treviño, D. Lazcano, & S.P. Graham. 2018. Geographic Distribution. (Texas Lyresnake). MEXICO: COAHUILA Herpetological Review 49(3): 508.
- Loc-Barragán, J.A., G.A. Woolrich-Piña & D. Lazcano. 2018. Notes on the Herpetofauna of Nayarit, Mexico 2: Amphibians and Reptiles of Municipality of Compostela, Nayarit, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 53(10): 205–212.
- Myers, E.A., R.W. Bryson Jr., R.W. Hansen, M.L. Aardema, D. Lazcano, F.T. Burbrink. 2018. Exploring Chihuahuan Desert diversification in the gray-banded kingsnake, *Lampropeltis alterna* (Serpentes: Colubridae). Molecular Phylogenetics and Evolution, 131: 211–218.
- Carlos-Gómez, J.A., D. Cruz-Sáenz, E.S. García-Mata, M. Galván-Tadeo & D. Lazcano. 2018. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 20: A new food item for *Masticophis lateralis*, in the municipality of Teuchitlan, Jalisco, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 53(12): 102–113
- Hernández-Bocardo, S.C. & D. Lazcano 2018. *Gerrhonotus parvus* (Pygmy Alligator Lizard) Agonistic Behaviour. Herpetoculture Herpetological Review 49(4): 698–700.
- Lazcano, D., S.C. Hernández-Bocardo & J. Banda Leal. 2018. La Lagartija Pigmea (*Gerrhonotus parvus* Knight & Scudday, 1985) entre la Rocas y la Vegetación. Planta, 14 (25): 23–31.
- ## 2019
- Cruz-Sáenz, D., E. Castro-Espíndola, L. López-Fernández, L.A. Hernández-Dávila, J. Band-Leal & D. Lazcano 2019. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico #21: A Food Item for Tadpoles of *Lithobates neovolcanicus* (Hillis & Frost, 1985). Bulletin of the Chicago Herpetological Society 54(2): 25–28.
- Wilson, L.D. & D. Lazcano. 2019. Exposing the Vital Linkages: The Relationship between the Study of Life and Humanity's Chances for a Future. Biología y Sociedad, 1(3):19–44.
- Valencia-Valdez, J.M., D. Cruz-Sáenz, H. Villarreal-Hernández, L.A. Hernández-Dávila, L.Á. Alcalá-Beltrán & D. Lazcano 2019. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 22: A new food item in the diet of the tree frog (*Agalychnis dacnicolor*): the tarantula: *Bonnetia* sp. (Mexican Blue Beauty), Bulletin of the Chicago Herpetological Society 54(3):49–53.
- Montoya-Ferrer, D. & D. Lazcano 2019. *Crotalus collaris* (Eastern Collared Lizard). Cryptic Behavior. Natural History Note Sauria-Lizard. Herpetological Review 50(1): 139–140.
- Contreras-Lozano, J.A., D. Lazcano & A.J. Contreras- Balderas 2019. Notes of Mexican Herpetofauna 32: Status of the ecological and altitudinal distribution of the herpetofauna in the Sierra de Bustamante, Nuevo Leon, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 54(4):77–82.
- Lazcano, D., M. Nevárez de los Reyes, J.A. García-Salas, P. Mata-Laredo & L.D. Wilson. 2019. Notes on Mexican Herpetofauna 33: A New Record for the Green Ratsnake (*Senticolis triaspis*) from “Cerro de las Mitras” a Sky Island in the Metropolitan Area of Monterrey, Nuevo León, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 54(6): 117–121.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano & L.D. Wilson 2019. *Gerrhonotus ophiurus* MEXICO: Nuevo Leon. Municipality of Linares: Geographic Distribution. Herpetological Review 50(2): 328.
