

Biología y Sociedad



Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario General

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario Académico

Dr. José Javier Villarreal Tostado
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Publicaciones

Dr. José Ignacio González Rojas
Director de la Facultad de Ciencias Biológicas

Cuerpo Editorial de Biología y Sociedad

Dr. Jesús Ángel de León González
Editor en Jefe

Dra. María Elena García-Garza
Editor Técnico

Editores adjuntos:

Dr. Juan Gabriel Báez-González
Alimentos

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

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

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

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

Jorge Ortega Villegas
Diseñador Gráfico

Ing. Jorge Alberto Ibarra Rodríguez
Página web

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD, año 7, No. 14, segundo semestre de 2024, 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, biologiyasociedad@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 reflejan 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

MUSEOS DE HISTORIA NATURAL, TAXONOMÍA, COLECCIONES BIOLÓGICAS Y PLAN DE ACCIÓN	4
FENÓMENOS PARANORMALES Y SU ACERCAMIENTO CIENTÍFICO: CUATRO EJEMPLOS HISTÓRICOS Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD	18
POTENCIAL NUTRICIONAL Y TERAPÉUTICO DE LA TUNA Y DE SUS SUBPRODUCTOS:	26
UN PANORAMA GENERAL DE SU COMPOSICIÓN QUÍMICA Y APLICACIONES	26
LA DESAPERCIBIDA VIDA SILVESTRE DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC	44
ICHTHYOFAUNA DIVERSITY OF THE BUSTAMANTE RIVER, NUEVO LEON, MEXICO. PRIORITY LAND REGION FOR THE STATE	53
LOS ACEITES ESENCIALES COMO ALTERNATIVA NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES VIRALES	61
DEPREDACIÓN DE NIDOS ARTIFICIALES DE COTURNIX COTURNIX EN UN BOSQUE URBANO DE SANTO DOMINGO, PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS - ECUADOR	74
NATURAL HISTORY AND CONSERVATION STATUS OF <i>CROTALUS PYRRHUS</i> COPE, 1866 (SQUAMATA: VIPERIDAE) FROM ISLA EL MUERTO, GULF OF CALIFORNIA, MEXICO	81
LA CATÁSTROFE CLIMÁTICA COMO PROFECÍA SECULAR Y MILENARIA	94
SOBRE LOS AUTORES	104

EDITORIAL

En el catorceavo número de *Biología y Sociedad* nos agrada compartir una colección de artículos que tratan sobre una gran diversidad de temas que van desde los Museos de historia natural, colecciones biológicas y un plan de acción para que sean incorporados en la nueva Ley de Ciencia en México, en este trabajo los autores incluyen recomendaciones para una mejora en el establecimiento y gestión futura en estos recintos dedicados a la preservación de la biodiversidad. En una segunda aportación, los autores nos adentran en los fenómenos paranormales, ideas ampliamente arraigadas en un amplio sector de la sociedad, incluyen información de cuatro ejemplos históricos, concluyendo que el pensamiento científico se debería incentivar en la sociedad. Otro trabajo a destacar es el dedicado a la "tuna", en donde los autores nos proporcionan información sobre el potencial nutricional y terapéutico de este fruto. Damos un salto en el siguiente trabajo hacia la vida silvestre del bosque de Chapultepec, los autores nos detallan cambios sustanciales en la vegetación original del bosque, lo cual ha traído consigo pérdida del elenco biológico de ese lugar, sin embargo, destacan la presencia actual de una gran cantidad de especies de insectos, aves, reptiles y anfibios. Vemos con interés la diversidad de la ictiofauna del Río Bustamante en el estado de Nuevo León, un río que está supeditado a inundaciones y que se encuentra en el Cañón de Bustamante. En este trabajo, los autores destacan la presencia de dos especies que se encuentran en calidad de amenazadas y en calidad de protección dentro de las normas nacionales, y tres especies consideradas exóticas. En otra entrega los autores nos adentran al estudio de los aceites esenciales como alternativa para el tratamiento de enfermedades producidas por virus.



Destacan que la principal línea de defensa contra esos agentes infecciosos es el sistema inmunológico. Nos proporcionan ejemplos de estudios en los que se ha evaluado el potencial de los aceites esenciales como antivirales. En el siguiente trabajo nos hablan sobre las aves en el ambiente urbano y su capacidad de sobrevivencia a factores como la depredación de nidos. En este estudio, los autores realizaron ensayos colocando un número de nidos artificiales en un parque urbano en Ecuador y nos proporcionan resultados realmente alarmantes, por lo que las autoridades o tomadores de decisiones deberían concientizarse y evitar la baja poblacional de la orinitofauna en un futuro próximo. En otro trabajo el autor nos habla sobre el cambio climático y los movimientos sociales que están alrededor de él. Comenta sobre un ensayo escrito en 1983 por Michael Barkun sobre el "*nuevo apocalipycismo*", comenta extractos del escrito haciendo relación a los debates actuales y sus proyecciones catastróficas. Por último, encontraremos un artículo que trata sobre el estado de conservación de una serpiente de cascabel endémica de una isla en el Golfo de California, en este trabajo los autores proporcionan datos alarmantes sobre su densidad y el peligro que tienen para sobrevivir como especie.

Muy lamentable la noticia del fallecimiento del Dr. Larry David Wilson, en este número presentamos su último trabajo en vida y la sección de In Memoriam dedicada a su obra, nosotros en *Biología y Sociedad* tenemos un gran aprecio y cariño hacia el Dr. Wilson, dado que fue un colaborador constante aún en los tiempos en que apenas iniciaba nuestra revista y no contábamos con ISSN. A él y al grupo de herpetólogos que encabezaba les estaremos eternamente agradecidos. Descanse en Paz el Dr. Larry D. Wilson.

DR. JESÚS ANGEL DE LEÓN-GONZÁLEZ
Editor en Jefe



MUSEOS DE HISTORIA NATURAL, TAXONOMÍA, COLECCIONES BIOLÓGICAS Y PLAN DE ACCIÓN

YESSICA CHÁVEZ-LÓPEZ, LUIS D. RAMÍREZ-GUILLÉN, JUAN J. SCHMITTER-SOTO, LUIS F. CARRERA-PARRA Y SERGIO I. SALAZAR-VALLEJO*

Depto. Sistemática y Ecología Acuática / El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, México *Correspondencia: ssalazar@ecosur.mx





Museos de Historia Natural en EEUU y Europa / fotos: Sergio I. Salazar-Vallejo



Museum of Comparative Zoology
HARVARD



naturhistorisches
museum wien nhm



Musée
océanographique
de Monaco



RESUMEN

La nueva Ley de Ciencia en México considera establecer jardines etnobotánicos en cada estado del país. Consideramos que la iniciativa debería ampliarse para incorporar museos de historia natural y colecciones biológicas debido a su importancia para la educación e investigación, incluyendo su consolidación o establecimiento en donde no los haya. También hacemos una breve exposición sobre la importancia de la taxonomía, y de las colecciones biológicas. Completamos la reflexión con algunas recomendaciones para un plan de acción que mejore el establecimiento y gestión futuros de estas actividades o instituciones.

INTRODUCCIÓN

La lectura de una nota reciente sobre la condición del Museo de Londres (Naggs, 2022) y de una propuesta para organizar las colecciones biológicas en Italia (Andreone *et al.*, 2022) motivaron la reflexión colectiva que estamos presentando en esta ocasión. Además, la publicación de la nueva ley de ciencia en México (Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, DOF 2023, 8 mayo 2023), también nos pareció muy relevante por incorporar la “constitución y consolidación de una Red Nacional de Jardines Etnobiológicos” (Art. 53), aunque no se consideró un esfuerzo similar para los museos de historia natural. Entonces, porque nos interesa la salvaguarda y mejora de las colecciones biológicas y el establecimiento de museos de historia natural en cada estado, presentamos algunas recomendaciones para potenciar un reconocimiento similar por el Estado mexicano, los gobiernos estatales, y para el futuro de la taxonomía y las colecciones biológicas.





MUSEOS DE HISTORIA NATURAL

El primer museo público de historia natural fue realizado por Daniel Solander (1753-1768) como base para lo que sería el Museo de Historia Natural de Londres (Rose, 2018). No sorprende que la importancia educativa de los museos de historia natural ha sido reconocida por lo menos desde hace un siglo (Baker, 1923) y esta relevancia no sólo se ha mantenido vigente, sino que se ha incrementado (Novacek & Goldberg, 2013). Hace un siglo, en los Estados Unidos, de un total de 600 museos, unos 230 pertenecían a las universidades y su situación era crítica dado que un 90% de los museos universitarios no tenían mantenimiento adecuado. Baker (1923: 55) indicó que una explicación era que las actividades de investigación se habían movido a cuestiones más modernas como la genética, biología experimental o evolución, con lo que se abandonó el estudio de los materiales de los museos. Baker (1923: 56) también consideró que la solución era organizacional y propuso que se establecieran departamentos independientes en todas las universidades que contasen con museos, bajo el auspicio de la Asociación Estadounidense de Museos y, seguir las recomendaciones para su administración (Brown-Goode, 1895). Baker (1923: 56) enfatizó, además, que esas iniciativas deberían incorporar mecanismos de educación visual con exhibiciones, una recomendación que llama la atención por la época en la que había radios, pero no televisiones ni los modernos aparatos que potencian la observación directa, como las computadoras y los teléfonos celulares. Por otro lado, el autor referido comentó que los cursos en sistemática no podían concebirse sin acceso a materiales de colecciones, las que, en conjunto con mapas y otros diagramas sobre la evolución, deberían mostrarse con la mayor calidad posible. Otra idea que le pareció relevante incorporar fue la del control de las plagas de los principales cultivos de la región en la que se ubican las instituciones, así como presentar cuestiones sobre la geología o antropología regionales, a lo que se podría agregar las especies endémicas más interesantes, relevantes o amenazadas. También comentó que otra parte importante de los museos era la investigación científica (Baker, 1923: 57), que además de contar con por lo menos un curador encargado, debería tener un presupuesto de unos 2,000 dólares anuales (equivalentes a unos 30,000 dólares actuales). Esta propuesta influyó, sin duda, para que muchos museos se convirtieran en centros de investigación (Mares, 1993).

Además del reconocimiento de su relevancia en educación e investigación, los museos de historia natural adquirieron en las últimas décadas del siglo XX un papel destacado en los esfuerzos por conservar la

biodiversidad. Por ejemplo, en el Estado de São Paulo, Brasil, de 1980 a la fecha no sólo se han apoyado 118 proyectos de investigación relacionados con colecciones biológicas, sino que se buscó invertir mediante el programa BIOTA de la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo (BIOTA-FAPESP). Se enfocaron en la formación de especialistas en grupos taxonómicos poco atendidos; la justificación de este esfuerzo fue, explícitamente, que los museos de historia natural son esenciales para mejorar nuestro conocimiento de la biodiversidad y los servicios ambientales que nos brinda (Percequillo *et al.*, 2022).

Numerosos autores (e.g. Kemp, 2015) han observado que este papel imprescindible de los museos para documentar la biodiversidad amenazada está, en sí mismo, amenazado. Un ejemplo entre muchísimos es el del Museo Field de Chicago, que ha perdido a la mitad de sus curadores de colecciones biológicas desde 2001 (Kemp, 2015: 292). Si la situación es dramática en EEUU y Europa, ¿qué podemos esperar en México? El objetivo del presente texto es argumentar sobre la importancia estratégica de los museos de historia natural, explicar la relevancia de la taxonomía y colecciones biológicas, y proponer acciones específicas en el caso de México para un mejor futuro.

Consideramos que es deseable fortalecer los museos activos por parte de los gobiernos estatales, e impulsar el establecimiento en los estados que no los tengan. Esta sería una gestión con las secretarías de educación y del ambiente en cada estado, dado que su función primordial sería la difusión de los ecosistemas regionales y sobre la relevancia de las especies críticas en los mismos. Para este fin, es esencial la participación de los colegios de biólogos, o de las facultades de biología de las universidades locales, y del respaldo financiero de los empresarios en cada estado.

El Museo de Historia Natural de la Ciudad de México fue fundado por el presidente Guadalupe Victoria el 18 de marzo de 1825 en la entonces Real y Pontificia Universidad de México (CONABIO, 2023a; Vega, 2011). El emperador Maximiliano de Habsburgo creó el Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia con las colecciones del universitario, en la antigua Casa de Moneda, y fue inaugurado el 6 de julio de 1866. El museo se clausuró en 1867. Luego del triunfo de Benito Juárez se reanudaron actividades y en 1870 había derivado en museo de historia natural, de antigüedades y de historia, y en él sesionaba la Sociedad Mexicana de Historia Natural, creada el 29 de agosto de 1868 (Anón, 2018).

Porfirio Díaz dividió las colecciones del museo en dos; trasladó los objetos históricos al Museo Nacional de

Antropología en Chapultepec, y la colección de historia natural se ubicó en el entonces llamado Palacio de Cristal, o Museo del Chopo. Caso (1961) realizó una propuesta para establecer un museo de historia natural en la universidad nacional, pero no cristalizó. En 1964 se cerró el museo y las colecciones se repartieron en el Museo de Historia Natural de Chapultepec y el Museo de Geología del Instituto de Geología de la UNAM, aunque en el portal del Instituto de Biología, se indica que algunas colecciones se fundaron en 1929, en parte con el acervo del museo del Chopo. Otra propuesta de organización, realizada al iniciar la segunda guerra mundial (Parr, 1939), indicaba que en lugar de la presentación de grupos taxonómicos, la organización de las exhibiciones debería ser por la presentación de los ambientes regionales, incluidas las especies principales. Es interesante que el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México organizó sus dioramas y vitrinas de acuerdo con ambas propuestas, por grupos taxonómicos y por biomas, tanto mundiales como específicos de "la entidad fisiográfica denominada Valle de México" (Barrera, 1965).

Para la reinauguración en 1964, se contó con el respaldo de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional y el proceso fue encabezado por Dionisio Peláez (1963-1964). Desde 2016, la dirección la ocupa Laura M. Jiménez del Arco. La colección más importante es la Colección Nacional de Insectos Dr. Alfredo Barrera Marín, primer director del museo (1964-1974), que cuenta con unos 60,000 ejemplares.

Ha habido varios esfuerzos similares en varias ciudades mexicanas. Así, entre los 33 museos enlistados por TripAdvisor (2023), que incluyen secciones de exhibición de la naturaleza se pueden destacar los siguientes:

- Museo de Historia Natural, Ciudad de México.
- Museo de Historia Natural, Villahermosa, Tab.
- Museo de la Evolución, Tehuacán, Puebla.
- Museo de la Isla de Cozumel, Q. Roo.
- Museo de Paleontología, Guadalajara, Jal.
- Museo de Paleontología, Múzquiz, Coah.
- Museo del Desierto, Delicias, Chih.
- Museo del Mamut, Chihuahua, Chih.
- Museo Paleontológico de Tocuila, Texcoco, Edo. Méx.
- Parque Museo La Venta, Villahermosa, Tab.

Algunas universidades tienen museos de historia natural. La Universidad Michoacana reabrió el suyo en 2021. En 2023 se inauguraron 3 nuevas salas en el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México con fondos de la Fundación Mary Street Jenkins, y con financiamiento de la Fundación Carlos Slim, se estableció el Pabellón Nacional de la Biodiversidad.

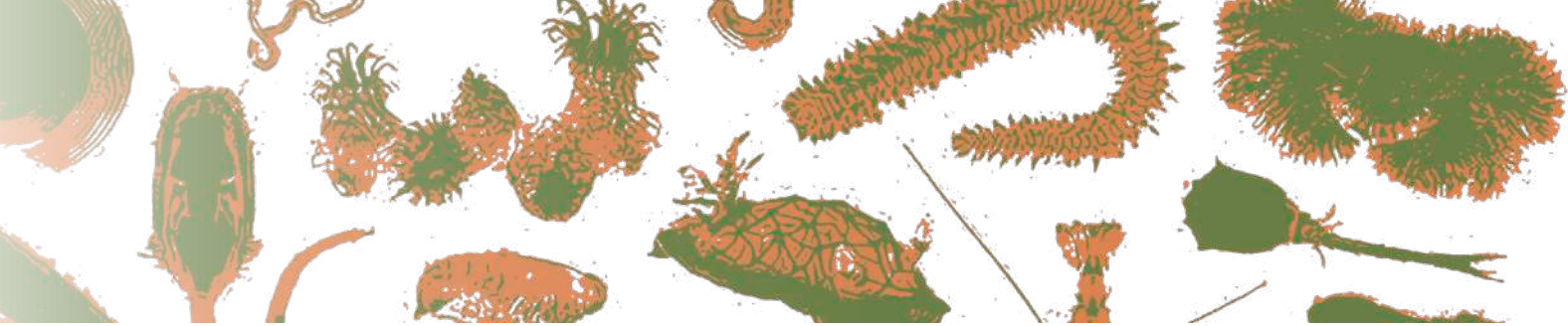
No obstante, hacen falta mayores esfuerzos, y mejor coordinados, en la mayoría de los estados del país.

TAXONOMÍA

La observación y diferenciación de las plantas y los animales es una de las prácticas más antiguas de los humanos. Movidos por la curiosidad o por la necesidad de sobrevivir, comenzamos a clasificar a los organismos en útiles o dañinos (Faugère & Mauz, 2013, Salazar-Vallejo & González, 2020). La primera clasificación de los seres vivos fue propuesta en la antigua Grecia por Aristóteles, quien agrupó la naturaleza en dos reinos: el reino animal y el vegetal (Godfray, 2002). Sin embargo, no fue hasta el siglo XVII que esta práctica comenzó a considerarse como una disciplina científica, gracias a dos obras fundamentales de Linneo: *Species Plantarum* en 1753 para la taxonomía botánica, y la décima edición de *Systema Naturae* en 1758 para la zoológica (Salazar-Vallejo & González, 2020). En estos libros, Linneo no solo incluyó la flora y fauna global, sino que introdujo una forma binaria para nombrar a las especies, conocida actualmente como sistema de nomenclatura binomial.

Para el siglo XIX, la taxonomía estaba en su época de oro. Se produjo un apogeo de numerosas sociedades, se promovió el establecimiento y luego el financiamiento de las colecciones nacionales de historia natural, se fomentaron grandes viajes de expedición y recolectas, y se incrementó significativamente el número de publicaciones taxonómicas, así como el número de especies descritas (Michán & Llorente, 2003; Faugère & Mauz, 2013). Sin embargo, a menudo los taxónomos ignoraban el trabajo de los demás, por lo que la confusión y el caos también aumentó (Godfray, 2002). Fue entonces cuando se empezaron a hacer los primeros esfuerzos para establecer un conjunto de reglas, publicándose en 1843 la primera propuesta para un código internacional de nomenclatura zoológica: el Código Strickland (Rookmaaker, 2011), mismo que luego de varias reuniones internacionales, dio lugar a la primera edición del Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, publicada en 1961.

El enfoque descriptivo de la taxonomía propició el conocimiento de las variaciones interespecíficas y de los caracteres hereditarios en las especies, con lo que se promovió el desarrollo de las teorías evolutivas. No obstante, frente a la competencia de disciplinas biológicas experimentales, en el siglo XX la sistemática comenzó a ser objeto de violentas críticas dirigidas principalmente a la aparente falta de objetividad, que fue atribuida al enfoque meramente descriptivo y a la aparente lentitud con la que se describen y nombran especies (Barberousse & Samadi, 2013; Faugère &



Mauz, 2013). Línea divisoria en la comunidad biológica y la taxonomía comenzó a menguar. Los recursos financieros empezaron a disminuir, y el desprecio hacia la taxonomía por parte del resto de las disciplinas biológicas se incrementó, hasta ser considerada como una disciplina en crisis (Barberousse & Samadi, 2013; Packer *et al.*, 2009).

Si consideramos que en los dos siglos de práctica taxonómica se han descrito cerca de 2 millones de especies, y que con la crisis de la biodiversidad actual muchas especies desaparecerán antes de ser descubiertas, entonces la taxonomía debería ser de las principales ciencias de interés. No obstante, a pesar de la gran importancia en estos días por conocer y enlistar a toda la biodiversidad del planeta, el escenario mundial no es positivo y parece contradictorio.