- Arnaud, G., D. Lazcano & L.D. Wilson 2019. Notes on the Herpetofauna of the Northwest of Mexico: Herpetofauna and hurricanes: potential effects on Isla Tortuga, Gulf of California, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 54(7):137–142.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano, E. Centenero-Alcalá, N.E. Sánchez-Morales, M.A. Serra & L.D. Wilson. 2019. *Boa imperator* (Central American Boa Constructor). México: Nuevo León: Municipio de Aramberri. Herpetological Review 50(3):528.
- Nevárez de los Reyes, M., D. Lazcano & L.D. Wilson. 2019. *Gerrhonotus ophiurus* (Smooth-headed Alligator Lizard) Microhabitat. Natural History Notes. Herpetological Review 50(3): 575.
- Loc-Barragán, J.A., Z.I. Sosa-Hernández, C.I. Grünwald, E. Miramontes-Medina, J.A. Bañuelos-Alamillo, G.A. Woolrich-Piña & D. Lazcano 2019. Notes on the Herpetofauna of Nayarit, Mexico 3: Amphibians and Reptiles of the Municipality of Huajicori. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 54(10):205–213.
- Lazcano, D., M. Nevárez-de los Reyes, E. García-Padilla, J.D. Johnson, V. Mata-Silva, D.L. DeSantis & L.D. Wilson 2019. The herpetofauna of Coahuila, Mexico: composition, distribution, and conservation status. Amphibian and Reptile Conservation. Biodiversity Conservation through Sustainability 13(2): 31–94.
- Lazcano, D., S.C. Hernández-Bocardo & L.D. Wilson 2019. Optimizing the design of artificial refuges for the pygmy alligator lizard, *Gerrhonotus parvus* (Knight & Scudday, 1985) in conditions of captivity. Herpetoculture Sauria-Lizard Herpetological Review 50(4):735–739.
- Haro-Galván, S., R. Rosas-Valdez, D. Lazcano, H.B. Avila-Isaías. 2019. *Geophis dugesii* (Dugès Earth Snake) Mexico: Zacatecas. Herpetological Review 50(4):748.
- ## 2020
- López-Martínez, H., U. Romero-Méndez, D. Lazcano, H. Gadsden, V. Ávila-Rodríguez & M.C. García de la Peña. 2020. Estructura genética poblacional de la lagartija arenera *Uma exsul* Schmidt y Bogert, 1947, en el desierto Chihuahuense. Bio tecnia XXI (1): 102–108.
- Lazcano, D., J.A. García-Salas, J. Banda-Leal, L.D. Wilson, S. Favela-Lara, M.E. Solís-Barajas & S. Pacheco-Treviño. 2020. Notes on Mexican Herpetofauna 34: Herpetofauna Associated with Pine Forests in Nuevo León, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 55(2):27–39.
- Guajardo-Welsh, R., D. Lazcano & R.W. Bryson, Jr. 2020. Geographic Distribution. *Lampropeltis leonis* (Nuevo León Kingsnake). MEXICO: SAN LUIS POTOSÍ. Herpetological Review 51(1):80.
- García Mata, E.S., D. Cruz-Sáenz, A. Rodríguez-López, J. Orlando Ríos-Martínez, L.A. Hernández-Dávila, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2020. Notes in Herpetofauna of Western Mexico # 23: Predation by a Pacific Coast Parrot Snake (*Leptophis diplotropis*) on a Milky Treefrog (*Trachycephalus typhonius*) in the municipality Huejutla de Reyes, Hidalgo, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 55(5): 101–105.
- Cruz-Sáenz, D., D. Lazcano, J. Orlando Ríos-Martínez, J.A. García-Salas, A. Rodríguez-López & L.D. Wilson. 2020. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 24: Predation on *Lithobates neovolcanicus* (Hillis & Frost, 1985) by *Quiscalus mexicanus* (Gmelin, 1788) in the Gardens of Guadalajara Zoo, Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 55(8):153–157.

Lazcano, D., S.C. Hernández-Bocardo & L.D. Wilson 2020. Notes on Mexican Herpetofauna 35: Use of Artificial Shelters by Pairs of *Gerrhonotus parvus* Knight and Scudday, 1985 (Squamata: Anguidae), with Notes on Behavior and Interactions in Captivity. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 55(10):192-196.

Lazcano, D., J. Banda-Leal, D. Montoya Ferrer, S.C. Hernández Bocardo & L.D. Wilson. 2020. Notes on Herpetofauna of Mexico 36: *Gerrhonotus parvus* Knight & Scudday, 1985 (Squamata: Anguidae), the pigmy alligator lizard: a new locality in Nuevo León, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 55(11):219-222.

Montoya-Ferrer, D., D. Lazcano, M. Elizabeth Solís-Barrajas, L.D. Wilson. 2020. Natural History. *Drymarchon melanurus* (Central America Indigo Snake). Diet. Herpetological Review 51(4):863-864.

2021

de Luna, M., R. García-Barrios, E.A. Rivas-Mercado, D. Lazcano-Villarreal & D. Montoya-Ferrer. 2021. Las Serpientes Venenosas de Noreste de México I. Cantil de Taylor (*Agkistrodon taylori*). Biología y Sociedad, 3(6):5-15.

Montoya-Ferrer, D., D. Lazcano, J. Banda-Leal, J.M. de Luna-González, P.E. López-Villa & L.D. Wilson. 2021. Notes on the Herpetofauna of Mexico 37: Range extension for Lugo's Alligator Lizard (*Gerrhonotus lugoi*, McCoy, 1970; Squamata: Anguidae), with commentary on its ecological traits. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 56(2):17-20.

García-Padilla, E., D.L. DeSantis, A. Rocha, V. Mata-Silva, J.D. Johnson, L.A. Fucsko, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2021. Mesoamerican Salamanders (Amphibia: Caudata) as a Conservation Focal Group. Biología y Sociedad, 7:43-71.

Hernández-Juárez, E.E., M.E. Solís-Barrajas, M.A. Rivera-Arias, J.A. Salas-García, D. Lazcano & D. Cruz-Sáenz. 2021. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 38: Predation by Central America Indigo Snake (*Drymarchon melanurus erebennus*) on Arid Land Ribbonsnake (*Thamnophis proximus diabolicus*) in the municipality of Juárez, Nuevo León, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 56(10):179-183.

Lazcano, D., A. Trejo-Chávez, K. Ortiz-Morales, J.A. García Salas, L.D. Wilson & L.A. Fucsko. 2021. Subcutaneous Fibrosarcoma on a Rock Rattlesnake (*Crotalus molurus*) in a Captive Colony. Biología y Sociedad, 4(8):45-50.

Banda-Leal, J., M. Nevárez-de los Reyes, C. Barriga-Vallejo, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2021. Notes on the Geographic Distribution of *Trimorphodon tau* Cope 1869 (Squamata: Colubridae) in Nuevo León, Mexico. Check List 17(6):1-5.

Cortés-Vázquez, S., L.C. Nuñez-Carrillo, D. Cruz-Sáenz, A. Rodríguez-López, D. Lazcano, J.A. García-Salas, L.A. Fucsko & L.D. Wilson. 2021. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 25: Predation on the Clouded Anole Lizard (*Norops nebulosus*) by a Ferruginous Pygmy-Owl (*Glaucidium brasilianum*) in Dry Oak Forest in Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 56(7):110-114.

Ramos-León, J., D. Cruz-Sáenz, E.D. Roldán-Olvera, D. Gachuz-Bracamontes, E.E. Hernández-Juárez, A. Rodríguez-López, D. Lazcano, L.A. Fucsko & L.D. Wilson. 2021. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 26: Predation by a Thornscrub Vine Snake (*Oxybelis microphthalmus*) on a Colima Giant Whiptail (*Aspidoscelis communis*) in Bosque de la Primavera, Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 56(11): 197-199.