Actualmente, el verdadero impedimento taxonómico corresponde a la insuficiencia e inadecuación de los recursos puestos al servicio de la taxonomía, y no a la falta de eficiencia taxonómica para afrontar la crisis de la biodiversidad, como ha sido erróneamente percibido (Engel *et al.*, 2021). El financiamiento para realizar trabajos de investigación taxonómica se ha reducido. Además, los museos han sufrido considerablemente por la falta de personal; al mismo tiempo que sus colecciones incrementan su acervo y adquieren más valor, se deterioran por la falta de recursos para su mantenimiento. Se ha reducido la cantidad de cursos relacionados con taxonomía o sistemática (ver 'Escuelas de biología en México') extendiéndose a una pérdida de la base de conocimientos taxonómicos en términos de personal capaz de reconocer y describir la biodiversidad (Packer *et al.* 2009). Sumado a esto, los problemas actuales para publicar trabajos morfológicos sin datos moleculares dificultan y retrasan la transmisión del conocimiento. La mayoría de las revistas científicas que publican trabajos sistemáticos cuentan con bajos factores de impacto, lo que, pese a las críticas generalizadas, sigue pareciendo indispensable para indicar la relevancia de las publicaciones científicas.

No está de más decir que la taxonomía juega un papel fundamental en la mayoría de las áreas de las ciencias naturales. Esta disciplina no solamente brinda un lenguaje universal que facilita la transmisión y aplicación del conocimiento, sino que es la encargada de nombrar, describir y clasificar la biodiversidad del planeta en un sistema que refleje las relaciones naturales de los organismos. Lo anterior convierte a la taxonomía en un campo altamente integrador de las ciencias biológicas, pues además de describir y nombrar especies, los taxónomos participan a menudo en la determinación del papel ecológico de las especies, su evolución, biología

y hábitos (Löbl *et al.*, 2023). Y aunque se podría haber considerado como una ciencia estática y anticuada, la taxonomía está en constante cambio.

MÉXICO MEGADIVERSO: RESPONSABILIDAD Y COMPROMISO MUNDIALES

Además de la falta de taxónomos especialistas, la insuficiencia o, en algunas regiones, franca ausencia de museos de historia natural con colecciones biológicas se ha señalado como el principal cuello de botella para la exploración, conservación y uso de la biodiversidad en los denominados países en desarrollo y biológicamente megadiversos (Paknia *et al.*, 2015: 619). México es uno de estos países. Ello se debe a la complejidad fisiográfica del país, con desiertos y selvas, llanuras y montañas, y a la conjunción de dos regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical, que forman la Zona de Transición Mexicana (Escalante, 2009: 557). México también tiene costas en los océanos Pacífico y Atlántico, divisibles en nueve ecorregiones marinas: Sur de California, Mar de Cortez, Transición Magdalena, Revillagigedo, Pacífico tropical mexicano, Chiapas-Nicaragua, norte del Golfo de México, sur del Golfo de México y Caribe occidental (Spalding *et al.*, 2007).

Esta heterogeneidad biogeográfica y macroecológica se refleja en que la megadiversidad del país no sólo se basa en el número de especies, sino en el de endemismos. Por riqueza de tetrápodos México ocupa el cuarto lugar mundial, detrás de Colombia, Brasil e Indonesia; por número de especies endémicas, el sexto, detrás de Australia y China además de los ya citados (Mittermeier *et al.*, 1997). Incluso en el grupo de los peces teleósteos, donde los países del sureste asiático destacan tanto en el arrecife como en los ríos, recientemente se demostró que México está entre los primeros ocho países (Page *et al.*, 2023).

En otros grupos zoológicos o botánicos la comparación es más aventurada debido a la desigualdad de los datos disponibles por país. Empero, si consideramos los "puntos calientes" o hotspots (Myers *et al.*, 2000); es decir, si hay diversidad alta de algunos taxones en cierta área, se puede inferir que en esa área también habrá diversidad alta de otros grupos; entonces, es probable que México sea también especialmente diverso en grupos de invertebrados. En efecto, hay por lo menos tres grandes hotspots mexicanos continentales: la Provincia Florística de California, los bosques de pino-encino de la Sierra Madre y el Eje Neovolcánico, y Mesoamérica Nuclear (Koleff *et al.*, 2007). Esta megadiversidad mexicana es, desde luego, responsabilidad nacional, pero también mundial, como lo señaló Mares (1993: 367; ver abajo).

Por lo antes expuesto, proponemos que un sistema nacional de colecciones biológicas en naciones como la nuestra tendría una relevancia mayor que en el denominado “Primer Mundo” como bien lo argumentó Mares (1993), y que la promulgación de la nueva Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnología e Innovación (DOF, 2023), la cual contempla una red nacional de jardines etnobiológicos, es una oportunidad atractiva para atender esta necesidad.

ESCUELAS DE BIOLOGÍA EN MÉXICO: TAXONOMÍA Y COLECCIONES.

En la República Mexicana hay por lo menos 77 alternativas para la formación profesional en carreras dedicadas al estudio de la biodiversidad, entre ellas biología, ciencias biológicas e hidrobiología (Apéndice). De estas, el 88% de las carreras se encuentran en escuelas públicas distribuidas en prácticamente todos los estados, excepto Coahuila (Fig. 1A). La Ciudad de México cuenta con la mayor oferta educativa (8 opciones), seguida por Veracruz y Oaxaca (7 y 6 opciones, respectivamente).

Con respecto a la formación profesional, 83% corresponde a la Licenciatura en Biología y Biología Marina (Fig. 1B), mientras que 6 carreras más, como biología pesquera (UAS, Sinaloa), hidrobiología (UAM, CMX) e ingeniería en Ciencias Biológicas (Arkansas State University, Querétaro) se imparten en una sola institución (Apéndice).

Explorando un poco más los planes de estudio de cada licenciatura, particularmente en el entrenamiento en taxonomía, encontramos que el 58% de las carreras incluyen cursos obligatorios sobre el tema, y que solo el 8% incluye cursos obligatorios y optativos. Lo sorprendente es ver que más del 30% de las carreras de biología no incluyen ningún curso de taxonomía (Fig. 1C). El alto porcentaje de licenciaturas sin cursos de taxonomía refleja la falta de atención a esta disciplina en la formación académica de México.

Sin embargo, suponemos que incluso en las escuelas más recientes hay colecciones biológicas que merecen consolidarse. Las colecciones pueden ser botánicas, zoológicas y jardines botánicos. Dichas colecciones pueden separarse en varios rubros según la profundidad del trabajo de identificación invertido en cada una de ellas. Las colecciones de docencia tienen materiales identificados a niveles taxonómicos mayores que pueden ser de familia a filo, y su importancia radica en que muestran los patrones morfológicos de los grupos considerados en los cursos de licenciatura (botánica o zoología). Las colecciones de referencia o científica tienen orígenes similares, y la principal distinción quizá ocurra a lo largo del tiempo; así, las de referencia pueden emanar de un trabajo de tesis de licenciatura y el material se identifica a nivel taxonómico de género o especies. Si en el laboratorio persiste el interés en el grupo, lo que se manifiesta al mantener tesis derivadas de la inicial, u otras con objetivos geográficos más amplios como para complementar el panorama de una unidad natural, región biogeográfica,

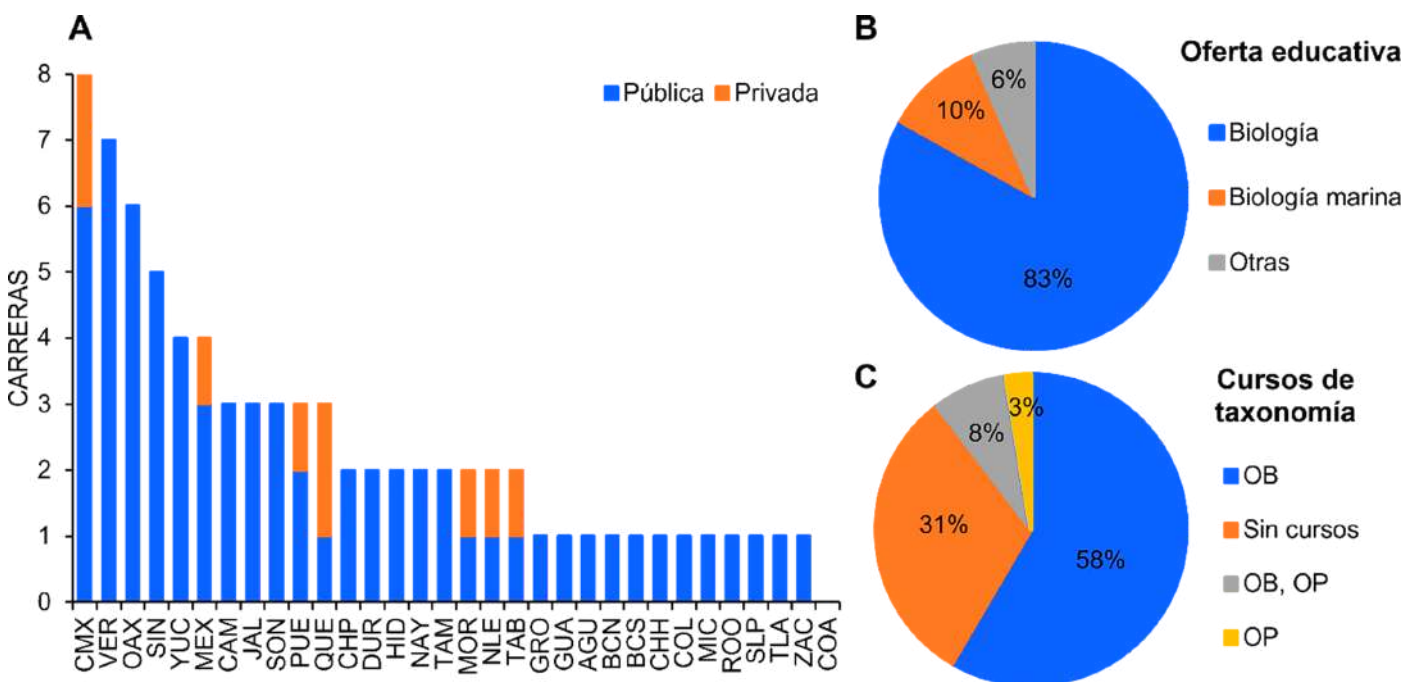


Figura 1. Licenciaturas de Biología y afines en México. A, Carreras por Estados (nombre abreviado a tres letras). B, Oferta educativa. C, Cursos de taxonomía o sistemática (OB: cursos obligatorios, OP: optativos; ver apéndice).



o estado, entonces la colección crecerá de manera más organizada, y se seguirán los mejores estándares para su estudio y almacenamiento. La generación de bases de datos, catálogos ilustrados, floras o faunas, catalizarán el desarrollo de las colecciones y se convertirán en colecciones científicas, aunque como ya se anotó, se trata de un proceso gradual.

El acervo de las colecciones también crece con los aportes de investigaciones ecológicas, ya que las especies encontradas deben ser representadas en las colecciones como materiales de referencia o vouchers.

En realidad, la mayoría de las escuelas de Biología cuentan con colecciones y herbarios en distinto nivel de desarrollo. Aquellas a las que se les ha invertido mayor tiempo y recursos, tendrán una mejor representación geográfica y contenido de especies. Por desgracia, muchas de ellas son desechadas una vez que el personal que la estableció o impulsó se retira o muere, por lo que se pierde una gran cantidad de información y experiencia. Entonces, necesitamos una estrategia nacional para fortalecer el trabajo taxonómico a través de la consolidación y crecimiento de las colecciones biológicas. Esto es algo que podríamos conseguir al establecer un centro nacional de colecciones biológicas en el CONAHCYT.

CENTRO NACIONAL DE COLECCIONES BIOLÓGICAS

CONABIO (Comisión Nacional para el Aprovechamiento y Uso de la Biodiversidad) realizó un inventario de las colecciones nacionales en 1996-1998 y mostró que había 747 colecciones en 237 instituciones (Llorente *et al.*, 1999). Llama la atención que enfatizaran la necesidad de incrementar el esfuerzo informático para generar bases de datos, pero que no se indicara la necesidad de un plan nacional para la consolidación de las colecciones. Ese esfuerzo también generó un catálogo extraordinario con esa información (<https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/InstyColecc>) y esa compilación puede usarse como base para cualquier iniciativa futura. Pasaron 25 años y aunque hubo varios fondos disponibles para colecciones de la Universidad Nacional Autónoma de México, de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y seguramente de otras instituciones, no se lanzó una iniciativa nacional desde CONABIO.

Como experiencia aleccionadora, vale la pena asomarse a las experiencias en los Estados Unidos y en Europa. El 9 de agosto del 2022 se aprobó el establecimiento, en la Fundación Nacional de Ciencias, de un Centro de Acción

para las Colecciones Biológicas, junto con la aprobación de duplicar el presupuesto correspondiente. La iniciativa es centralista y los fondos relevantes. En la Unión Europea se han generado recursos adicionales, pero en una acción regional ya que, aunque concentran algunos recursos, los avances siguen de manera concertada a través del Consorcio de Entidades Taxonómicas Europeas.

El establecimiento del Pabellón Nacional de la Biodiversidad, con financiamiento de la Fundación Carlos Slim, le permitió al Instituto de Biología de la UNAM contar con un espacio de exhibición de una parte de sus colecciones, y espacios para conferencias o exhibiciones temporales. Esto satisface la necesidad de divulgar la importancia de las colecciones biológicas, pero su impacto se limita a la Ciudad de México. Por ello, es deseable que haya acciones similares en otros estados del país, sin perder de vista la importancia de la consolidación de las colecciones biológicas que ya existen en la mayoría de las escuelas de Biología de la nación.

¿Cuáles fueron las acciones realizadas por los colegas estadounidenses para alcanzar el establecimiento del Centro Nacional de Colecciones Biológicas? Entre las principales destacan:

Organización y propuestas. El personal de los museos y colecciones se organizaron en una asociación y luego alianza o sociedad, desde mediados de los años 1920, misma que ha logrado avances importantes y que cristalizaron en por lo menos 3 obras relevantes: El Reporte Belmont (1969); Museos para el Nuevo Siglo (1984); y Colecciones Biológicas: Asegurar Investigación y Educación Críticas para el siglo 21 (NASEM, 2020).

Revista especializada. El personal del museo de historia natural de Nueva York en 1958 lanzó la revista *Curator* (<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/21516952>), especializada en cuestiones relativas a los museos. La revista sigue vigente y en su contenido hay muchas propuestas para actividades específicas.

Vinculación con tomadores de decisiones. El cabildeo se realizó con miembros de las comisiones correspondientes de las cámaras y se logró alcanzar las metas mencionadas arriba.

Los involucrados en los jardines botánicos avanzaron mucho en nuestro país, ya que se organizaron desde 1980 como la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, y han tenido más de 30 reuniones anuales (www.concyteq.edu.mx/amjb/). Sus avances y experiencias serán muy útiles para impulsar a la



consolidación de las colecciones biológicas, y los museos de historia natural.

Podríamos agregar que este tipo de iniciativas requieren de un grupo de personas que realicen varias funciones críticas, especialmente de cabildeo. Es deseable que las personas participantes radiquen en el centro del país, por la centralización de la toma de decisiones, con lo que el cabildeo deberá realizarse en la Ciudad de México.

Consideramos que es deseable fortalecer los museos activos por parte de los gobiernos estatales, e impulsar el establecimiento en los estados que no los tengan. Esta sería una gestión con las secretarías de educación y del ambiente en cada estado, dado que su función primordial sería la difusión de los ecosistemas regionales y sobre la relevancia de las especies críticas en los mismos. Para este fin, es esencial la participación de los colegios de biólogos, o de las facultades de Biología de las universidades locales.

PLAN DE ACCIÓN

Aunque los avances realizados en los Estados Unidos son muy importantes y tendrán un impacto positivo en la salvaguarda y consolidación de las colecciones, el que hayan tenido que invertir 100 años para lograrlos puede parecer abrumador ya que se trata de un país rico, con representantes con buena educación y con larga duración en los cargos, y con buena organización en las colecciones. No obstante, dado que la nueva Ley de Ciencia abrió la puerta para los jardines etnobiológicos, podemos tener esperanzas y esbozar una ruta crítica para potenciar los avances y alcanzar resultados parecidos. Las actividades fundamentales pueden separarse en varios rubros y serían:

- 1) Proponer una iniciativa formal, con articulados concretos, para reformar la Ley de Ciencia recién decretada, para la inclusión de museos de historia natural en la misma proporción con la que se hizo para los jardines etnobotánicos.
- 2) Asumir que el esfuerzo valdrá la pena; algunos colegas que son responsables de colecciones podrían tomar la iniciativa y empezar a incentivar a otros colegas.
- 3) Alcanzar una organización para las colecciones biológicas; puede realizarse una serie de reuniones virtuales para actualizar el directorio de CONABIO, separado según sus necesidades en herbarios, museos y colecciones vivas (ceparios, bioterios, jardines botánicos).

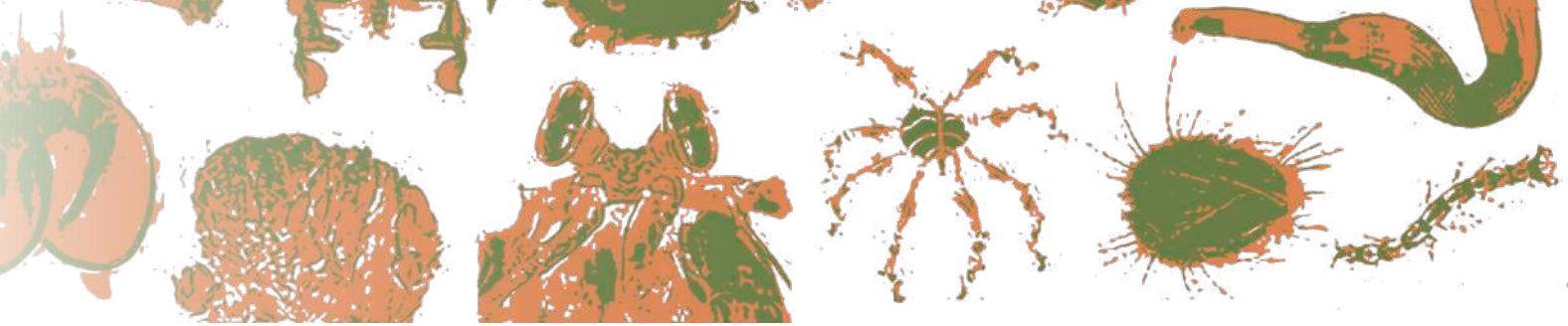
- 4) Generar un documento que incluya la relevancia (especies, representatividad, personal), así como el plan estratégico de desarrollo de la colección en personal, entrenamiento, acervo, mobiliario y equipo.
- 5) Generar una base de datos con la información disponible, en una plataforma tan sencilla como sea posible, y ponerlo en un portal de libre acceso; esto incrementará la relevancia de las colecciones, independientemente de su acervo (Snow 2005).
- 6) Generar documentos para potenciar el estudio de los organismos contenidos, como catálogos ilustrados, faunas o floras que están disponibles en línea y se actualicen periódicamente, así como revisiones taxonómicas para publicarse en revistas especializadas.

Transferir acervos en vez de seguir colectando es un planteamiento que nos parece muy acertado; en particular, si hay material tipo, una parte (paratipos) habría que transferirla al estado de origen. Ojalá fuera realista pensar en hacer lo mismo con el material depositado fuera del país; empero, realista o no, es algo que debe intentarse, cuando haya numerosos paratipos o sintipos y se cuente con museos consolidados que garanticen la salvaguarda a perpetuidad de las colecciones y su disponibilidad para los interesados.