Blair, C., R.W., Bryson, U.O. García-Vázquez, A. Nieto-Montes, D. Lazcano, J. Klicka & J. McCormack. 2021. Genomic data from alligator lizards elucidate diversification patterns across the Mexican Transition Zone and support the recognition of a new genus. Proceedings of the Royal Society B 20:1-15

de Leon González, M. & D. Lazcano. 2021. *Virgotyphlops braminus* (Brahminy Blindsnakes). Mexico Coahuila. Herpetological Review 52(3):581.

2022

Lazcano, D., J. Banda-Leal, H. Gadsden, G. Castañeda-Gaytán & S.C. Hernández-Bocado. 2022. Thermal Ecology of the pigmy alligator lizard *Gerrhonotus parvus* (Knight & Scudday, 1985) in Nuevo Leon 16(1):14-24

Lazcano, D., B.R. Pérez-González, J.A. García-Salas, E.P. Gómez-Ruiz & L.D. Wilson. 2022. Notes on the Herpetofauna of Western México 39: Updated Inventory of the Herpetofauna of the Chipinque Ecological Park, Located in the Municipalities of San Pedro Garza García and Monterrey, Nuevo León, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 57(2): 17-24.

Montoya-Ferrer, D., E.A. Rivas-Mercado, S. Bárcenas-Arriaga, M. de Luna, R. García-Barrios & D. Lazcano-Villarreal. 2022. Las Serpientes Venenosas del Noreste de México Cascabel Diamantada Occidental (*Crotalus atrox*). Biología y Sociedad 5(9): 29-36.

García-Padilla, E., D.L. DeSantis, A. Rocha, L.A. Fucsko, J.D. Johnson, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2022. Biological and Cultural Diversity in the State of Oaxaca, Mexico: Strategies for Conservation Among Indigenous Communities. Biología y Sociedad, 5(9):49-75.

J.R., Rojo-Gutiérrez, I. Salcido-Rodríguez, D.A. Amaral- Medrano, D. Cruz-Sáenz, A. Rodríguez-López, D. Lazcano, L.A. Fucsko & L.D. Wilson. 2022. Notes on the Herpetofauna of Western México 27: Amphibians and Reptiles of Palo Gordo, Sierra de Tesistán, Zapopan, Jalisco, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 57(6): 109-113.

García-Padilla, E., V. Mata-Silva, I. Villalobos-Juárez, E.A. López- Esquivel, M.C. Lavariega, A. Rocha, D.L. Desantis, A.I. Melgar- Martínez, J.D. Johnson, L. Allison Fucsko, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2022. The amphibians and reptiles of the Los Chimalapas region, Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico: composition, distributional categorization, conservation status, and biodiversity significance. Biología y Sociedad, 5(10):37-76.

Gachuz-Bracamontes, D., E.D. Roldán-Olvera, G. Ramos- León, D. Lazcano, L.D. Wilson, L.A. Fucsko & D. Cruz-Sáenz. 2022. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 28: A case of partial forelimb regeneration in Buller's Spiny lizard: *Sceloporus bulleri* (Boulenger, 1895) at Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán in Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 57(8): 147-151.

Cortés-Vázquez, S., L.C. Nuñez-Carrillo, D. Cruz-Sáenz, M.A. Carasco-Ortiz, A. Rodríguez-López, D. Lazcano, L.A. Fucsko & L.D. Wilson. 2022. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 29: Herpetofauna of Natural Protected Area "El Diente", Zapopan, Jalisco, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 57(10): 177-185.

de Luna, M., R. García-Barrios, G. Guajardo-Martínez & D. Lazcano. 2022. SMILISCA BAUDINII (Common Mexican Treefrog). ENDOPARASITES. Herpetological Review 53(2): 303.

Cruz-Anaya, A., J. Banda-Leal, D. Lazcano, L.A. Fucsko & L.D. Wilson. 2022. Notes on the Herpetofauna of Mexico 40: Predation by Texas Patch-nosed Snake (*Salvadora lineata*)

on Texas Alligator Lizard (*Gerrhonotus infernalis*) in Sierra Zapalinamé in the municipalities of Saltillo and Arteaga, Coahuila, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 57(12): 214-218.

2023

- Zúñiga-Soto, M.F., C. Barriga-Vallejo, D. Lazcano, J. Banda-Leal, P.A. Lavín Murcio, S.A. Terán-Juárez, O.A. Martínez-Arriaga, O. Hinojosa-Falcón, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2023. Notes on the Herpetofauna of Mexico 41: A new range extension of the Plain-necked Glass Lizard *Ophisaurus incomptus* (McConkey, 1955) in the state of Tamaulipas, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 58(2): 21-25.
- Melgar-Martínez, A.I., R. Tarano-González, E. García-Padilla, I. Villalobos-Juárez, M.C. Lavariega & D. Lazcano. 2023. Predation Attempts of the Gray Fox (*Urocyon cinereoargenteus*) and the Neotropical Otter (*Lontra longicaudis*) By the Central American Boa Constrictor (Boa imperator) in the Northern Portion of the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico. Revista Latinoamericana de Herpetología 6(1): 112-115.
- Lazcano, D., P. Lavín-Murcio, K. Peña-Avilés, M. Quiñonez-Martínez, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2023. Notes on the Herpetofauna of Mexico 42: An Incident of Hail Killing a *Crotalus viridis* in Chihuahua, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 58(5):65-68.
- Melgar-Martínez, A.I., F. Ruan-Soto, E. Chankin-Chankayun, E. García-Padilla, I. Villalobos-Juárez, V. Mata-Silva, E.A. López-Esquivel, L.A. Fuscso, M.C. Lavariega, J.D. Johnson, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2023. The Amphibians and Reptiles of the Northern Selva Lacandona: Nahá and Metzabok, Ocosingo, Chiapas, México; with some Ethnoherpetological notes. Biología & Sociedad, 6(12): 48-79.
- Vargas-Ramírez, H.A., D.M. Arenas-Moreno & D. Lazcano. 2023. Esfuerzo reproductor de la lagartija caimán (*Gerrhonotus infernalis* (Baird, 1859) (SQUAMATA: ANGUIDAE). Reproductive effort of the alligator lizard (*Gerrhonotus infernalis* (Baird, 1859) (SQUAMATA: ANGUIDAE). Revista Latinoamericana de Herpetología 6(2): 230-235.
- Lazcano, D., J. Esqueda, J.R. Castilla-Arciniega, M.F. Soto-Zúñiga, E.P. Gómez-Ruiz, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2023 Notes on the Herpetofauna of Mexico 43: Predation by the White-nose coati (*Nasua narica*) on the Texas Alligator Lizard (*Gerrhonotus infernalis* Baird, 1859 (1858) in the Parque Ecológico Chipinque, Municipalities of San Pedro Garza García and Monterrey, Nuevo León, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 58(7): 109-113.
- Torres-Valencia, E., D. Cruz-Sáenz, E.E. Hernández-Juárez, D. Lazcano, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2023. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 30: Predation by the White-nosed Coati (*Nasua narica*) on the Western Spiny-tailed Iguana (*Ctenosaura pectinata*) in a western dry forest in La Huerta, Chamela, Jalisco, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 58(8): 131-134.
- Salcido-Rodríguez, I., F.I. Hernández-Valadez, D. Cruz-Sáenz, E.E. Hernández-Juárez, D. Lazcano, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2023. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 31: Herpetofauna from Sierra de Tesistán, Zapopan, Jalisco, México. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 58(10): 165-171.
- Montoya-Ferrer, D., S.C. Hernández-Bocardo & D. Lazcano-Villarreal. 2023. *Lampropeltis alterna* (Grey-banded Kingsnake). DIET. Herpetological Review 54(4):686-687.