Mares (1993:367) comentó que los museos de historia natural de Europa y EEUU suelen tener material de países más pobres que a menudo fue colectado ilegalmente. Además, los países en desarrollo sufren en mayor grado los problemas de la pérdida de biodiversidad y necesitan sus propios museos de historia natural e incrementar su propio esfuerzo taxonómico. Dice textualmente (traducción nuestra): "Los museos [de historia natural] de los países desarrollados deben devolver una parte de los tesoros científicos y culturales a sus países de origen, para ayudar al desarrollo cultural y científico de las respectivas sociedades."

Lamentablemente, a pesar de la clara responsabilidad compartida y el problema ético implícito, es previsible que los materiales depositados en museos, excepción hecha de los colectados por acuerdos binacionales, no regresarán. De ser así, valdrá la pena indagar en los beneficios para formalizar las colecciones ya existentes además de las de los nuevos museos.

Ante los cambios ambientales planetarios, Rohwer *et al.* (2022) indicaron que, para satisfacer las preguntas de las generaciones venideras sobre estos temas, las colecciones deben mantener un plan de recolecta, pese a la dificultad incrementada para tramitar permisos de captura y la preocupación social por evitar matar más animales.



La organización de un sistema nacional de colecciones biológicas y museos de historia natural podría ser centralizado; es decir, contar con una estructura nacional con representantes por cada estado, como el CENPAT (Centro Nacional Patagónico) de Argentina, pero considerando desde luego que cada museo sea autónomo, como los centros CONAHCYT en México.

Tener un museo por estado podría parecer presupuestalmente inviable, pero se ve menos remoto si los museos y sus colecciones biológicas se asocian con los jardines etnobiológicos ya planteados en la nueva ley (DOF 2023), o si son incorporados en la reforma a dicha ley. También debemos impulsar a las colecciones formalmente registradas y que tengan investigación, en particular las asociadas con universidades o centros de investigación (Brailovsky & Gómez Varela, 1993; Carnevali *et al.*, 2004).

Una modalidad interesante es la de contar con una organización mayor, pero evitar centralizar todas las acciones en un museo nacional, aunque la relevancia de las colecciones debe ser expandida (Hilton *et al.*, 2021). Bakker *et al.* (2020) consideraron que la suma de las colecciones de historia natural podría convertirse en un museo global, mismo que debe considerar el futuro de la evolución y de la educación popular, así como nuevas temáticas de investigación interdisciplinaria en

ciencia básica o aplicada. Sus recomendaciones incluyen incrementar el acervo de las colecciones, digitalizarlas, y garantizar el mantenimiento a largo plazo de sus colecciones.

Sobre la permanencia de las colecciones biológicas, en ECOSUR existe el ejemplo mínimo de que se asigna un presupuesto garantizado para mantenimiento desde hace algunos años (León-Cortés *et al.*, 2003: i) y también el compromiso de sustituir a los taxónomos que se jubilen por jóvenes del mismo perfil, como ya ha ocurrido.

La propuesta de la red de jardines etnobiológicos prevista en la iniciativa de la nueva ley de ciencia (DOF, 2023) debería ampliarse hacia una red nacional de colecciones biológicas y museos de historia natural. La descentralización del estudio de la biodiversidad mexicana cobra mayor sentido al darnos cuenta de que ésta ha sido administrada y conservada en gran parte por los pueblos indígenas, que viven en una marginación muy alta. Resulta evidente que el estudio, uso y conservación de la biodiversidad debe ser compatible con la justicia social (Schmitter-Soto *et al.*, 2016): la justicia social requiere de la protección al ambiente, de las poblaciones residentes, y pasa por el conocimiento de cada uno de los seres vivos que integran los ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución surgió de las discusiones en el seminario sobre sistemática avanzada del doctorado en ECOSUR, en la Unidad Chetumal. José Santos y Gabriela Zacarías nos permitieron usar una sala de la biblioteca de la unidad para las reuniones correspondientes. La lectura cuidadosa de María Ana Tovar y una persona anónima resultaron en mejoras a la claridad de esta contribución.

Apéndice. Instituciones en México que ofrecen Licenciatura en Biología (LB) o carreras afines (*: privadas; OB: obligatorios; OP: optativos; —: sin cursos).

<i>Entidad</i>	<i>Institución</i>	<i>Carrera</i>	<i>Cursos de Sistemática</i>
Aguascalientes	Univ. Autónoma de Aguascalientes (UAA), Centro de Ciencias Básicas	LB	OB
Baja California	Univ. Autónoma de Baja California (UABC)	LB	OP
Baja California Sur	Univ. Autónoma de Baja California Sur (UABCS)	LB marina	OB
Campeche	Univ. Autónoma de Campeche (UACAM), Fac. Ciencias Químico-Biológicas	LB	OB
	Univ. Autónoma del Carmen (UNACAR), Fac. Ciencias Naturales y Exactas	LB	OB
	Instituto Tecnológico de Chiná	LB	—
Chiapas	Univ. Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) Fac. Ciencias Biológicas	LB	OB
	UNICACH, Inst. Ciencias Biológicas, Tonalá	LB marina y manejo integral de cuencas	—
Chihuahua	Univ. Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Inst. Ciencias Biomédicas	LB	OB
Ciudad de México	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Miguel Hidalgo	LB	OB, OP
	UAM, Iztapalapa	LB	OB, OP
	UAM, Iztapalapa	L Hidrobiología	OB
	UAM, Xochimilco	LB	OB, OP
	Univ. Nacional Autónoma de México (UNAM), Fac. Ciencias	LB	OB, OP
	UNAM, Fac. Estudios Superiores Zaragoza	LB	OB
	Univ. Simón Bolívar (USB), Fac. Ciencias y Tecnología*	LB	OB
	Univ. Valle de México (UVM), Coyoacán*	LB	OB
Colima	Univ. Colima (UCOL), Fac. Ciencias Biológicas y Agropecuarias	LB	OB
Durango	Inst. Tecnológico del Valle del Guadiana (ITVG)	LB	—
	Univ. Juárez del Estado de Durango (UJED)	LB	OB
Estado de México	UAM, Lerma	LB ambiental	OB
	UNAM, Fac. Estudios Superiores Iztacala	LB	OB, OP
	Univ. Autónoma del Estado de México (UAEMex), Fac. Ciencias, Toluca	LB	OB
	UVM, Lomas Verdes*	LB	OB
Guanajuato	Inst. Tecnológico de Irapuato	LB	—
Guerrero	Inst. Tecnológico de Ciudad Altamirano	LB	—
Hidalgo	Inst. Tecnológico de Huejutla	LB	—
	Univ. Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Inst. Ciencias Básicas e Ingenierías	LB	OB
Jalisco	Univ. Guadalajara (UDG), Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias	LB	OB
	UDG, Centro Universitario de la Costa	LB	OB
	UDG, Centro Universitario de la Costa Sur	LB marina	OB
Michoacán	Univ. Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Fac. Biología	LB	OP
Morelos	Univ. Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Fac. Ciencias Biológicas	LB	OB
Morelos	Univ. Guízar y Valencia, Cuernavaca*	LB y medio ambiente	OB
Nayarit	Inst. Tecnológico de Bahía de Banderas	LB	—
	Univ. Autónoma de Nayarit (UAN)	LB	OB
Nuevo León	Univ. Autónoma de Nuevo León (UANL), Fac. Ciencias Biológicas	LB	OB
	UVM, Monterrey Cumbres*	LB	OB
Oaxaca	Inst. Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan	LB	—
	Inst. Tecnológico del Valle de Oaxaca	LB	—
	Univ. Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Escuela de Ciencias	LB	OB, OP



Apéndice. Instituciones en México que ofrecen Licenciatura en Biología (LB) o carreras afines (*: privadas; OB: obligatorios; OP: optativos; —: sin cursos).

<i>Entidad</i>	<i>Institución</i>	<i>Carrera</i>	<i>Cursos de Sistemática</i>
Oaxaca	Univ. del Mar (UMAR), Puerto Ángel	LB marina	—
	UMAR, Puerto Escondido	LB	OB
	Univ. de la Sierra Juárez (UNSIJ)	LB	OB
Puebla	Benemérita Univ. Autónoma de Puebla (BUAP), Escuela de Biología	LB	OB
	Inst. Tecnológico de Zacapoaxtla	LB	—
	Univ. de las Américas*	LB	—
Querétaro	Univ. Autónoma de Querétaro (UAQ), Fac. Ciencias Naturales	LB	OB
	Arkansas State University*	Ing. Ciencias biológicas	—
	UVM, Campus Querétaro*	LB	OB
Quintana Roo	Inst. Tecnológico de Chetumal	LB	—
San Luis Potosí	Univ. Autónoma de San Luis Potosí	LB	OB
Sinaloa	Inst. Tecnológico de Mochis	LB	—
	Univ. Autónoma de Sinaloa (UAS), Escuela de Biología	LB	OB
	UAS, Facultad de Ciencias del Mar	LB pesquera	—
	Univ. Autónoma de Occidente (UAdeO), Unidad Los Mochis	LB	OB
	UAdeO, Unidad Guasave	LB	OB
Sonora	Inst. Tecnológico del Valle del Yaqui	LB	—
	Univ. de la Sierra	LB	—
	Univ. de Sonora (USON), Depto. Investigaciones Científicas y Tecnológicas	LB	OB
Tabasco	Univ. de Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Biológicas	LB	OB
	UVM, Campus Villahermosa*	LB	OB
Tamaulipas	Inst. Tecnológico de Ciudad Victoria	LB	—
	Inst. Tecnológico de Altamira	LB	—
Tlaxcala	Univ. Autónoma de Tlaxcala	LB	OB
Veracruz	Inst. Tecnológico de Boca del Río	LB	—
	Inst. Tecnológico de Úrsulo Galván	LB	—
	Univ. Veracruzana (UV), Campus Tuxpán	LB marina	OB
	UV, Campus Tuxpán	LB	OB
	UV, Campus Xalapa	LB	OB
	UV, Campus Peñuela	LB	OB
	UV, Campus Veracruz	LB marina	OB
Yucatán	Univ. Autónoma de Yucatán (UADY), Ciencias Biológicas y Agropecuarias	LB	OB
	UADY, Ciencias Biológicas y Agropecuarias	LB marina	OB
	Inst. Tecnológico de Conkal	LB	—
	Inst. Tecnológico de Tizimín	LB	—
Zacatecas	Univ. Autónoma de Zacatecas (UAZ)	LB	OB



LITERATURA CITADA

- Andreone, F., Boero, F., Bologna, M.A., Carpaneto, G.M., Castiglia, R., Gippoliti, S., Massa, B. & Minelli, A. 2022. Reconnecting research and natural history museums in Italy and the need of a national collection biodepository. *ZooKeys*. 1104: 55-68. Doi: 10.3897/zookeys.1104.79823
- Anón. 2018. 150 años de Historia Natural en México. <https://www.museodelasculturas.mx/historia-natural.php> visto 2 Oct. 2023.
- Baker, F.C. 1923. The educational value of a University Natural History Museum. *Science*. 58(1491): 55-57.
- Bakker, F.T. (+ 20 coaut.). 2020. The global museum: Natural history collections and the future of evolutionary science and public education. *PeerJ*. 8:e8225, 40 pp. <http://doi.org/10.7717/peerj.8225>
- Barberousse, A., Samadi, S. 2013. La taxonomie dans la tourmente. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*. 7 (7-2). <https://doi.org/10.3917/rac.019.0411>
- Barrera, A. 1965. El Museo de Historia Natural de la Ciudad de México. *Ciencia Interamericana*. 6:7-13.
- Brailovsky, B. & Gómez Varela, B. 1993. Colecciones Biológicas Nacionales. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Brown-Goode, G. 1895. The principles of museum administration. *Annual Report of the Museums Association*. 1895: 1-78.
- Carnevali, G., Sosa, V., León de la Luz, J.L. & Cortés, J.L. (Eds). 2004. Colecciones Biológicas. Centros de Investigación CONACYT. Ciudad de México: CONACYT.
- Caso, A. 1961. Proposal for a museum of natural history for the National University of Mexico. *Curator*. 4: 341-351.
- Conabio. 2023a. Museo Nacional de Historia Natural, 1825-1963. <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/curiosos/museo-nacional-de-historia-natural> Visto 2 Oct. 2023.
- Conabio. 2023b. Museo de Historia Natural, 1964. <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/curiosos/museo-de-historia-natural> visto 2 Oct. 2023.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2023. Ley general en materia de humanidades, ciencias, tecnologías e innovación. 8 mayo 2023, 52 pp.
- Engel, M.S. *et al.* (+92 aut.). 2021. The taxonomic impediment: a shortage of taxonomists, not the lack of technical approaches. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 193: 381-387.
- Escalante, T. 2009. Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 80:551-560.
- Faugère, E. & Mauz, I. 2013. Une introduction au renouveau de la taxonomie. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*. 7 (7-2): 1-16. <https://doi.org/10.3917/rac.019.0351>
- Godfray, H.C.J. 2002. Challenges for taxonomy. *Nature*. 417: 17-19.
- Hilton, E.J., Watkins-Colwell, J. & Huber, S.K. 2021. The expanding role of natural history collections. *Ichthyology and Herpetology*. 109: 379-391. <http://doi.org/10.1643/t2020018>
- Kemp, C. 2015. Museums: the endangered dead. *Nature*. 518:292-294. doi: 10.1038/518292a
- Koleff, P. (+ 77 coaut.). 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación en México. Ciudad de México: CONABIO.
- León-Cortés, J.L., Lorenzo Monterrubio, L. & Pozo, C. 2003. Colecciones biológicas de El Colegio de la Frontera Sur, México. San Cristóbal de Las Casas: ECOSUR, CONABIO.
- Llorente, J., Koleff, P., Benítez, H. & Lara, L. 1999. Síntesis del estado de las colecciones biológicas mexicanas. Resultado de la encuesta Inventario y diagnóstico de la actividad taxonómica en México 1996-1998. CONABIO, México, 140 pp.
- Löbl, I., Klausnitzer, B., Hartmann, M. & Krell, F.T. 2023. The silent extinction of species and taxonomists – An appeal to science policymakers and legislators. *Diversity*. 15 (10): 1053. <https://doi.org/10.3390/d15101053>
- Mares, M.A. 1993. Natural history museums: bridging the past and the future, pp. 367-403 in: International Symposium and I World Congress on Preservation and Conservation of Natural History Collections.
- Michán, L.A. & Llorente, J.B. 2003. La taxonomía en México durante el siglo XX. *Publicaciones especiales del Museo de Zoología*. 13: 1-250.
- Mittermeier, R.A., Robles Gil, P. & Mittermeier, C.G. 1997. Megadiversidad: los países biológicamente más ricos del mundo. Cemex, Ciudad de México.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403:853-858.
- Naggs, F. 2022. The tragedy of the Natural History Museum, London. *Megataxa*. 7: 85-112. Doi: 10.11646/megataxa.7.1.2
- NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). 2020. Biological Collections: Ensuring Critical Research and Education for the 21st Century. National Academies, Washington, 229 pp.
- Novacek, M.J. & Goldberg, S.L. 2013. Museums and institutions, Role of; pp 404-420 In *Encyclopedia of Biodiversity*, volumen 5. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00420-2>
- Packer, L., Grixti, J.C., Roughley, R.E. & Hanner, R. 2009. The status of taxonomy in Canada and the impact of DNA barcoding. *Canadian Journal of Zoology*. 87 (12): 1097-1110.



Page, L. (+11 coaut). 2023. *Common and Scientific Names of Fishes from the United States, Canada and Mexico*. 8a ed. Bethesda, MD: American Fisheries Society.

Paknia, O., Rajaei, S.H. & Koch, A. 2015. Lack of well-maintained natural history collections and taxonomists in megadiverse developing countries hampers global biodiversity exploration. *Organisms Diversity & Evolution*. 15:619–629. <http://doi.org/10.1007/s13127-015-0202-1>

Parr, A.E. 1939. On the functions of the natural history museum. *Transactions of the New York Academy of Sciences, series 2*. 2: 44–58. <http://doi.org/10.1111/j.2164-0947.1939.tb00058.x>

Percequillo, A.R., Barbosa, M.F.C., Bockmann, F.A., Bogoni, J.A., Esguicero, A.L.H., Lamas, C., de Moraes, G.J., Pinto da Rocha, R. & Silveira, L.F. 2022. Natural history museums and zoological collections of São Paulo State. *Biota Neotropica*. 22:1–13. <http://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2022-1426>

Rohwer, V.G., Rohwer, Y. & Dillman, C.B. 2022. Declining growth of natural history collections fails future generations. *PLoS Biology*. 20(4): e3001613, 4 pp. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001613>

Rookmaaker, L.C. 2011. The early endeavours by Hugh Edwin Strickland to establish a code for zoological nomenclature in 1842–1843. *Bulletin of Zoological Nomenclature*. 68(1): 29–40.

Rose, E.D. 2018. Specimens, slips and systems: Daniel Solander and the classification of nature at the world's first public museum, 1753–1768. *British Journal for the History of Science*. 51: 205–237. Doi: 10.1017/S0007087418000249

Salazar-Vallejo, S.I. & González, N.E. 2020. Revisiones taxonómicas, ciencia de frontera y programas nacionales. *Biología y Sociedad*. 3 (6): 26–32.

Schmitter-Soto, J.J., Mariaca-Méndez, R. & Soto-Pinto, M.L. 2016. Una breve historia del conocimiento y uso de la biodiversidad en la frontera sur de México. *Sociedad y Ambiente*. 4:160–173.

Snow, N. 2005. Successfully curating smaller herbaria and natural history collections in Academic settings. *BioScience*. 55(9): 771–779.

Spalding, M.D. (+ 14 coaut.). 2007. Marine ecoregions of the World: A bioregionalization of coast and shelf areas. *BioScience*. 57(7):573–583. <https://doi.org/10.1641/B570707>

TripAdvisor. 2023. Museos de historia natural en México. <https://www.tripadvisor.com.mx/Attractions-g150768-Activities-c49-t33-Mexico.html>- Visto 2 Oct. 2023.

Vega, R.A. 2011. La riqueza del Gabinete de Historia Natural del Museo Nacional de México: La década de 1830. *NuevoMundo MundosNuevos*. 15 pp <https://journals.openedition.org/nuevomundo/62082>

FENÓMENOS PARANORMALES Y SU ACERCAMIENTO CIENTÍFICO:

CUATRO EJEMPLOS HISTÓRICOS Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD

ALDO G. LUNA ALMARAZA^a, RAUL E. MARTÍNEZ-HERRERA^b,
GUSTAVO DE JESÚS SAN MIGUEL GONZÁLEZ^{a*}

^aUniversidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Instituto de Biotecnología. Av. Pedro de Alba y Manuel L. Barragán s/n, C. P. 66455, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

^bTecnológico de Monterrey. Escuela de Ingeniería y Ciencias. Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, Tecnológico, C. P. 64849, Monterrey, Nuevo León, México.

*Autor para correspondencia:
gustavo.sanmiguel@uanl.edu.mx

RESUMEN

Los fenómenos paranormales se definen como todos aquellos sucesos y/o prácticas que están fuera de la lógica humana, estos son considerados como el primer intento del hombre primitivo para interpretar y dominar la naturaleza. Actualmente, se ha determinado que la creencia en estos fenómenos está muy arraigada entre las personas cuyas bases académicas están alejadas del pensamiento científico, por lo que es necesario concientizar acerca del uso del análisis crítico. Por esta razón, en el presente artículo presentamos un análisis bibliográfico de casos relacionados a las pseudociencias y el ocultismo, cuyo acercamiento científico (mediante diseños de investigación aplicada) indica de manera veraz y contundente la realidad de dichos fenómenos. Asimismo, se concluye que este tipo de creencias conducen a la ignorancia y a la generación de prejuicios sociales, por lo que se sugiere incentivar el pensamiento científico entre la sociedad.

ABSTRACT

Paranormal phenomena are defined as all those events and/or practices that are beyond human logic; these are considered the first attempt of primitive man to interpret and dominate nature. Currently, it has been determined that belief in these phenomena is deeply rooted among people whose academic bases are far from scientific thinking, so it is necessary to raise awareness about the use of critical analysis. For this reason, in this article we present a bibliographic analysis of cases related to pseudoscience and occultism, whose scientific approach (through applied research designs) truthfully and forcefully indicates the reality of said phenomena. Likewise, it is concluded that this type of beliefs lead to ignorance and the generation of social prejudices, which is why it is suggested to encourage scientific thinking among society.



Palabras clave: análisis crítico; investigación; pensamiento científico; pseudociencias

Keywords: critical analysis; research; scientific thinking; pseudosciences

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen más de trescientos podcasts con temática paranormal, así como la tradición oral arraigada a las historias familiares, o se ha sabido de cientos de periodistas, *youtubers* y personajes mediáticos que hoy en día se dedican a realizar “investigación” en esta área. Pero ¿qué tan veraces son estos fenómenos? ¿existirá alguna explicación lógica o científica ante dichos sucesos? Estas preguntas nos permiten cuestionar bajo un pensamiento científico cualquier fenómeno que a primera vista pareciera ilógico, y abordar mediante un marco de investigación con bases sólidas lo informado a través de la dialéctica.

Los fenómenos paranormales se definen como todos aquellos sucesos que van más allá de la comprensión humana y contradicen sus principios básicos (Williams y Bagrove, 2022). Estos se caracterizan por abordar distintos ámbitos como las pseudociencias (criptozoología, demonología, angelología, ufología, etc.), el ocultismo (alquimia, esoterismo, astrología, espiritismo, adivinación, nigromancia, percepción extrasensorial, etc.) y las supersticiones (amuletos, pociones y rituales relacionados con la suerte) (Escolá-Gascón, 2020). Todos estos ámbitos tienen una historia tan antigua como la misma humanidad, dado que fueron el primer intento del ser humano por tratar de entender y manipular diversos fenómenos naturales. Se ha estudiado la creencia de seres paranormales con personas jóvenes, encontrando que la mayoría cree en distintos fenómenos (Lester, 1993). De acuerdo con Aarnio y Lindeman (2005), la evidencia empírica demuestra que las personas cuyos estudios están basados en las artes y las humanidades presentan mayor creencia en los fenómenos paranormales comparado con aquellos cuyos estudios están basados en las ciencias naturales, exactas y psicología. Aunado a esto, el impacto de las redes sociales ha incrementado este tipo de creencias entre los jóvenes (corriente *New Age*), lo cual indica que estas creencias son impulsadas por la influencia de los medios de comunicación (desinformación por carácter analítico) (de Oliveira Maraldi y Farias, 2019). Por lo tanto, el objetivo del presente escrito es abordar diversos casos sobre fenómenos paranormales desde la perspectiva científica basada en hechos, con el propósito de analizar explicaciones lógicas apegadas a la ciencia y a concientizar a la comunidad estudiantil de entender las causas de los fenómenos “paranormales”.

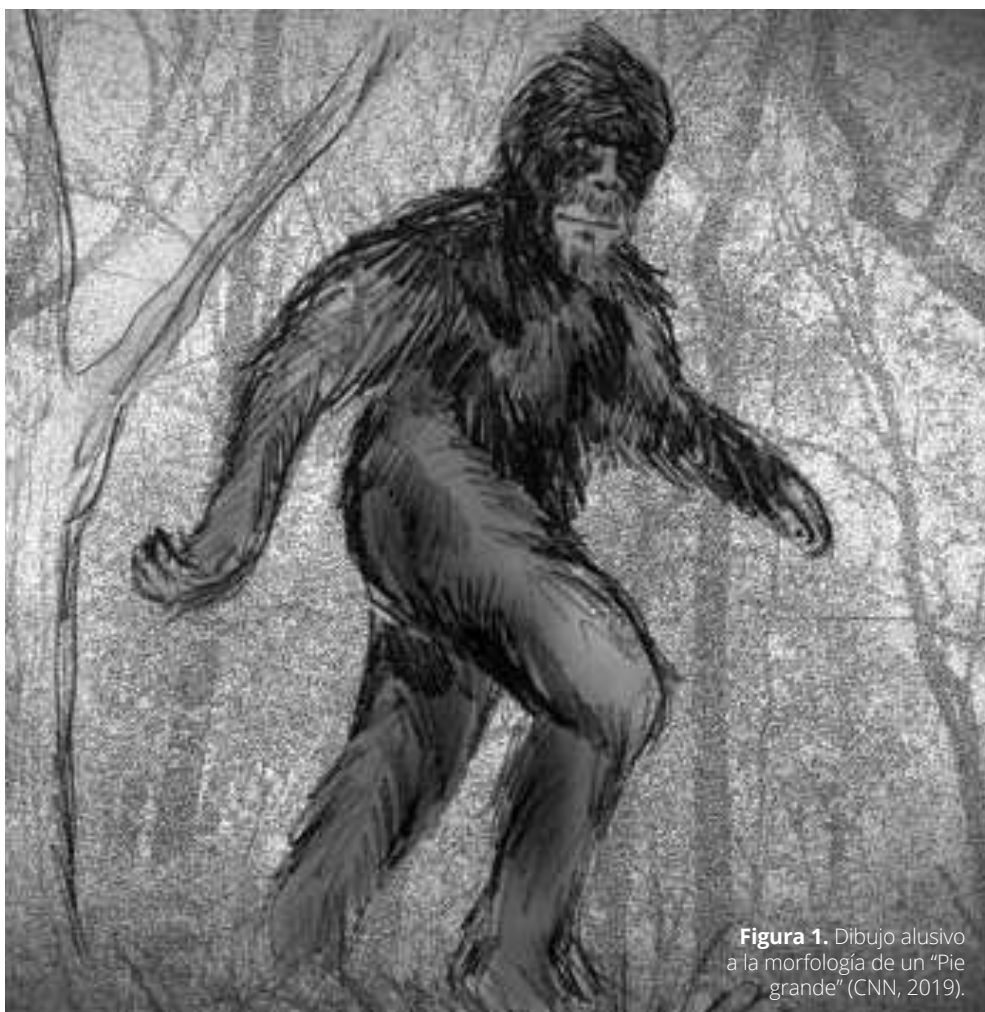


Figura 1. Dibujo alusivo a la morfología de un "Pie grande" (CNN, 2019).

CASO 1. LA EXISTENCIA DE "PIE GRANDE" CUESTIONADA POR PRUEBAS GENÉTICAS

"Pie grande", "Yeti", "Sasquatch", "Migoi", son una serie de nombres que se le dan a una especie de humanoides peludos, vistos en diversas zonas del mundo (Fig. 1). Según diversos criptozoólogos este humanoide puede estar evolutivamente relacionado al antiguo *Gigantopithecus* debido a las características de los fósiles de este homínido comparados con los testimonios de quienes dicen haber tenido un encuentro (Wayman, 2012).

No obstante, las únicas pruebas de su existencia (a parte de los testimoniales) son huellas que algunos criptozoólogos han señalado como verídicas y muestras de pelo que se han encontrado en diversas zonas de Norteamérica, Nepal y la cordillera del Himalaya. En cuanto a este último caso, existen reportes de análisis genético, el primero de ellos fue el llevado a cabo por Sykes *et al.* (2014), quienes mediante amplificación y secuenciación del segmento 12S del ARN mitocondrial determinaron que 30 muestras de pelo (presuntamente de "Pie grande") correspondían a *Ursus maritimus* (oso polar), *U. arctus* (oso pardo) y *U. americanus* (oso negro). El segundo estudio fue el llevado a cabo por Gutiérrez y Pine (2015), quienes bajo la misma técnica de biología molecular determinaron una alta presencia de *U. thibetanus* (oso tibetano) en las muestras de pelo analizadas. Por lo tanto, dichos análisis de biología molecular refutan décadas de divulgación mediática sobre la existencia de estos humanoides, dado que se necesitan pruebas convincentes para determinar la existencia de estos seres.

CASO 2. LA “ZOMBIFICACIÓN” EN HAITÍ ESTA QUÍMICAMENTE INFLUENCIADA POR EXTRACTOS NATURALES

La “zombificación” es una práctica religiosa relacionada al vudú haitiano donde mujeres y hombres son envenenados, enterrados vivos (en estado cataléptico) y desenterrados. La idea de esta práctica es crear esclavos sin carácter, sin expresión vital e incapaces de tomar decisiones, todo esto bajo un coma letárgico (Littlewood y Douyon, 1997). De acuerdo con los estudios de Albuquerque *et al.* (2012), en esta práctica ocultista se ha identificado que las formulaciones preparadas se componen principalmente por extractos de plantas: *Mucuna pruriens* (grano de terciopelo), *Albizia lebbek* (tcha-tcha), *Prosopis juliflora* (mezquite), *Comocladia glabra* (brésil), *Zanthoxylum martinicense* (fresno espinoso), *Trichilia hirta* (acahuite) y *Anacardium occidentale* (nuez de la India), extractos de anfibios: *Rhinella marina* (sapo gigante) y extractos de peces: *Diodon hystrix* (pez erizo) y *Sphoeroides testudineus* (pez globo). Dada la naturaleza de los extractos, estas formulaciones son ricas en saponinas, esteroides, triterpenos, cumarinas, taninos, inhibidores de proteasas, levodopa (L-dopa), epibatidina y tetrodotoxinas (TTX), los cuales son investigados por sus propiedades antimicrobianas, antiparasitarias, antifúngicas e incluso anticancerígenas (de Sousa Araujo, *et al.* 2008; Littlewood y Douyon, 1997). Sin embargo, la ingesta en altas dosis de dichos extractos genera efectos nocivos en la salud, los cuales pueden clasificarse de acuerdo con la gravedad de su sintomatología. El primer síntoma es la somnolencia acompañada por náuseas, el segundo efecto es la parálisis de extremidades, la descoordinación y el aletargamiento del habla. El tercer efecto es la cianosis y baja en la presión sanguínea, y, por último, los fallos respiratorios y arritmias cardíacas relacionadas con la pérdida del pulso (efecto cataléptico esperado en la “zombificación”) (Albuquerque *et al.* 2012). Dicho lo anterior, la “zombificación” del vudú haitiano no es más que un envenenamiento, el cual ha sido utilizado para fines ilícitos (crear esclavos) y como “castigo” cuando las personas desobedecen las reglas de la tradición vudú. Otro de los aspectos a considerar es que esta práctica dio pie a diversos estudios etnobiológicos y farmacológicos, los cuales hoy en día siguen en desarrollo debido a las múltiples propiedades de los extractos naturales obtenidos.



Figura 2. Dibujo alusivo a los juicios de Salem de 1692 (Valdemi, 2023).



CASO 3. EL HONGO DETRÁS DE LAS BRUJAS DE SALEM

Los juicios contra las brujas y las prácticas oscuras se iniciaron el 8 de febrero de 1692 en Salem, Massachussets (Fig. 2), dichos juicios fueron desencadenados por el testimonio de niños quienes empezaron a presentar comportamientos erráticos, alucinaciones, debilidad, ceguera temporal, sordera, dolor de estómago y sensación de quemazón en dedos y manos. Se ha documentado que uno de los testimonios indicó haber consumido un pan con harina rojiza que una de las trabajadoras domésticas había repartido entre los niños; y con dicho testimonio, los puritanos desencadenaron los castigos contra mujeres inocentes (Soriano del Castillo *et al.* 2014). También, en los testimonios recabados se asociaba la brujería con la muerte del ganado, lo que demuestra la posibilidad de que la sintomatología de las personas y el ganado estuviera fuertemente conectada a las micotoxinas y alcaloides de *C. purpurea* (Llanes *et al.* 2022; Soriano del Castillo *et al.* 2014).

Dados los antecedentes históricos de los juicios de Salem, Linnda Caporael publicó en 1976 la primera hipótesis (posteriormente comprobada) relacionada al ergotismo, una enfermedad relacionada a la insuficiencia arterial provocada por la intoxicación aguda de los alcaloides de *Claviceps purpurea*. Este hongo se encuentra en los cereales y se ha observado que a una concentración mayor al 3% (p/p) genera una coloración rojiza en las harinas. Asimismo, la sintomatología señalada por los acusadores está directamente relacionada a los alcaloides de este hongo, principalmente a la ergotamina y a la dietilamida del ácido lisérgico (LSD). Los toxicólogos ahora saben que comer alimentos contaminados con *C. purpurea* puede provocar un trastorno convulsivo caracterizado por espasmos musculares violentos, vómitos, delirios, alucinaciones, sensación de hormigueo en la piel y una serie de otros síntomas, todos los cuales, señaló Linnda Caporael, están presentes en los registros de los juicios por brujería de Salem (PBS, 2014).

CASO 4. EL SÍNDROME DE WILLIAMS Y LAS LEYENDAS SOBRE SERES ELEMENTALES

En cientos de lugares alrededor del mundo existen historias acerca de seres elementales (trolls, duendes, gnomos, hadas, etc.), cuya existencia está basada en la propia naturaleza, y según las leyendas de los antiguos pueblos celtas y nórdicos, estos seres cambiaban a los niños humanos por sus crías y cuando la pareja humana se daba cuenta de dicho cambio (por el aspecto físico del menor) estos lo abandonaban a su suerte en la naturaleza. Ahora, si abordamos esto desde una perspectiva basada en la ciencia, podemos indicar que siempre ha habido y habrá condiciones genéticas, las cuales alteran el metabolismo y el físico de las personas que la padecen.

Uno de estos casos es el síndrome de Williams (SW), el cual es una condición genética que aparece debido a un emparejamiento incorrecto de elementos repetitivos del ADN de baja copia en la meiosis. El tamaño de la eliminación es similar en la mayoría de las personas con SW y lleva a la pérdida de una copia de 25 a 27 genes en el cromosoma 7q11.23. (Kozel *et al.* 2022). Esta condición provoca una baja estatura y características faciales peculiares como nariz pequeña, boca amplia con dientes pequeños y espaciados, ojos hinchados y cuello pequeño (algunos lo asocian a la morfología de un duende). Asimismo, esta condición provoca ciertas afecciones hepáticas, cardíacas y pulmonares, las cuales afectan la calidad de vida de quienes la padecen (Brazier, 2017). Además, los niños que padecen el SW presentan déficit de atención y se comportan de manera hiperactiva y amigable, siendo una de sus características la confianza con extraños (Kozel *et al.* 2022). Por lo tanto, bajo estos argumentos podemos relacionar dichas leyendas sobre seres elementales con lo que actualmente conocemos como trastornos genéticos (específicamente SW), destacando que hoy en día existen diversas asociaciones dirigidas al apoyo de las personas con este síndrome, que a su vez tratan de concientizar a la sociedad sobre el trato digno hacia estas personas.

CONCLUSIONES

La creencia en los fenómenos paranormales en el sector juvenil está influenciada principalmente por el escaso pensamiento científico y la predisposición a los medios de comunicación. En el presente artículo los cuatro casos puntuales mostrados están apegados a una respuesta científica: (1) Las muestras de pelo analizadas mediante técnicas moleculares desmienten la existencia de "pie grande". (2) Se comprobó que los componentes de las formulaciones usadas en la cultura vudú para el proceso de "zombificación" causan catalepsia. (3) Se determinó que los juicios de Salem fueron desencadenados por intoxicación con harina contaminada por *C. purpurea*. (4) El síndrome de Williams (SW) es una condición genética que genera una morfología similar a la descrita en las leyendas sobre seres elementales, y el conocimiento que se tiene hoy en día es usado para orientar a las personas a tratar con respeto a las personas afectadas. De acuerdo con lo descrito anteriormente, se concluye que la desinformación generada por las redes sociales y el escaso pensamiento crítico genera creencias sin soporte científico, lo cual puede cambiar si los esfuerzos se enfocan de manera responsable en la divulgación científica.





LITERATURA CITADA

- Aarnio, K., M. Lindeman. 2005. Paranormal beliefs, education, and thinking styles. *Personality and Individual Differences*. 39: 1227–1236.
- Albuquerque, U.P., J.G. Melo, M.F. Medeiros, I.R. Menezes, G.J. Moura, A.C. Asfora El-Deir, R.R. Nóbrega Alves, P.M. de Medeiros, T.A. de Sousa Araújo, M. Alves Ramos, R.R. Silva, A.L. Almeida, C. Almeida. 2012. Natural Products from Ethnodi-directed Studies: Revisiting the Ethnobiology of the Zombie Poison. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2012: 1–19.
- Brazier, Y. Williams syndrome: What you need to know. En: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/220139> (consultado 04/10/23).
- CNN (2019). Supuesto ataque de “Pie Grande” o “Bigfoot” en Kentucky (Nota periodística web) En: <https://cnnespanol.cnn.com/video/pie-grande-kentucky-parque-arma-campamento-jennifer-montoya-cafe-cnnee/> (Recuperada 05/10/23)
- de Oliveira Maraldi, E., M. Farias. 2019. Assessing Implicit Spirituality in a non-weird population: Development and Validation of an Implicit Measure of New Age and Paranormal Beliefs. *The International Journal for the Psychology of Religion*. 30: 101–111.
- de Sousa Araujo, T.A., N.L. Alencar, E.L.C. de Amorim, U.P. de Albuquerque. 2008. A new approach to study medicinal plants with tannins and flavonoids contents from the local knowledge. *Journal of Ethnopharmacology*. 120: 72–80.
- Escolá-Gascón, A. 2020. Researching unexplained phenomena: empirical-statistical validity and reliability of the Multivariable Multiaxial Suggestibility Inventory-2 (MMSI-2). *Heliyon*. 6: e04291.
- Gutiérrez E.E., R.H. Pine. 2015. No need to replace an “anomalous” primate (Primates) with an “anomalous” bear (Carnivora, Ursidae). *ZooKeys*. 487:141–154.
- Kozel, B.A., B. Barak, C.A. Kim, C.B. Mervis, L.R. Osborne, M. Porter, B.R. Pober. 2021. Williams syndrome. *Nature reviews. Disease primers*. 7: 42.
- Lester, D. (1993) Paranormal beliefs and psychoticism, *Personality and Individual Differences*, Volume 14, Issue 5, 1993, Page 739, ISSN 0191-8869, [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(93\)90122-J](https://doi.org/10.1016/0191-8869(93)90122-J)
- Littlewood, R., C. Douyon. 1997. Clinical findings in three cases of zombification. *Lancet*. 350: 1094–1096.
- Llanes, L.C., N.B. Sa, A.R. Cenci, K.F. Teixeira, I.V. de França, L. Meier, A.S. de Oliveira. 2022. Witches, potions, and metabolites: an overview from a medicinal perspective. *RSC Medicinal Chemistry*. 13: 405–412.
- PBS (2014). Clues and Evidence. En: <https://www.pbs.org/wnet/secrets/witches-curse-clues-evidence/1501/> (Consultado 05/12/23).
- Soriano del Castillo J.M., C. Martínez-Rosillo, N. Sebastià-Fabregat, C. Soler-Quiles. 2014. Microbiología alimentaria y fenómenos paranormales en la historia. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 18: 238–242.
- Sykes, B.C., R.A. Mullis, C. Hagenmuller, T.W. Melton, M. Sartori. 2014. Genetic analysis of hair samples attributed to yeti, bigfoot and other anomalous primates. *Proceedings of the Royal Society*. 281: 20140161.
- Valdemi, I. (2023). 8 de febrero de 1692. Cuando se iniciaron los juicios contra las brujas de Salem (Nota periodística web) En: <https://www.laizquierdadiario.com/Cuando-se-iniciaron-los-juicios-contra-las-brujas-de-Salem> (Recuperada 05/10/23)
- Wayman, E. Did Bigfoot Really Exist? How Gigantopithecus Became Extinct. En: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/did-bigfoot-really-exist-how-gigantopithecus-became-extinct-16649201/> (consultado 03/10/23).
- Williams, J.M., M. Blagrove. 2022. Paranormal experiences, sensory-processing sensitivity, and the priming of pareidolia. *PLoS ONE*. 17: e0274595.

POTENCIAL NUTRICIONAL Y TERAPÉUTICO DE LA TUNA Y DE SUS SUBPRODUCTOS:

UN PANORAMA GENERAL DE SU COMPOSICIÓN
QUÍMICA Y APLICACIONES



/// LAURA GARCÍA-CURIEL¹, JESÚS GUADALUPE PÉREZ-FLORES^{1,2*}, FELIPE MERA-REYES², DANIELA ESPARZA-VITAL², EMMANUEL PÉREZ-ESCALANTE², ELIZABETH CONTRERAS-LÓPEZ², CARLOS ÁNGEL-JIJÓN², ENRIQUE J. OLLOQUI³

RESUMEN

Esta contribución abordó la problemática de la subutilización de la tuna y sus subproductos, a pesar de su rica composición química y perfil nutricional, que incluye glucosa, fructosa, proteínas, minerales, vitaminas, ácidos grasos, fitoesteroles y polifenoles. La hipótesis central sugirió que estos componentes bioactivos pueden ser aprovechados para el desarrollo de alimentos funcionales y como complemento en el tratamiento de diversas enfermedades, contribuyendo así al bienestar humano y al crecimiento económico en regiones donde la tuna es culturalmente significativa. El objetivo del estudio fue brindar un panorama general de la composición química, el perfil nutricional, los compuestos bioactivos de la tuna y las aplicaciones potenciales de sus subproductos, promoviendo el uso de estos últimos en la formulación de alimentos funcionales y como complemento terapéutico. Los hallazgos principales revelaron que la tuna, una fruta no climatérica, y sus subproductos, son una fuente valiosa de fibra y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, antiaterogénicas, antiulcerogénicas, antimicrobianas, antiinflamatorias, neuroprotectoras, hepatoprotectoras, antidiabéticas, hipolipidémicas e hipocolesterolémicas. Además, se destacó la aplicación de la estrategia universal de recuperación de compuestos bioactivos para la extracción eficiente de estos compuestos de los subproductos de la tuna, lo que subrayó su potencial económico. En conclusión, el manuscrito demostró que la tuna y sus subproductos tienen un potencial significativo para la salud humana y la economía, especialmente en México, el principal productor mundial, y que su valorización sostenible puede ser una estrategia clave para impulsar su uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

ABSTRACT

This contribution addressed the problem of underutilization of prickly pear and its by-products despite its rich chemical composition and nutritional profile, which includes glucose, fructose, proteins, minerals, vitamins, fatty acids, phytosterols, and polyphenols. The central hypothesis suggested that these bioactive components can be used to develop functional foods and as a complement in treating various diseases, thus contributing to human well-being and economic growth in regions where prickly pear is culturally significant. The study's objective was to provide an overview of the chemical composition, nutritional profile, bioactive compounds of prickly pear, and the potential applications of its by-products, promoting the use of the latter in the formulation of functional foods and as a therapeutic complement. The main findings revealed that prickly pear, a non-climacteric fruit, and its by-products are a valuable source of fiber and bioactive compounds with antioxidant, antiatherogenic, antiulcerogenic, antimicrobial, anti-inflammatory, neuroprotective, hepatoprotective, antidiabetic, hypolipidemic, and hypocholesterolemic properties. In addition, the application of the universal strategy for recovering bioactive compounds to extract these compounds efficiently from prickly pear by-products was highlighted, which underlined its economic potential. In conclusion, the manuscript demonstrated that prickly pear and its by-products have significant potential for human health and the economy, especially in Mexico, the leading world producer, and that its sustainable valorization can be a key strategy to promote its use in the food and pharmaceutical industry.



Palabras clave: Compuestos bioactivos, valorización de subproductos, alimentos funcionales, industria alimentaria, salud humana.

Keywords: Bioactive compounds, by-product valorization, functional foods, food industry, human health.

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

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

³CONACyT, Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Boulevard Forjadores, 72760 Puebla, Puebla, México.

*Correo del autor de correspondencia: jesus_perez@uaeh.edu.mx

INTRODUCCIÓN

La tuna (*Opuntia ficus-indica* spp.) es una fruta no climatérica de forma ovalada, presenta una parte comestible llamada endocarpio, que es jugoso y abarca el 28-58 % (p/p) del fruto, con un gran número de semillas (2-10 %, p/p) encerradas en una cáscara gruesa y espinosa (37-67 %, p/p) (Almanza y Fischer, 2012; Lim, 2012; Barba *et al.*, 2017). Las tunas pueden presentar grandes diferencias de color entre los cultivares, variando de verde a blanco, de amarillo a naranja y de rojo a morado. Estas variaciones se pueden atribuir a las betalainas (Giraldo-Silva *et al.*, 2023).

En cuanto a su producción mundial, México es el líder, aportando el 44%, equivalente a 428,300 t/año, aunque este fruto también es cultivado en otras partes del mundo, como India, Estados Unidos de América, Sudáfrica, entre otros (Barba *et al.*, 2017). Con respecto a la producción nacional de la tuna, durante 2020, el mayor volumen de producción se concentró en el Estado de México con 175,600 t (SADER, 2021). La tuna es un fruto de gran consumo en el centro de México, sobre todo en el estado de Hidalgo, región que puede tener notables posibilidades de producción y consumo a gran escala de este alimento, dada su cercanía con la Ciudad de México y también porque sigue formando parte de la identidad colectiva de los pueblos campesinos e indígenas del estado de Hidalgo.

La tuna es considerada como una fruta valiosa en la industria alimentaria debido a su composición química, por su alto contenido de fibra, por su contenido de metabolitos secundarios (polifenoles, betaxantinas, ácidos orgánicos, entre otros) y por los beneficios que aporta su consumo a la salud humana (Manzur-Valdespino *et al.*, 2022). Por ejemplo, contienen colorantes de alto valor agregado, tales como betacianinas, betalainas, etcétera, que son adecuados para su uso como aditivos alimentarios y que son reconocidos como sustancias GRAS (*Generally Recognized As Safe*, generalmente reconocido como seguro), cuyo uso solamente está sujeto a las buenas prácticas de fabricación, por lo que están exentos de requisitos de certificación. De hecho, más allá de ser colorantes, las betalainas poseen un espectro de aplicaciones terapéuticas que incluyen efectos antimicrobianos y antimaláricos, así como la prevención del crecimiento de diversas bacterias, levaduras y mohos, lo que sugiere su potencial en el tratamiento de infecciones. Además, se han observado efectos anticancerígenos en estudios *in vitro*, y se ha demostrado que tienen la capacidad de inducir la producción de betalainas dihidroxiladas en células cultivadas. También se ha investigado su potencial neuroprotector, particularmente en el contexto de enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Parkinson. Estas aplicaciones subrayan el interés en las

betalainas como compuestos bioactivos con beneficios para la salud humana (Madadi *et al.*, 2020).

La tuna se consume principalmente en fresco, aunque también se procesa en productos elaborados a pequeña escala o de forma artesanal, pudiendo encontrarse en mermeladas, yogures, jugos, jaleas o dulces (Sáenz Hernández *et al.*, 2013; Chacón-Garza *et al.*, 2020; Manzur-Valdespino *et al.*, 2022). Este proceso abarca la producción primaria y la distribución de la tuna, generando cantidades considerables de subproductos, tales como cáscaras, semillas y orujo (bagazo), pero también se producen frutos dañados mecánicamente (Tahiri *et al.*, 2011; Almanza y Fischer, 2012; Lazcano-Hernández *et al.*, 2023). Una mala disposición de estos subproductos puede tener varios impactos negativos en el ambiente, como la contaminación, impacto en la flora y la fauna local, atracción de plagas y vectores de enfermedades y emisión de gases de efecto invernadero. Considerando esto, junto con la significativa importancia nutricional, histórica y cultural de la tuna, es necesario utilizar de manera completa y sostenible los subproductos de este fruto.

En términos generales, la falta de procedimientos adecuados para gestionar subproductos agroalimentarios conlleva pérdidas económicas, problemas ambientales y desafíos en la distribución eficiente y equitativa de los alimentos (Lemes *et al.*, 2022). En este contexto, la revalorización de los subproductos agroalimentarios, derivados de fuentes animales y vegetales, producidos de manera significativa a lo largo de la cadena de suministro de alimentos, como se ilustra en la Figura 1, ejemplifica una estrategia alineada con los principios de la economía circular (Niero y Rivera, 2018), la cual busca maximizar la utilización de recursos y minimizar el desperdicio en toda la cadena de suministro de alimentos (Nautiyal y Goel, 2021). Para alcanzar este objetivo, es viable implementar prácticas como la inclusión de los subproductos en procesos de biorrefinería para la obtención de productos químicos de plataforma, el compostaje, la valorización energética y la extracción de compuestos bioactivos (Piga, 2004; Chasquibol-Silva *et al.*, 2008; Dueñas y García-Estévez, 2020). Estos últimos, además de tener potencial uso como aditivos alimentarios, pueden proporcionar beneficios para la salud más allá del valor nutricional (Lemes *et al.*, 2022). Además, estos compuestos pueden encontrar aplicaciones valiosas en las industrias farmacéutica y cosmética (Pérez-Flores *et al.*, 2024), ampliando así su utilidad más allá del ámbito alimentario.

Promover el uso de la tuna y de sus subproductos en alimentos funcionales y como complemento en tratamientos terapéuticos, puede beneficiar a la sociedad y a la industria. La tuna y sus subproductos poseen varios compuestos bioactivos con posibles efectos benéficos para la salud humana. Por ejemplo, la tuna tiene un índice

glucémico bajo y una carga glucémica alta, lo que la hace adecuada para su incorporación en alimentos funcionales para personas que requieren dietas de índice glucémico bajo (Ibarra Salas *et al.*, 2017). Además, se ha demostrado que la adición de fibra dietética procedente de fuentes como el bambú, los guisantes, la manzana, la patata, el trigo y la avena mejora las propiedades funcionales de los productos cárnicos, lo que indica el potencial de incorporar fibra de tuna en los productos cárnicos para mejorar su valor nutricional (Rivera-De Alba y Flores Girón, 2022), por lo que la posible incorporación de fibra de cáscaras de tuna podría tener el mismo efecto. Además, los compuestos bioactivos presentes en la tuna se han relacionado con posibles efectos terapéuticos, como propiedades antioxidantes, que son deseables para alimentos y tratamientos funcionales (Santander-M. *et al.*, 2017).

En el contexto de la industria, la valorización de la tuna y sus subproductos puede conducir al desarrollo de nuevos productos alimenticios funcionales. Esto se alinea con la creciente demanda de los consumidores de productos con propiedades funcionales y medicinales que aporten valor nutricional y contribuyan a la salud en general

(Caicedo-Vargas *et al.*, 2021). Además, la incorporación de compuestos bioactivos de la tuna en productos alimenticios puede mejorar sus propiedades, como la actividad antioxidante, que es un rasgo deseable para los alimentos funcionales (Santander-M. *et al.*, 2017). Además, se ha demostrado que el uso de subproductos valorizados de tuna, como la incorporación de fibra prebiótica, mejora la viabilidad de los probióticos en matrices alimentarias, lo que indica el potencial para desarrollar productos alimenticios funcionales con propiedades probióticas mejoradas (Rodríguez-Barona *et al.*, 2015).

Con base en todo lo anterior, el objetivo de esta contribución fue brindar un panorama general de la composición química, perfil nutricional y compuestos bioactivos de la tuna y de sus subproductos, y explorar las posibles aplicaciones de estos últimos, mediante una revisión de la literatura, con la finalidad de promover el uso de estos subproductos en la formulación de alimentos funcionales y como complemento en tratamientos terapéuticos, así como para resaltar su potencial económico y su importancia cultural en regiones donde la tuna es un elemento esencial.

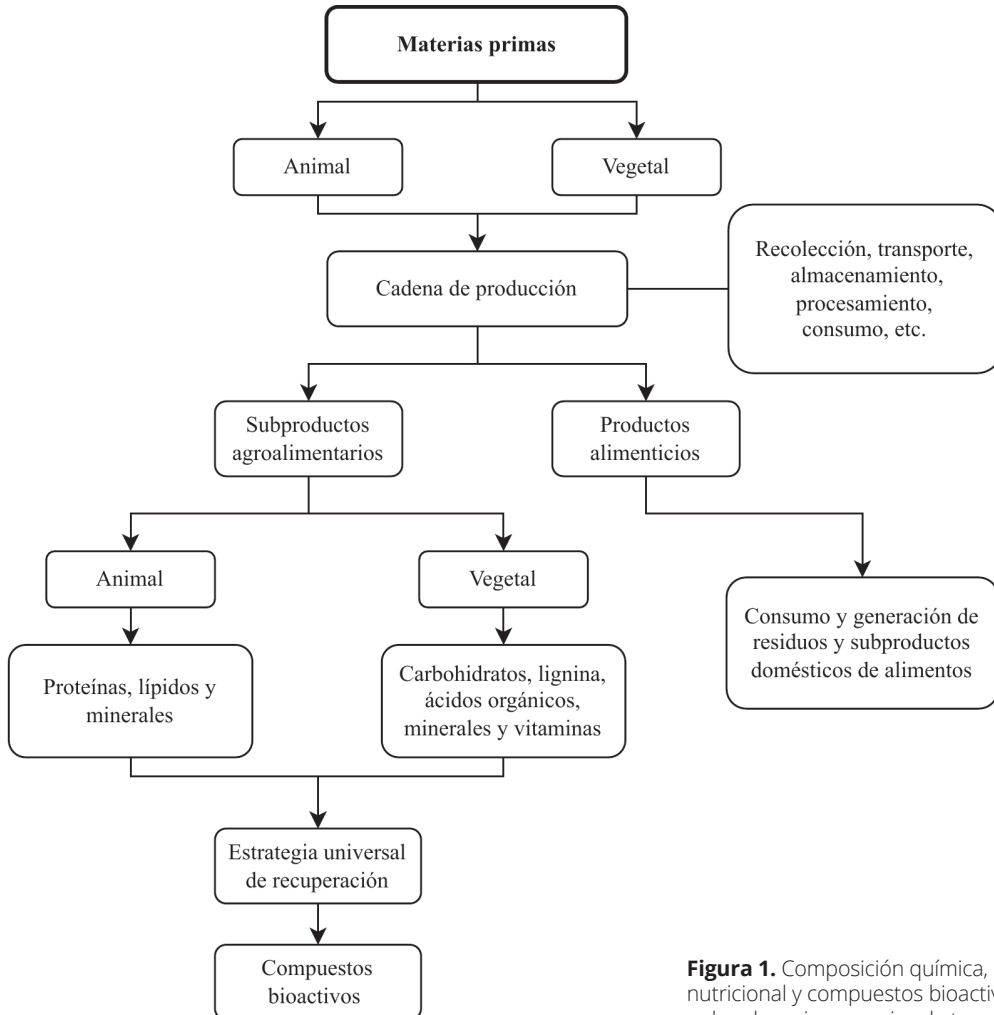


Figura 1. Composición química, perfil nutricional y compuestos bioactivos de la pulpa de varias especies de tuna.

VALOR CULTURAL DE LA TUNA EN MÉXICO

En el corazón de México, donde los siglos se mezclan y la historia se funde con la tierra misma, floreció una planta cuyo legado se entrelaza con la cultura y el alma del pueblo mexicano. El nopal, más que una simple planta, es un testigo silencioso de ocho mil años de historia en esta tierra ancestral. Hoy conocido como “tuna” en sus diversas variedades, este fruto del nopal ha sido mucho más que un manjar para los habitantes de estas tierras; ha sido un símbolo de vida, de sacrificio e identidad (Quiroz y Pradilla Rueda, 2018).

Junto con el aguacate, el cacao y otros tesoros endémicos, las diferentes civilizaciones mesoamericanas desarrollaron un importante sistema de explotación y consumo de estos frutos. Pueblos como el mexica, establecido en el Valle de México, desarrollaron sistemas de producción y consumo que sorprendieron en gran medida a los europeos a su llegada al continente americano en el siglo XVI. Fray Bernardino de Sahagún en su Historia general de las cosas de la Nueva España, no pudo contener su asombro al describir el nopal y sus frutos y relató lo siguiente:

HAY UNOS ÁRBOLES EN ESTA TIERRA QUE SE LLAMAN NOPALLI, QUE QUIERE DECIR “TUNAL” O “ÁRBOL QUE LLEVA TUNAS”. ES MOSTRUOSO [SIC] ESTE ÁRBOL. EL TRONCO SE COMPONE DE LAS HOJAS Y LAS RAMAS SE HACEN DE LAS MISMAS HOJAS. LAS HOJAS SON ANCHAS Y GRUESAS. TIENEN MUCHO ZUMO Y SON VISCOSAS. TIENEN ESPINAS LAS MISMAS HOJAS. LA FRUTA QUE EN ESTOS ÁRBOLES SE HACE SE LLAMA TUNA. SON DE BUEN COMER. ES FRUTA PRECIADA Y LAS BUENAS DELLAS [SIC] SON COMO CAMUESAS. LAS HOJAS DESTE [SIC] ÁRBOL CÓMENLAS CRUDAS Y COCIDAS... (DE SAHAGÚN, 1975).

El nopal y su fruto, brindaron un aporte nutricional a pueblos como el mexica y también ganaron un significado mágico y ritual en la cultura de estas sociedades. Tanto así, que actualmente la bandera de México aún muestra un águila devorando una serpiente precisamente sobre un nopal, cactus del que destacan varias tunas rojas. Estos frutos en la tradición nahua estaban profundamente vinculados a los sacrificios humanos que pueblos como el mexica llegaron a practicar como ofrenda a sus deidades principales, sobre todo a la deidad de la guerra, *Huitzilopochtli*. Fray Diego Duran, describió en el siglo XVI en su Historia de las Indias de la Nueva España lo siguiente, a propósito de la fundación de Tenochtitlán:

[...] A NUESTRO SEÑOR Y REY VIZILIUITL [SIC], ECHÁNDONOS DE AQUEL LUGAR, AL QUAL [SIC] MANDÓ LE MATÁSEMOS Y LE MATAMOS Y SACAMOS EL CORAZÓN, Y PUESTOS EN LUGAR QUEL [SIC] NOS MANDÓ LE ARROJE YO ENTRE LAS ESPADAÑAS, EL QUAL FUÉ Á [SIC] CAER ENCIMA DE UNA PEÑA, Y SEGÚN LA REVELACIÓN QUESTA [SIC] NOCHE ME MOSTRÓ, DICE QUE DESTE [SIC] CORAZÓN A [SIC] NACIDO UN TUNAL ENCIMA DESTA [SIC] PIEDRA, TAN LINDO Y COPOSO QUE ENCIMA DEL HACE SU MORADA UNA HERMOSA ÁGUILA. ESTE LUGAR NOS MANDA QUE BUSQUEMOS Y QUE ALLADO [SIC] NOS TENGAMOS POR DICHOSOS Y BIEN AVENTURADOS, PORQUE ESTE ES EL LUGAR DE NUESTRO DESCANSO Y DE NUESTRA QUIETUD Y GRANDEZA... (DURAN, 2005).

El nombre dado a la capital de los mexicas, denotó la importancia de este fruto, debido a que en náhuatl “Tenochtitlan” significa “lugar de tunas sobre piedra”. Por otro lado, los pueblos *hñāhñu* (otomí) originarios del Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo, se refieren a México, tanto la ciudad como el país, como “M´onda”, que significa “tunal” (Bernal Pérez, 2011).

Después del siglo XVI, la cocina novohispana experimentó una evolución culinaria que abarcó tres siglos y que incorporó una amplia variedad de frutos, semillas, raíces, insectos y granos de origen prehispánico. Estos ingredientes dejaron una marca distintiva en las múltiples expresiones culinarias que caracterizan la gastronomía contemporánea de México. Además, estos elementos han servido como fuente de inspiración simbólica para el nacionalismo mexicano.

En este contexto, la tuna, un fruto con un profundo valor histórico y cultural en México, se encuentra indiscutiblemente dentro del grupo de alimentos de origen prehispánico que merece un estudio detenido. A lo largo de la historia, la tuna ha ocupado un lugar fundamental en la dieta y la cultura mexicana, y su influencia perdura hasta la actualidad. Su importancia va más allá del consumo directo, ya que también se extiende a la utilización de sus subproductos.

La demanda de la tuna ha aumentado en los mercados nacionales e internacionales debido al creciente reconocimiento de su valor nutricional y para la salud (Giraldo-Silva *et al.*, 2023). Debido a sus propiedades tecnológicas, nutricionales y beneficios que aporta a la salud humana, la especie tuna representa una oportunidad para que los productores locales obtengan acceso a mercados superiores en los que los consumidores ponen énfasis en el carácter exótico y los rasgos de calidad. Por ejemplo, en el estado de Hidalgo aún persiste el consumo de este fruto, que lejos de desaparecer constituye la oportunidad de muchas personas de escasos recursos económicos de vender un producto de temporada, ya sea a la orilla de los caminos o en los múltiples mercados que existen en la región. En Actopan o Ixmiquilpan aún puede encontrarse con el nombre *kähä*, palabra muy antigua, en *hñāhñu* (otomí del Valle del Mezquital), así como *xāt´ä* (nopal), en la misma lengua (Bernal Pérez, 2011). Mientras que, en comunidades originarias del municipio de San Salvador, Hidalgo, las calles están nombradas con palabras que aluden a esta fruta y sus variedades en la lengua *hñāhñu*. En consecuencia, el aprovechamiento de los subproductos de la tuna como matrices de extracción de compuestos bioactivos, permitiría explorar nuevas aplicaciones en la industria alimentaria, biomédica y cosmética,

brindando una alternativa viable y amigable con el ambiente para integrarlos dentro de una economía circular.

ASPECTOS NUTRICIONALES DE LA TUNA

La composición química de la tuna incluye diversos compuestos bioactivos y nutrientes, y ha ganado popularidad por los beneficios que aporta su consumo para la salud humana. Dentro de estos beneficios se incluyen propiedades antioxidantes, antiaterogénicas y antiulcerogénicas, con efectos protectores contra la peroxidación de lipoproteínas de baja densidad (Barba *et al.*, 2017). La variabilidad en la composición química de la tuna depende de la especie, de la variedad, del manejo del cultivo, del manejo postcosecha y, en menor medida, de la madurez, pues al ser una fruta no climatérica, es importante cosecharla en el punto de madurez óptimo para su consumo (Lazcano-Hernández *et al.*, 2023).

La Tabla 1 detalla la composición química, nutricional y compuestos bioactivos presentes en la tuna (Stintzing *et al.*, 1999; Ramadan y Mörsel, 2003; Barba *et al.*, 2017), destacando su elevado contenido de agua (87.55%) y su aporte calórico de 41 kcal por cada 100 g, posicionándola como una alternativa baja en calorías. La fruta no tiene un aroma distintivo, pero la pulpa es muy dulce y el componente de azúcar es principalmente glucosa y fructosa (en cantidades similares), cuya concentración oscila entre 10 y 17 °Brix (Cota-Sánchez, 2015).

Aunque la cantidad de proteínas es modesta (0.73 g por 100 g), se ha reportado la presencia

de los 9 aminoácidos esenciales en la tuna, necesarios para la síntesis de proteínas y diversas funciones biológicas. La tuna destaca por su bajo contenido de grasas totales (0.51 g por 100 g) y carbohidratos moderados (9.57 g por 100 g). Además, presenta una variedad de minerales esenciales, incluyendo calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio y zinc. En cuanto a las vitaminas, se destaca su contenido en vitamina C (14 mg por 100 g) y varias del grupo B.

Los ácidos grasos saturados son bajos, mientras que los monoinsaturados y polinsaturados, como el ácido linoléico (C18:2, c9c12, omega-6) y el ácido alfa-linolénico (C18:3, c9c12c15, omega-3), están presentes, beneficiando la salud cardiovascular. En la tuna también se ha reportado la presencia de fitoesteroles con niveles notables de campesterol (8.74 g/kg de aceite), estigmasterol (0.73 g/kg de aceite), lanosterol (0.76 g/kg de aceite), β -sitosterol (11.2 g/kg de aceite) y Δ 5-avenasterol (1.43 g/kg de aceite). Estos fitoesteroles, conocidos por sus propiedades beneficiosas para la salud, como la reducción del colesterol y actividades antiinflamatorias, también promueven la salud cardiovascular.

Finalmente, la presencia de polifenoles como isorhamnetina, kaempferol y quercetina sugiere propiedades antioxidantes, contribuyendo a combatir el estrés oxidativo y reducir el riesgo de enfermedades crónicas.

Por lo tanto, la tuna emerge como una fruta nutritiva y antioxidante, ideal para incorporar como complemento en una dieta equilibrada y como promotora de la salud humana.



Tabla 1. Composición química, perfil nutricional y compuestos bioactivos de la pulpa de varias especies de tuna (Stintzing *et al.*, 1999; Ramadan y Mörsel, 2003; Barba *et al.*, 2017).

Datos nutricionales de la tuna	Valores	Datos nutricionales de la tuna	Valores
Agua	87.55 g/100 g	Lípidos	
Energía	41 kcal/100 g	Ácidos grasos, saturados totales	0.067 g/100 g
Energía	172 kJ/100 g	C16:0	0.052 g/100 g
Proteína	0.73 g/100 g	C18:0	0.01 g/100 g
Lípidos totales (grasa)	0.51 g/100 g	Ácidos grasos, monoinsaturados totales	0.075 g/100 g
Cenizas	1.64 g/100 g	C16:1	0.002 g/100 g
Carbohidratos	9.57 g/100 g	C18:1	0.072 g/100 g
Fibra, dietética total	3.60 g/100 g	C20:1	0.001 g/100 g
Minerales		Ácidos grasos, polinsaturados totales	0.213 g/100 g
Calcio, Ca	56 mg/100 g	C18:2	0.186 g/100 g
Hierro, Fe	0.30 mg/100 g	C18:3	0.023 g/100 g
Magnesio, Mg	85 mg/100 g	Fitoesteroles	
Fósforo, P	24 mg/100 g	Campesterol	8.74 ±0.75 g/kg de aceite
Potasio, K	220 mg/100 g	Estigmasterol	0.73 ±0.08 g/kg de aceite
Sodio, Na	5 mg/100 g	Lanosterol	0.76±6 0.07 g/kg de aceite
Zinc, Zn	0.12 mg/100 g	β-sitosterol	11.2±6 1.21 g/kg de aceite
Cobre, Cu	0.08 mg/100 g	Δ5-avenasterol	1.43±6 0.13 g/kg de aceite
Selenio, Se	0.60 µg/100 g	Aminoácidos esenciales	
Vitaminas		Histidina	208.2-343.2 µmol/L
Vitamina C, ácido ascórbico total	14 mg/100 g	Isoleucina	165.9-296.1 µmol/L
Tiamina	0.014 mg/100 g	Leucina	151.8-162.2 µmol/L
Riboflavina	0.06 mg/100 g	Lisina	113.0-125.4 µmol/L
Niacina	0.46 mg/100 g	Metionina	217.6-377.6 µmol/L
Vitamina B-6	0.06 mg/100 g	Fenilalanina	133.1-145.8 µmol/L
Folato, total	6 µg/100 g	Treonina	97.0-126.6 µmol/L
Folato, comida	6 µg/100 g	Triptófano	45.2-85.9 µmol/L
Folato, equivalentes dietéticos	6 µg/100 g	Valina	280.6 426.5 µmol/L
Vitamina A, actividad de retinol	2 µg/100 g	Polifenoles	
β-caroteno	25 µg/100 g	Isorhamnetina	0.70 mg/100 g
β-criptoxantina	3 µg/100 g	Kaempferol	0.20 mg/100 g
Vitamina A	43 UI/100 g	Quercetina	4.90 mg/100 g

INDUSTRIALIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA TUNA

La industrialización de la tuna ha despertado interés debido a la variedad de subproductos que se pueden aprovechar (Panza *et al.*, 2022). La industrialización de la tuna y de sus subproductos, ha incluido la transformación de la pulpa, de la piel y de las semillas en productos con valor agregado, como jugos, mermeladas, aceites, y productos para la industria alimentaria y cosmética (El Mannoubi *et al.*, 2009; Sáenz Hernández *et al.*, 2013; Chougui *et al.*, 2015; Mariod, 2019; ALy, 2019; Belviranlı *et al.*, 2019; Vastolo *et al.*, 2020; Panza *et al.*, 2022).

Un ejemplo del procesamiento de la tuna a nivel industrial se muestra en la Figura 2, durante la producción del jugo de tuna. Este diagrama proporciona una visión general del proceso de producción, desde la preparación inicial de la materia prima hasta el almacenamiento y distribución del producto final. En el proceso industrial de producción de jugo de tuna, se inicia con el pelado y corte de la fruta, seguido por el prensado de la pulpa para extraer el jugo. A continuación, se realiza la formulación del jugo, combinando el jugo extraído con agua, azúcar y ácido cítrico según una receta específica, asegurándose de lograr una mezcla homogénea mediante un proceso de mezclado. Posteriormente, el jugo se somete a pasteurización a 98-100°C durante 20 segundos para garantizar la eliminación de posibles microorganismos y garantizar la inocuidad alimentaria, seguido por el llenado y sellado en envases previamente preparados. Tras el envasado, se lleva a cabo un enfriamiento del producto a 30-40°C para preservar la calidad y prolongar la vida útil. Posteriormente, se procede al etiquetado y envasado final antes de almacenar el jugo en refrigeración a 0-5°C para conservar su frescura.

Finalmente, el producto terminado se distribuye a los puntos de venta y consumidores finales. La cáscara (epicarpio y mesocarpio) y el orujo (bagazo), son los subproductos generados en este proceso, en donde hasta el 45% (p/p) del peso fresco se descarta como subproductos, donde las semillas representan alrededor del 5.70-7.90% (p/p) (Sáenz Hernández *et al.*, 2013).

En ese contexto, se ha investigado la utilización de subproductos de la tuna, como las cáscaras y semillas no destinadas a la extracción de aceite, para generar biogás y como alimento para animales (Vazquez-Mendoza *et al.*, 2017; Amer *et al.*, 2019; Vastolo *et al.*, 2020; Timpanaro *et al.*, 2021). Aunque también se ha utilizado la harina de cáscara de tuna como fuente natural de minerales, fibra dietética y antioxidantes en formulaciones de productos de panificación (El-Beltagi *et al.*, 2023). Por su parte, las tunas dañadas mecánicamente, que también son consideradas subproductos (Lazcano-Hernández *et al.*, 2023), contienen mucílagos con alto contenido de ácidos galacturónicos (fibra dietética) que pueden actuar como agente espesante en formulaciones alimentarias debido a su capacidad de retención de agua (Barba *et al.*, 2017). Además, se han identificado diversas aplicaciones de estos subproductos, como la elaboración de suplementos alimenticios a partir de la cáscara (Manzur-Valdespino *et al.*, 2020), el uso de antioxidantes obtenidos a partir de la cáscara para la preservación de margarina (Chougui *et al.*, 2015), la inclusión de la cáscara como ingrediente en la elaboración de galletas (Bouazizi *et al.*, 2020), de mermelada (López Orozco *et al.*, 2011) y de chorizo mexicano (Acosta-Morales *et al.*, 2023); y en última instancia, la extracción de nutrientes y de compuestos bioactivos (Belhadj Slimen *et al.*, 2021; Lazcano-Hernández *et al.*, 2023).

La recuperación de estos compuestos bioactivos a partir de los subproductos agroalimentarios puede

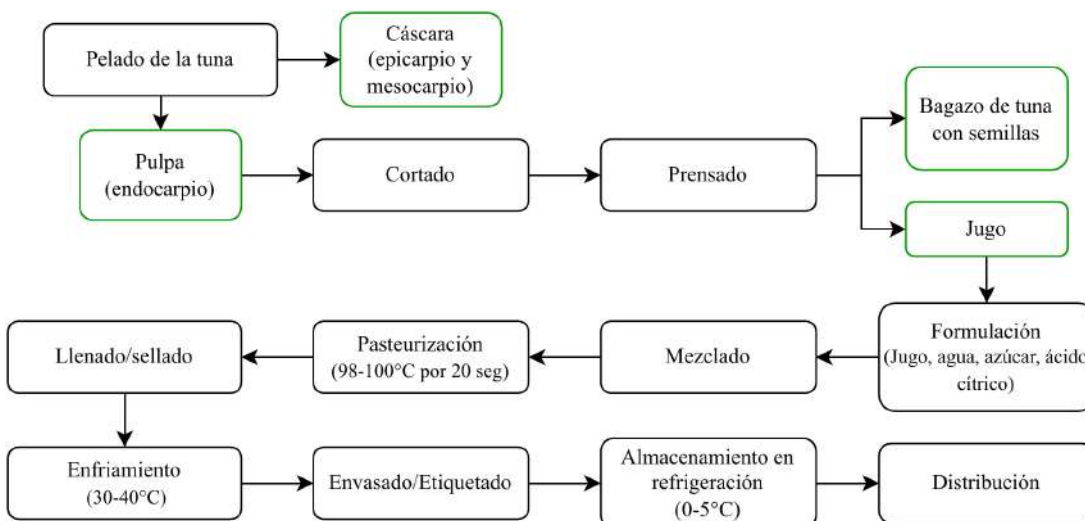


Figura 2. Diagrama de flujo para la producción de jugo de tuna.

ser llevada a cabo mediante la implementación de una metodología conocida como Estrategia Universal de Recuperación de Compuestos Bioactivos (EURCB) (Galanakis, 2012, 2015; Pérez-Flores *et al.*, 2019; Lazcano-Hernández *et al.*, 2023), que consiste en un proceso de 5 etapas que se muestra en la Figura 3, aunque se pueden eliminar etapas y/o cambiar el orden con el propósito de separar eficazmente los compuestos objetivos de la matriz alimentaria. El proceso suele pasar del nivel macroscópico al macromolecular, para posteriormente aplicar un paso de clarificación o aislamiento y, finalmente, la formación del producto o la encapsulación de los compuestos bioactivos objetivo (Galanakis, 2012). Debido a que los subproductos agroalimentarios son mezclas constituidas de diferentes fases macroscópicas conformadas por diferentes moléculas con diferentes propiedades estructurales y fisicoquímicas, la EURCB permite separar y aislar

gradualmente los compuestos objetivos, garantizando la recuperación de varios tipos de compuestos valiosos a partir de cualquier subproducto mediante la gestión optimizada de las tecnologías disponibles (Galanakis, 2012, 2015). Anteriormente, ya se ha descrito el uso de la EURCB para extraer los compuestos bioactivos a partir de los subproductos de la tuna (Lazcano-Hernández *et al.*, 2023).

En la Figura 4 se muestra un diagrama relacionado con la valorización de los subproductos de la tuna (Koubaa *et al.*, 2016; Barba *et al.*, 2017). La cáscara es una fuente de fenoles, polisacáridos, tocoferoles, minerales (calcio y potasio), entre otros, mientras que las semillas son fuente de fibras, proteínas y de ácidos grasos. De hecho, el contenido de lípidos se encuentra distribuido en la cáscara, las semillas y la pulpa, siendo considerablemente superior en las semillas que en la

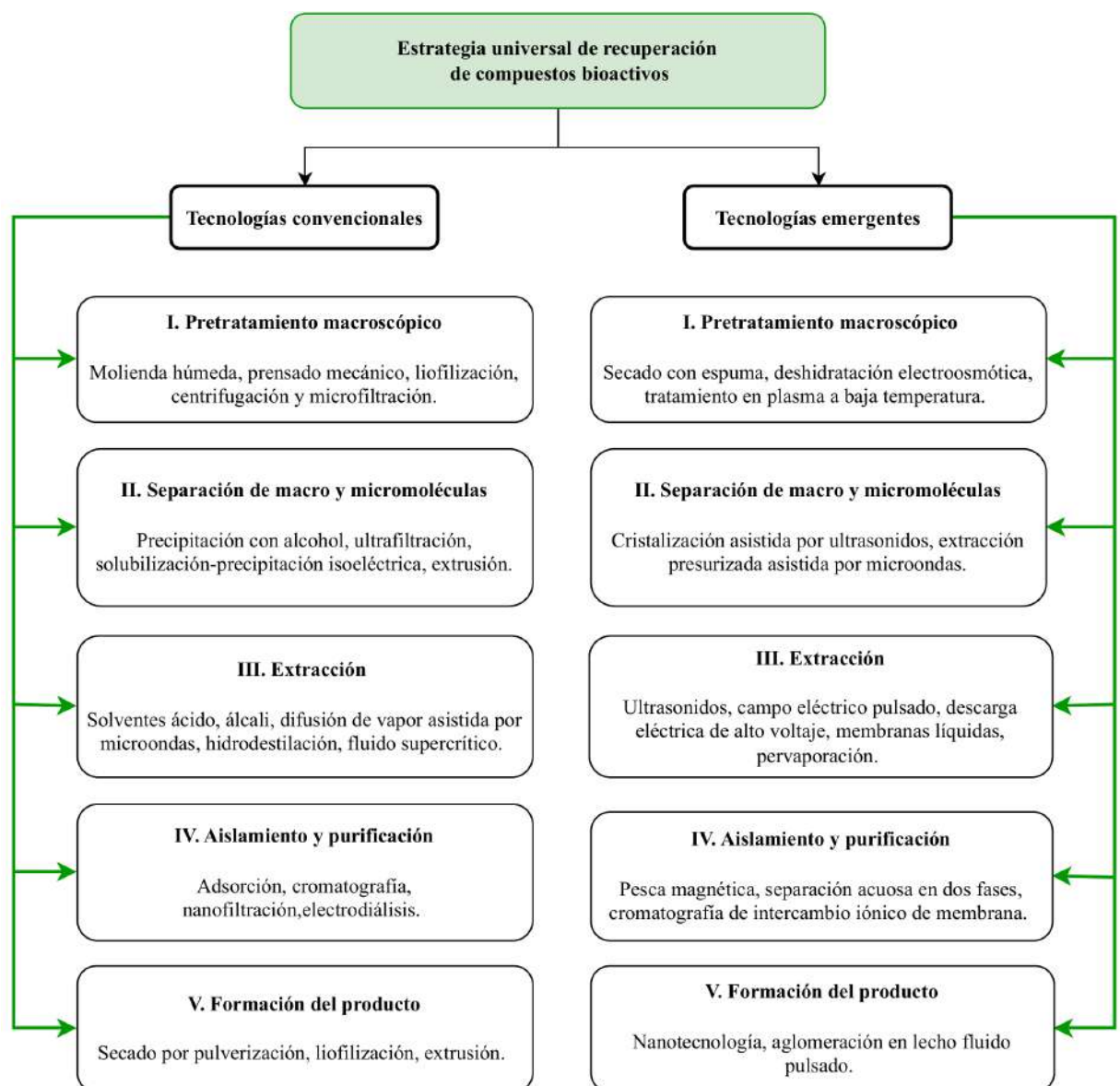


Figura 3. Diagrama general de la estrategia universal de recuperación de compuestos bioactivos con tecnologías convencionales y emergentes.

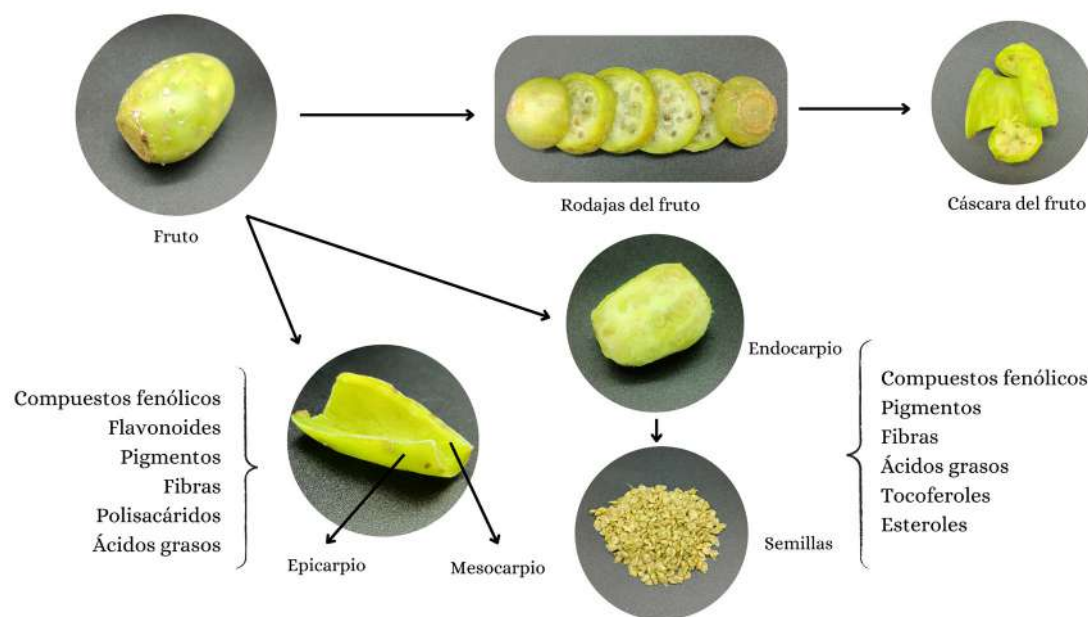


Figura 4. Valorización de los subproductos generados durante la producción y distribución de la tuna, con base en los compuestos bioactivos presentes en las diversas partes del fruto.

pulpa (Koubaa *et al.*, 2016; Barba *et al.*, 2017; Lazcano-Hernández *et al.*, 2023). Las semillas presentan el siguiente perfil de ácidos grasos (indicando entre paréntesis la cantidad en gramos por cada 100 gramos): ácido mirístico (0.13 ± 0.02), ácido palmítico (12.23 ± 1.70), ácido oleico (25.52 ± 1.10), ácido linoléico (61.01 ± 1.30), ácido esteárico (0.15 ± 0.03) y ácido araquidónico (0.95 ± 0.07). Dada su significativa aportación de fibra natural (12.47 ± 2.3) y el mayoritario contenido en ácido linoléico, el aceite extraído de estas semillas puede ser utilizado como un agente nutracéutico (Ö-Zcan y Al Juhaimi, 2011). La cáscara contiene ácido linoleico, α -tocoferol, esteroides, β -caroteno y vitamina K1. Por otra parte, el γ -tocoferol es el componente mayoritario en la semilla, mientras que el δ -tocoferol se encuentra principalmente en la pulpa (Lazcano-Hernández *et al.*, 2023).

Por otro lado, en la Tabla 2 se muestra la composición química de la fibra total de la tuna (El Kossori *et al.*, 1998). La tabla revela la variabilidad en la composición química de la fibra total de la tuna, destacando notables diferencias entre la pulpa, la cáscara y las semillas. La celulosa domina en la cáscara y semillas, representando el componente principal, mientras que la pulpa exhibe una alta proporción de pectina. La hemicelulosa está presente en todas las partes, siendo más significativa en la cáscara. La lignina se encuentra en proporciones mínimas en todas las partes. Estos datos ofrecen una visión detallada de la composición de la tuna, información valiosa para aplicaciones alimentarias, de fibra y para la comprensión de su potencial nutricional y utilidad en diversos campos.

Tabla 2. Composición química de la fibra total de la tuna (g/100 g, base seca) (El Kossori *et al.*, 1998).

Componente	Pulpa	Cáscara	Semillas
Hemicelulosa	15.5 ± 0.45	20.8 ± 0.55	9.95 ± 0.58
Celulosa	14.2 ± 1.07	71.4 ± 1.99	83.2 ± 0.25
Pectina	70.3 ± 1.30	7.71 ± 1.45	6.69 ± 0.46
Lignina	0.01 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.19 ± 0.04

La extracción de hemicelulosa, celulosa, pectina y lignina a partir de la cáscara, pulpa de productos dañados mecánicamente y semillas de la tuna, tiene aplicaciones clave en diversas industrias. En la industria alimentaria, la pectina se emplea como espesante y estabilizante en mermeladas y productos lácteos, mientras que la hemicelulosa mejora la textura de alimentos procesados. En la industria farmacéutica, la pectina y la hemicelulosa se utilizan en tabletas y comprimidos. En la cosmética, ambas se emplean en cremas y lociones. La celulosa y la lignina encuentran uso en la producción de papel y productos químicos en la industria papelera, y también pueden aplicarse en productos fitosanitarios y fertilizantes agrícolas. La lignina tiene potencial en la producción de bioplásticos y biocombustibles en la industria energética, y la celulosa se utiliza en fibras textiles sostenibles. Además de los beneficios económicos, esta extracción promueve la sostenibilidad y reduce el desperdicio de subproductos agroalimentarios, contribuyendo a la creación de productos más respetuosos con el medio ambiente en diversas industrias (Mamma y Christakopoulos, 2008; Thakur *et al.*, 2014; Brodin *et al.*, 2017; Rong *et al.*, 2018; Hussain *et al.*, 2020; Felgueiras *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2023; Pérez-Flores *et al.*, 2024).

EFFECTOS BENÉFICOS SOBRE LA SALUD HUMANA

En la actualidad, la constante búsqueda de fuentes naturales de compuestos químicos que promuevan el bienestar y la salud se debe al marcado interés por la obtención de antioxidantes y compuestos bioactivos provenientes de fuentes naturales, como cereales (Islas-Martínez *et al.*, 2023), trucha arcoíris (Pérez-Escalante *et al.*, 2022), algas marinas y semillas de quinoa (Vidal *et al.*, 2006; Valencia *et al.*, 2017), así como de subproductos agroalimentarios como el bagazo de cebada (Pérez-Flores *et al.*, 2019) y el lactosuero (Tolentino-Barroso *et al.*, 2023). Estos

compuestos han demostrado tener propiedades beneficiosas para la salud, como la actividad antioxidante y antihipertensiva (Pérez-Escalante *et al.*, 2022; Islas-Martínez *et al.*, 2023; Tolentino-Barroso *et al.*, 2023), lo que los hace atractivos para la formulación de alimentos funcionales y el tratamiento de enfermedades, tanto a nivel físico como mental (Luisetti *et al.*, 2020; Mendoza Mendoza *et al.*, 2023; Tolentino-Barroso *et al.*, 2023). De manera similar, la tuna y sus subproductos emergen como una fuente indiscutible de compuestos bioactivos con propiedades multifacéticas, incluyendo la prevención de enfermedades crónicas (Yeddes *et al.*, 2013; Gómez-Maqueo *et al.*, 2019).

En ese sentido, se ha reportado que los subproductos de la tuna son ricos en compuestos bioactivos que pueden proporcionar muchos beneficios para la salud, tales como los efectos: antiinflamatorio, hipolipemiente, antiestresamiento, neuroprotector, prebiótico y antimicrobiano (especialmente contra bacterias Gram positivas); así como la inhibición y la protección contra los radicales libres, la actividad citotóxica contra algunas líneas celulares de cáncer y la reducción de la aterosclerosis y de la glucemia (Tilahun *et al.*, 2018; Gouws *et al.*, 2019; Manzur-Valdespino *et al.*, 2022; Giraldo-Silva *et al.*, 2023). De hecho, en la Tabla 3 se presentan algunos ejemplos de extractos obtenidos de la tuna y de sus subproductos y sus respectivas actividades biológicas (Fernandez *et al.*, 1992; Dok-Go *et al.*, 2003; Deldicque *et al.*, 2013; Allegra *et al.*, 2014; El-Mostafa *et al.*, 2014; Tesoriere *et al.*, 2014; Welegerima y Zemene, 2017). La Tabla 3 revela que los extractos de la cáscara de tuna exhiben actividad antimicrobiana contra diversas cepas bacterianas, mientras que el endocarpio de la tuna muestra propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, tanto en ratas como en células humanas. Además, el extracto de la cáscara de tuna demuestra ser

neuroprotector y hepatoprotector en estudios con ratas. En humanos, las cápsulas con extracto de cladodios y cáscara de tuna presentan efectos antidiabéticos, y tanto las semillas en polvo como el aceite de semillas de tuna muestran efectos beneficiosos para reducir los niveles de lípidos y colesterol en ratas.

Adicionalmente, los efectos de los extractos acuosos de la tuna pueden extenderse a otras áreas de las ciencias de la salud, en particular en la Odontología y en el tratamiento de enfermedades transmitidas por alimentos (Albuquerque *et al.*, 2020). Un estudio *in vitro* demostró que los extractos de la tuna son capaces de inhibir el crecimiento de las principales cepas de bacterias Gram-negativas responsables de enfermedades periodontales en humanos, como *Porphyromonas gingivalis* y *Prevotella intermedia* (Arbia *et al.*, 2017). Además, se han encontrado otras acciones antimicrobianas en los extractos de la tuna, mostrando efectos bactericidas sobre *Campylobacter jejuni* y *Campylobacter coli* (Castillo *et al.*, 2011), y en *Vibrio cholera* (Sánchez *et al.*, 2010).

Estos resultados sugieren el potencial de los subproductos de la tuna como fuentes ricas en compuestos bioactivos con aplicaciones terapéuticas y nutricionales. Por lo tanto, la tuna y sus subproductos son candidatos ideales para la producción de alimentos, bebidas y productos promotores de la salud humana.

Finalmente, la creciente exigencia de productos naturales y saludables tanto en los mercados nacionales como internacionales refuerza la importancia de la tuna y sus subproductos como recursos valiosos para las industrias alimentaria y biomédica, ofreciendo oportunidades económicas para las comunidades locales y fomentando prácticas sostenibles alineadas con los principios de la economía circular.



Tabla 3. Principales efectos bioactivos de los compuestos presentes en los subproductos de la tuna.

Actividad biológica	Fuente	Modelo <i>in vivo</i> o <i>in vitro</i>	Metodología	Resultados principales	Referencia
Antimicrobiana	Extractos metanólico, etanólico y de cloroformo de cáscara de tuna	<i>Escherichia coli</i> (ATCC2592), <i>Streptococcus pneumoniae</i> (ATCC63), <i>Salmonella typhi</i> (B2836) y <i>Bacillus subtilis</i> (S456)	La capacidad antimicrobiana de los extractos de la cáscara de tuna fue evaluada usando el método de difusión en agar. Se introdujo y esparció asepticamente 0.1 mL de cultivo recién crecido de patógenos bacterianos (10 ⁶ CFU/mL) en la superficie de placas de agar Muller Hilton estériles. Se hicieron pozos de 6 mm de diámetro en la placa de agar con la ayuda de un sacabocados estéril. Se utilizó agua destilada estéril como control negativo, mientras que los antibióticos comerciales (Tetraciclina 10µg y Vancomicina 10µg) se usaron como controles positivos. Las placas se dejaron por un tiempo a 4°C hasta que el extracto se difundiera en el medio con la tapa cerrada, y luego se permitió la incubación de las placas bacterianas a 37°C. Además, se determinó la Concentración mínima inhibitoria para los aislados bacterianos utilizando el método de difusión en agar.	Los extractos de piel de tuna demostraron una buena actividad antibacteriana contra cuatro aislados bacterianos, con zonas de inhibición del crecimiento que variaron de 9.40 mm a 23.52 mm, lo cual fue significativo (p<0.01). Además, la concentración mínima inhibitoria de los extractos varió, indicando que las bacterias patógenas tenían diferentes niveles de resistencia a los extractos y que no eran fácilmente eliminadas a la concentración más baja (mayor dilución). Esto sugiere que los extractos de la piel de tuna poseen un potencial antibacteriano de amplio espectro.	(Welegerima y Zemene, 2017)
Antiinflamatoria y antioxidante	Extracto metanólico de la tuna amarilla (endocarpio): indicaxantina o ácido (2S)-2,3-dihidro-4-[2-[(2S)-2α-carboxipirrolidin-1-il]jetenil]piridin-2α,6-dicarboxílico	Ratas Wistar macho (Harlan)	Se realizaron tres experimentos separados con un total de 30 ratas, administrando diferentes dosis de indicaxantina (0-2 mmol/kg) a ratas tratadas con carragenina para inducir inflamación. Se evaluaron los niveles de expresión de mRNA y proteínas de marcadores inflamatorios, como IL-1β, TNF-α, iNOS y COX-2, así como los productos de oxidación de nitrito (NOx) en el exudado inflamatorio. Los análisis estadísticos emplearon ANOVA de un factor y prueba de Bonferroni para comparaciones de dosis en cada nivel de tiempo. Además, se midió la actividad de unión de NF-κB/DNA mediante ensayos de movilidad electroforética. Estos estudios permitieron evaluar la eficacia de indicaxantina en contrarrestar la fase aguda de la pleuresía inducida por carragenina en ratas.	Se demostró que la indicaxantina, redujo los parámetros inflamatorios, como el óxido nítrico, la prostaglandina E2, la IL-1β y el TNF-α. Además, inhibió la activación de factores de transcripción clave en la cascada inflamatoria y disminuye tanto el volumen de exudado como la infiltración de leucocitos. Los hallazgos sugieren que la indicaxantina tiene potencial como agente terapéutico para trastornos relacionados con la inflamación y como sustancia promotora de la salud a dosis nutricionalmente relevantes.	(Allegra <i>et al.</i> , 2014)
Antiinflamatoria y antioxidante	Extracto metanólico de la tuna amarilla (endocarpio)	Células Caco-2 derivadas de adenocarcinoma de colon humano	Para evaluar la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de indicaxantina, un fitoquímico presente en la fruta de la tuna, se utilizó un modelo <i>in vitro</i> con monocapas de células intestinales Caco-2. Se estimuló a las células con IL-1β para inducir inflamación y se midió la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), la permeabilidad de las uniones estrechas (TJ), y la activación de vías inflamatorias como la de NF-κB. Además, se evaluó la inhibición de la producción de citoquinas proinflamatorias, PGE2, óxido nítrico, y la activación de NADPH oxidasa. La capacidad antioxidante se determinó por la capacidad de indicaxantina para mantener el equilibrio redox celular y prevenir el aumento de la permeabilidad epitelial.	En un estudio <i>in vitro</i> utilizando células intestinales Caco-2, se demostró que el pretratamiento con indicaxantina inhibe significativamente la activación de la vía de NF-κB inducida por IL-1β, lo que sugiere que su actividad antiinflamatoria podría mediar la inhibición de esta vía de señalización. Además, la indicaxantina redujo la expresión de las enzimas proinflamatorias COX-2 e iNOS en un grado dependiente de la concentración. En cuanto a la capacidad antioxidante, la indicaxantina disminuyó la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y previno la depleción de tioles en las células Caco-2 tratadas con IL-1β, lo que indica un efecto protector contra el estrés oxidativo inducido por la inflamación.	(Tesoriere <i>et al.</i> , 2014)

Tabla 3. Principales efectos bioactivos de los compuestos presentes en los subproductos de la tuna.

Actividad biológica	Fuente	Modelo <i>in vivo</i> o <i>in vitro</i>	Metodología	Resultados principales	Referencia
Neuroprotectora y hepatoprotectora	Extracto metanólico de cladodios y de cáscara de tuna	Ratas Sprague Dawley machos y hembras	Se evaluaron los efectos neuroprotectores de tres flavonoides: quercetina, (1)-dihidroquercetina y quercetina 3-metil éter, aislados de cáscara de tuna, utilizando células corticales primarias cultivadas de rata. Se investigó la capacidad de estos compuestos para inhibir lesiones neuronales inducidas por estrés oxidativo, provocadas por peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂) o un sistema de xantina/xantina oxidasa (X/XO). Además, se midió la actividad antioxidante de los flavonoides mediante tres bioensayos diferentes sin células.	Se descubrió que los tres flavonoides aislados de <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> : quercetina, (1)-dihidroquercetina y quercetina 3-metil éter, ofrecían efectos neuroprotectores en células corticales de rata cultivadas, mitigando el daño neuronal inducido por estrés oxidativo. La quercetina mostró la inhibición más potente, seguida por la quercetina 3-metil éter y luego la (1)-dihidroquercetina, además de demostrar actividades antioxidantes y de captación de radicales libres, sugiriendo su potencial para prevenir y tratar trastornos neurológicos causados por estrés oxidativo.	(Dok-Go <i>et al.</i> , 2003)
Antidiabética	Cápsula con extracto de cladodios y de cáscara de tuna (OpunDia™)	Humano	En este estudio, se realizó un ensayo cruzado doble ciego en el que los sujetos sanos participaron en cuatro sesiones experimentales con una semana de intervalo entre ellas. Antes de las sesiones, los sujetos se abstuvieron de realizar ejercicio de alta intensidad durante 48 horas y recibieron una cena estandarizada rica en carbohidratos. A la mañana siguiente, en ayunas, realizaron un ejercicio de resistencia de 30 minutos al 70% de su VO ₂ máx. El VO ₂ máx. es el valor que representa la capacidad cardiovascular y respiratoria de una persona. Posteriormente, se les administraron cápsulas que contenían placebo, extracto de <i>Opuntia ficus-indica</i> , leucina o una combinación de ambos, seguido de una prueba de tolerancia a la glucosa oral durante 2 horas, con muestras de sangre tomadas en varios intervalos para medir la glucosa e insulina en suero.	Los resultados revelaron que la combinación de extracto de cladodios y de cáscara de tuna y leucina tiene un efecto insulínico aditivo después del ejercicio en hombres sanos, lo que puede aumentar la estimulación de insulina inducida por carbohidratos y ser beneficioso para la resíntesis de glucógeno muscular. Los resultados sugieren que estos ingredientes podrían ser útiles en bebidas de recuperación para atletas que buscan restaurar el glucógeno muscular más rápidamente después de ejercicios de resistencia de alta intensidad, aunque se requiere más investigación para confirmar la eficacia de esta estrategia nutricional.	(Deldicque <i>et al.</i> , 2013)
Hipolipidémica e hipocolesterolémica	Semillas en polvo y aceite de semillas de tuna	Ratas	No especificado.	No especificado.	(El-Mostafa <i>et al.</i> , 2014)
Hipocolesterolémica	Pectina de tuna	Cobayas (<i>Cavia porcellus</i>)	Se alimentó a cobayas con dietas que contenían manteca de cerdo y colesterol, con o sin pectina de tuna. Se aislaron y analizaron las lipoproteínas plasmáticas, y se midieron las cinéticas de recambio de lipoproteína de baja densidad (LDL). Además, se determinaron las concentraciones de microsomas hepáticos y se realizó el ensayo de la enzima hepática 3-hidroxi-3-metilglutaril coenzima A reductasa para evaluar el efecto hipocolesterolémico de la pectina de tuna.	Los principales resultados del estudio indican que la inclusión de pectina de nopal en la dieta de cobayos resultó en una disminución significativa de las concentraciones de colesterol total y de LDL en plasma. Además, se observaron cambios en la composición de LDL, con una menor proporción de ésteres de colesterol y colesterol libre, y un aumento en la proporción de triglicéridos. La pectina de nopal también mostró un posible incremento en las tasas de catabolismo fraccional del LDL.	(Fernandez <i>et al.</i> , 1992)

CONCLUSIONES

Este estudio ha cumplido con su objetivo de proporcionar un panorama general de la composición química, el perfil nutricional y los compuestos bioactivos presentes en la tuna y sus subproductos, así como de sus aplicaciones potenciales. La revisión de la literatura ha confirmado que la tuna es una fuente rica en glucosa, fructosa, proteínas, minerales, vitaminas, ácidos grasos saludables, fitoesteroles y polifenoles, lo que la convierte en un alimento con propiedades nutritivas y antioxidantes.

Además, se destacó el uso de la EURCB para la extracción eficiente de estos valiosos compuestos, lo que subraya la viabilidad de valorizar los subproductos de la tuna en diversas industrias.

Los hallazgos de esta contribución resaltan la importancia cultural y económica de la tuna, especialmente en México, donde es el principal productor y donde la fruta tiene un significado histórico. La investigación ha revelado que el consumo de tuna está asociado con beneficios para la salud, como propiedades antioxidantes, antiaterogénicas y antiulcerogénicas, y que sus subproductos pueden ser utilizados de manera sostenible, ofreciendo una alternativa alimentaria baja en calorías que puede ser un complemento para una dieta equilibrada.

Finalmente, los estudios evaluados han demostrado que la tuna posee capacidades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes, neuroprotectoras, hepatoprotectoras, antidiabéticas, hipolipidémicas e hipocolesterolémicas, lo que sugiere un potencial terapéutico considerable para una variedad de condiciones de salud. Estos resultados apoyan la hipótesis de que la tuna y sus subproductos pueden ser incorporados eficazmente en la formulación de alimentos funcionales y utilizados como complemento en el tratamiento de enfermedades, contribuyendo así a la salud y al bienestar general.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen sinceramente al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y al Colegio de Postgraduados por el valioso soporte brindado durante la realización de esta contribución.





LITERATURA CITADA

- Acosta-Morales, J.G., Sánchez- Hernández, A.J., Martínez-García, J.J., Sáenz Esqueda, M.A., Candelas-Cadillo, M.G., Minjares-Fuentes, J.R. 2023. Propiedades tecnofuncionales de la cáscara de tuna cardona (*Opuntia streptacantha*) y su aplicación en un chorizo mexicano. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 8(1):808–815. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.104>
- Albuquerque, T.G., Pereira, P., Silva, M.A., Vicente, F., Ramalho, R., Costa, H.S. 2020. *Prickly pear*. Pp. 709–728. En: Jaiswal, A. K (Ed.). *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*. Academic Press. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, 766 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00044-1>
- Allegra, M., Ianaro, A., Tersigni, M., Panza, E., Tesoriere, L., Livrea, M.A. 2014. Indicaxanthin from cactus pear fruit exerts anti-inflammatory effects in carrageenin-induced rat pleurisy. *Journal of Nutrition*. 144(2):185–192. <https://doi.org/10.3945/jn.113.183657>
- Almanza, M.P.J., y Fischer, G. 2012. *Tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Miller)*. Pp 1014–1023. En: Fischer, G. (Ed.). *Manual Para El Cultivo de Frutales En El Trópico*. Produmedios. Bogotá, Colombia, 1024 pp.
- ALy, A.S. 2019. Total Phenolic Contents and Antioxidant Properties of Pulp and Skin of Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) Fruits: Application on Juice and Jam. *Journal of Research in the Fields of Specific Education*. (22):1–17. <https://doi.org/10.21608/jedu.2019.73380>
- Amer, F., Mobaraz, S., Basyony, M., Mahrose, K., El-Medany, S. 2019. Effect of Using Prickly Pear and Its By-Products As Alternative Feed Resources on Performance of Growing Rabbit. *Egyptian Journal of Rabbit Science*. 29(1):99–124. <https://doi.org/10.21608/ejrs.2019.45677>
- Arbia, L., Chikhi-Chorfi, N., Betatache, I., Pham-Huy, C., Zenia, S., Mameri, N., Drouiche, N., Lounici, N. 2017. Antimicrobial activity of aqueous extracts from four plants on bacterial isolates from periodontitis patients. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(15):13394–13404. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8942-4>
- Barba, F.J., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Poojary, M.M., Roohinejad, S., Lorenzo, J.M., Koubaa, M. 2017. Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: From preservation of beverages to valorization of by-products. *Trends in Food Science and Technology*. 67:260–270. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.012>
- Belhadj Slimen, I., Najar, T., Abderrabba, M. 2021. Bioactive Compounds of Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Reference Series in Phytochemistry*. 171–209. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57415-4_12
- Belviranlı, B., Al-Juhaimi, F., Özcan, M.M., Ghafoor, K., Babiker, E.E., Alsawmahi, O.N. 2019. Effect of location on some physico-chemical properties of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) fruit and seeds. *Journal of Food Processing and Preservation*. 43(3): e13896. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13896>
- Bernal Pérez, F. 2011. *Diccionario Hñähñu-Español/Español-Hñähñu del Valle del Mezquital*, Hidalgo. Hmunts´ a Hem´ i-Centro de Documentación y asesoría Hñähñu, Ixmiquilpan, Hidalgo, México, 555 pp.
- Bouazizi, S., Montevecchi, G., Antonelli, A., Hamdi, M. 2020. Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation. *Lwt*. 124:109155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109155>
- Brodin, M., Vallejos, M., Opedal, M.T., Area, M.C., Chinga-Carasco, G. 2017. Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review. *Journal of Cleaner Production*. 162:646–664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>
- Caicedo-Vargas, C.E., Paredes-Andrade, N.J., Pico-Rosado, J.T., Congo-Yépez, C.D., Burbano-Cachiguango, R.A., Chanaluisa-Choloquina, A.I., Viera-Arroyo, W.F. 2021. Especies con características funcionales y medicinales de la agrobiodiversidad de la Amazonia ecuatoriana. *Orinoquia*. 25(2):71–81. <https://doi.org/10.22579/20112629.709>
- Castillo, S.L., Heredia, N., Contreras, J.F., García, S. 2011. Extracts of edible and medicinal plants in inhibition of growth, adherence, and Cytotoxin production of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. *Journal of Food Science*. 76(6): M421-M426. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02229.x>
- Chacón-Garza, L.E., Hernández-Cervantes, D., Ventura-Sobrevilla, J.M., Aguirre-Joya, J.A. 2020. Sensory analysis of jelly from prickly pear cactus fruit (*Opuntia ficus indica*). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. 8(44):1–11.
- Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., Morales-Gomero, J.C. 2008. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*. 0(026):175–199. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640>

- Chougui, N., Djerroud, N., Naraoui, F., Hadjal, S., Aliane, K., Zeroual, B., Larbat, R. 2015. Physicochemical properties and storage stability of margarine containing *Opuntia ficus-indica* peel extract as antioxidant. *Food Chemistry*. 173:382–390. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.025>
- Cota-Sánchez, J.H. 2015. *Nutritional Composition of the Prickly Pear (Opuntia ficus-indica) Fruit*. Pp. 691–712. En: Simmonds, M.S.J., Preedy, V.R. (Eds.). *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. Academic Press, London, United Kingdom, 754 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3>
- de Sahagún, B. 1975. *Historia General de las cosas de la Nueva España*. Porrúa (Sepan Cuantos...; 300), México, Ciudad de México, 701 pp.
- Deldicque, L., Van Proeyen, K., Ramaekers, M., Pischel, I., Sievers, H., Hespel, P. 2013. Additive insulinogenic action of *Opuntia ficus-indica* cladode and fruit skin extract and leucine after exercise in healthy males. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 10(1):45. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-45>
- Dok-Go, H., Lee, K.H., Kim, H.J., Lee, E.H., Lee, J., Song, Y.S., Lee, Y.H., Jin, C., Lee, Y. S., Cho, J. 2003. Neuroprotective effects of antioxidative flavonoids, quercetin, (+)-dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Brain Research*. 965(1–2):130–136. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(02\)04150-1](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(02)04150-1)
- Dueñas, M., y García-Estévez, I. 2020. Agricultural and food waste: Analysis, characterization and extraction of bioactive compounds and their possible utilization. *Foods*. 9(817):1–3. <https://doi.org/10.3390/foods9060817>
- Duran, D. 2005. *Historia de las Indias de la nueva España e islas de tierra firme, Tomo I*. Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, 2005, Universidad de Santiago de Compostela, España, 536 pp. <https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmck0706>
- El-Beltagi, H.S., Ahmed, A.R., Mohamed, H.I., Al-Otaibi, H.H., Ramadan, K.M.A., Elkatry, H.O. 2023. Utilization of Prickly Pear Peels Flour as a Natural Source of Minerals, Dietary Fiber and Antioxidants: Effect on Cakes Production. *Agronomy*. 13(2):439. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020439>
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbj, M.S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., Cherkaoui-Malki, M. 2014. Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*. 19(9):14879–14901. <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>
- El Kossori, R.L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., Méjean, L. 1998. Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Foods for Human Nutrition*. 52(3):263–270. <https://doi.org/10.1023/A:1008000232406>
- El Mannoubi, I., Barrek, S., Skanji, T., Casabianca, H., Zarrouk, H. 2009. Characterization of *Opuntia ficus indica* seed oil from Tunisia. *Chemistry of Natural Compounds*. 45(5):616–620. <https://doi.org/10.1007/s10600-009-9448-1>
- Felgueiras, C., Azoia, N.G., Gonçalves, C., Gama, M., Dourado, F. 2021. Trends on the Cellulose-Based Textiles: Raw Materials and Technologies. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 9:608826. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.608826>
- Fernandez, M.L., Lin, E.C.K., Trejo, A., McNamara, D.J. 1992. Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin reverses low density lipoprotein receptor suppression induced by a hypercholesterolemic diet in guinea pigs. *Journal of Nutrition*. 122(12):2330–2340. <https://doi.org/10.1093/jn/122.12.2330>
- Galanakis, C.M. 2015. *The universal recovery strategy*. Pp. 59–81. En: Galanakis, C. M. (Ed.). *Food Waste Recovery: Processing Technologies and Industrial Techniques*. Academic Press, London, United Kingdom, 413 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800351-0.00003-1>
- Galanakis, C.M. 2012. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science and Technology*. 26(2):68–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>
- Giraldo-Silva, L., Ferreira, B., Rosa, E., Dias, A.C.P. 2023. *Opuntia ficus-indica* Fruit: A Systematic Review of Its Phytochemicals and Pharmacological Activities. *Plants*. 12(3):543. <https://doi.org/10.3390/plants12030543>
- Gómez-Maqueo, A., García-Cayueta, T., Fernández-López, R., Welti-Chanes, J., Cano, M.P. 2019. Inhibitory potential of prickly pears and their isolated bioactives against digestive enzymes linked to type 2 diabetes and inflammatory response. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 99(14):6380–6391. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9917>
- Gouws, C.A., Georgousopoulou, E.N., Mellor, D.D., McKune, A., Naumovski, N. 2019. Effects of the consumption of prickly pear cacti (*Opuntia* spp.) and its products on blood glucose levels and insulin: A systematic review. *Medicina (Lithuania)*. 55(5):138. <https://doi.org/10.3390/medicina55050138>
- Hussain, S., Jöudu, I., Bhat, R. 2020. Dietary fiber from underutilized plant resources-A positive approach for valorization of fruit and vegetable wastes. *Sustainability (Switzerland)*. 12(13):5401. <https://doi.org/10.3390/su12135401>
- Ibarra Salas, M. de J., Novelo Huerta, H.I., De León Salas, M.A., Sánchez Murillo, M.E., Mata Obregón, M.D.C., Garza Juárez, A. de J. 2017. Glycemic index and glycemic load in the *Opuntia ficus-indica* fruit. *Gaceta Médica de México*. 153(4):433–438. <https://doi.org/10.24875/GMM.M17000026>
- Islas-Martínez, D., Ávila-Vargas, Y.N., Rodríguez-Serrano, G.M., González-Olivares, L.G., Pérez-Flores, J.G., Contreras-López, E., Olloqui, E.J., Pérez-Escalante, E. 2023. Multi-Bioactive Potential of a Rye Protein Isolate Hydrolysate by Enzymatic Processes. *Biology and Life Sciences Forum*. 26(1):38. <https://doi.org/10.3390/foods2023-15037>
- Koubaa, M., Barba, F.J., Grimi, N., Mhemdi, H., Koubaa, W., Boussetta, N., Vorobiev, E. 2016. Recovery of colorants from red prickly pear peels and pulps enhanced by pulsed electric field and ultrasound. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 37:336–344. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.015>
- Lazcano-Hernández, C.Y., Hernández-Hernández, A.A., García-Curiel, L., Pérez-Escalante, E., Contreras-López, E., Pérez-Flores, J.G. 2023. Extracción de compuestos bioactivos a partir de los subproductos de la tuna (*Opuntia ficus-indica* spp.): Tendencias y aplicaciones recientes en alimentos. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 8(1):785–794. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.101>
- Lemes, A.C., Egea, M.B., Oliveira Filho, J.G. de, Gautério, G.V., Ribeiro, B.D., Coelho, M.A.Z. 2022. Biological Approaches for Extraction of Bioactive Compounds From Agro-industrial By-products: A Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 9:802543. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.802543>
- Lim, T.K. 2012. *Opuntia ficus-indica*. Pp. 660–682. En: Lim, T.K (Ed.). *Edible Medicinal y Non-Medicinal Plants*. Springer Science+Business Media Dordrecht. Netherlands, 1047 pp. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8661-7_94
- López Orozco, M., Mercado Flores, J., Martínez Soto, G., Magaña Ramírez, J.L. 2011. Formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas (*Opuntia* spp.) elaborada a nivel planta piloto. *Acta Universitaria*. 21(2):31–36. <https://doi.org/10.15174/au.2011.33>
- Luisetti, J., Lucero, H., y Ciappini, M.C. 2020. Estudio preliminar para optimizar la extracción de compuestos fenólicos bioactivos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista de Ciencia y Tecnología*. (33):94–99. <https://doi.org/10.36995/j.rcyct.2020.33.012>
- Madadi, E., Mazloum-Ravasan, S., Yu, J.S., Ha, J.W., Hamishehkar, H., Kim, K.H. 2020. Therapeutic application of betalains: A review. *Plants*. 9(9):1–27. <https://doi.org/10.3390/plants9091219>
- Mamma, D., y Christakopoulos, P. 2008. Citrus Peels: An Excellent Raw Material for the Bioconversion into Value-added Products. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*. 2:83–97.

- Manzur-Valdespino, S., Arias-Rico, J., Ramírez-Moreno, E., Sánchez-Mata, M. de C., Jaramillo-Morales, O.A., Angel-García, J., Zafra-Rojas, Q.Y., Barrera-Gálvez, R., Cruz-Cansino, N.S. 2022. Applications and Pharmacological Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Peel: A Review. *Life*. 12(11):1903. <https://doi.org/10.3390/life12111903>
- Manzur-Valdespino, S., Ramírez-Moreno, E., Arias-Rico, J., Jaramillo-Morales, O.A., Calderón-Ramos, Z.G., Delgado-Olivares, L., Córdoba-Díaz, M., Cruz-Cansino, N.S. 2020. *Opuntia ficus-indica* L. Mill residues-Properties and application possibilities in food supplements. *Applied Sciences (Switzerland)*. 10(9):3260. <https://doi.org/10.3390/app10093260>
- Mariod, A.A. 2019. *Wild Fruits: Composition, Nutritional Value and Products*. Springer Cham, Ghribaish, Sudan, 577 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31885-7>
- Mendoza Mendoza, B., Estrada Fernández, A.G., Alanís García, E. 2023. Saponinas, péptidos y compuestos fenólicos, antihipertensivos naturales. Estudios *in vitro* e *in vivo*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 7(1):3834–3863. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4695
- Nautiyal, H., y Goel, V. 2021. *Sustainability assessment: Metrics and methods*. Pp. 27–46. In: Ren, J. (Ed.). *Methods in Sustainability Science: Assessment, Prioritization, Improvement, Design and Optimization*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands, 446 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823987-2.00017-9>
- Niero, M., y Rivera, X.C.S. 2018. The Role of Life Cycle Sustainability Assessment in the Implementation of Circular Economy Principles in Organizations. *Procedia CIRP*. 69:793–798. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.022>
- Ö-Zcan, M.M., y Al Juhaimi, F.Y. 2011. Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus indica* L.) growing in Turkey. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 62(5):533–536. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.552569>
- Panza, O., Lacivita, V., Conte, A., Del Nobile, M.A. 2022. Quality Preservation of Ready-to-Eat Prickly Pears by Peels Recycling. *Foods*. 11(14):2016. <https://doi.org/10.3390/foods11142016>
- Pérez-Escalante, E., Padilla-Zúñiga, S.A., Contreras-López, E., Sebastián-Nicolás, J.L., Pérez-Flores, J.G., Olloqui, E.J., González-Olivares, L.G. 2022. Antioxidant and Antihypertensive Properties from Muscle Hydrolysates of Farm Rainbow Trout. *Biology and Life Sciences Forum*. 18(1):55. <https://doi.org/10.3390/foods2022-12991>
- Pérez-Flores, J.G., Contreras-López, E., Castañeda-Ovando, A., Pérez-Moreno, F., Aguilar-Arteaga, K., Álvarez-Romero, G.A., Téllez-Jurado, A. 2019. Physicochemical characterization of an arabinoxylan-rich fraction from brewers' spent grain and its application as a release matrix for caffeine. *Food Research International*. 116:1020–1030. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.041>
- Pérez-Flores, J.G., García-Curiel, L., Pérez-Escalante, E., Contreras-López, E., Olloqui, E.J. 2024. Arabinoxylans matrixes as a potential material for drug delivery systems development - A bibliometric analysis and literature review. *Heliyon*. e25445. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.E25445>
- Piga, A. 2004. Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 6:9–22.
- Quiroz, E., y Pradilla Rueda, H. 2018. *El pasado del futuro alimentario: los alimentos ancestrales americanos*. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora. México, 565 pp.
- Ramadan, M.F., y Mörsel, J.T. 2003. Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Food Chemistry*. 82(3):339–345. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00550-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00550-2)
- Rivera-De Alba, J.A., y Flores Girón, D.E. 2022. La fibra dietética como un ingrediente funcional en la formulación de productos cárnicos. *TECNOCIENCIA Chihuahua*. 16(1):40–54. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.892>
- Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G.I., Zuluaga, Y.P. 2015. Evaluación de la incorporación de fibra prebiótica sobre la viabilidad de *Lactobacillus casei* impregnado en matrices de mora (*Rubus glaucus*). *Información Tecnológica*. 26(5):25–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500005>
- Rong, X., Kai, Z., Pu, L., HuaWen, H., Shuai, Z., Kakade, A., Khan, A., Du, D., Li, X. 2018. Lignin depolymerization and utilization by bacteria. *Bioresource Technology*. 269:557–566.
- Roy, S., Priyadarshi, R., Łopusiewicz, L., Biswas, D., Chandel, V., Rhim, J.W. 2023. Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 239: 124248. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124248>
- SADER. 2021. Producción de tuna en el Estado de México. En: <https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/produccion-de-tuna-en-el-estado-de-mexico?idiom=es> (consultado el 7/09/2023).
- Sáenz Hernández, C. L., Berger, H., Rodríguez-Félix, A., Galletti, L., Corrales García, J., Sepúlveda, E., Varnero Moreno, M.T., García de Cortázar, V., Cuevas García, R., Arias, E., Mondragón, C., Higuera, I., Rosell, C. 2013. Agro-industrial utilization of cactus pear. FAO. Italia, Roma, 168 pp.
- Sánchez, E., García, S., y Heredia, N. 2010. Extracts of edible and medicinal plants damage membranes of vibrio cholerae. *Applied and Environmental Microbiology*. 76(20):6888–6894. <https://doi.org/10.1128/AEM.03052-09>
- Santander-M., M., Osorio M., O., Mejía-E., D. 2017. Evaluación de propiedades antioxidantes y fisicoquímicas de una bebida mixta durante almacenamiento refrigerado. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 34(1):84–97. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.65>
- Stintzing, F.C., Schieber, A., Carle, R. 1999. Amino acid composition and betaxanthin formation in fruits from *Opuntia ficus-indica*. *Planta Medica*. 65(7):632–635. <https://doi.org/10.1055/s-1999-14037>
- Tahiri, A., Amisa Adima, A., Adjé, F.A., Amusant, N. 2011. Pesticide effects and screening of extracts of *Azadirachta Indica* (A.) Juss. on the *Macrotermes bellicosus* Rambur termite. *Bois et Forets des Tropiques*. 79–88. <https://doi.org/10.19182/bft2011.310.a20461>
- Tesoriere, L., Attanzio, A., Allegra, M., Gentile, C., Livrea, M.A. 2014. Indicaxanthin inhibits NADPH oxidase (NOX)-1 activation and NF-κB-dependent release of inflammatory mediators and prevents the increase of epithelial permeability in IL-1β-exposed Caco-2 cells. *British Journal of Nutrition*. 111(3):415–423. <https://doi.org/10.1017/S0007114513002663>
- Thakur, V.K., Thakur, M.K., Raghavan, P., Kessler, M.R. 2014. Progress in green polymer composites from lignin for multifunctional applications: A review. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 2(5):1072–1092. <https://doi.org/10.1021/sc500087z>
- Tilahun, Y., Welegerima, G., Yemane Tilahun, C. 2018. Pharmacological potential of cactus pear (*Opuntia ficus Indica*): A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(3):1360–1363.
- Timpanaro, G., Cosentino, S., Danzi, C., Foti, V.T., Testa, G. 2021. Prickly pear for biogas