2024

- García-Padilla, E., I. Villalobos-Juárez & D. Lazcano 2024. Apuntes sobre la presencia de la víbora de cascabel de las rocas tamaulipeca (*Crotalus morulus*) en Tamaulipas. Biología y Sociedad 7(13):22-47.
- Ruiz-Álvarez, R.M., D. Cruz-Sáenz, E.E. Hernández-Juárez, D. Lazcano, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2024. Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 32: First Record of Albinism in Sheep Frogs (*Hypopachus variolosus*) in Jalisco, Mexico. Para: Bulletin of the Chicago Herpetological Society 59(1): 9-11
- Lazcano, D., P.L. Murcio, R.F. Alvidrez-Heredia, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2024 Notes on the Herpetofauna of Mexico 44: Predation by the Coachwhip (*Masticophis flagellum*) on the Northern Mojave Rattlesnake (*Crotalus scutulatus*) in the municipality of Parral, Chihuahua, Mexico. Para: Bulletin of the Chicago Herpetological Society 59(3): 45-52.
- Ferrer-Montoya, D., D. Lazcano, S. Hernandez-Bocardo, L.A. Fuscso & L.D. Wilson. 2024. Notes on the Herpetofauna of Mexico 45: Predation by the Desert Kingsnake (*Lampropeltis splendida*) on the Gopher Bullsake (*Pituophis catenifer*) in the municipality of Mina, Nuevo León, Mexico. Bulletin of the Chicago Herpetological Society 59(6):87-94.
- García-Padilla, E., I. Villalobos-Juárez, G. Arnaud & D. Lazcano. 2024. Natural History and Conservation status of *Crotalus pyrrhus* Cope, 1866 (Squamata: Viperidae) from Isla El Muerto, Gulf of California, Mexico. Biología y Sociedad, 7(14): 83-93.

MANUSCRITOS SOMETIDOS 2024

- Mata-Silva, V., L.A. Fuscso, A.B. Gatica Colima, M. Nevárez-de los Reyes, D. Lazcano, A. Peralta García, J. Valdez Villavicencio, L.W. Porras, D.L. Desantis, A. Rocha, J.D. Johnson & U. Hernández-Salinas. 2024. Biological connections: The uncertain future of the threatened U.S.-Mexico border region herpetofauna. Summited Zootaxa
- García-Bastida, M., D. Lazcano, L.D. Wilson & D.M. Arenas Moreno. 2024. Ecological aspects of the Texas Alligator lizard *Gerrhonotus infernalis* from a population in Sierra Madre Oriental, Nuevo León, Mexico". Not yet submitted. Para: Revista Latinoamericana de Herpetología.
- Arnaud, G., D. Lazcano, L.D. Wilson & I. Recchio. 2024. The Herpetofauna of Isla Catalana, Gulf of California, México. Para: Acta Zoologica (x): Not yet submitted.
- Lazcano, D., H.A. Vargas-Ramírez, A.C. Alan Moreira, M. Martínez & L.A. Fuscso. 2024. Esfuerzo reproductor de la mano de metate (*Metlapilcoatlus olmec*) (Pérez-Higareda, H.M. Smith & Juliá-Zertuche, 1985). submitted Revista Latinoamericana de Herpetología
- Flores-Covarrubias, E., D. Cruz-Sáenz, D. Lazcano & L.D. Wilson. 2024. Herpetofauna Richness in the Different Vegetation and Altitude Gradients in the Municipality of Hostotipaquillo, Jalisco, México. Not yet submitted. Revista Latinoamericana de Herpetología
- Haro-Galván, P.S., R. Rosas-Valdez, D. Lazcano & H.B. Avila-Isáis. Distributional range extension of *Geophis dugesii* Bocourt, 883 (Squamata, Dipsadidae) in Zacatecas, Mexico Para: Herpetological Review. summited.
- García-Padilla, E., I. Villalobos-Juárez & D. Lazcano. 2024. Las serpientes de cascabel mexicanas: del culto al odio Para: Aun no se decide a donde se enviará.



Biología y Sociedad



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FCB



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS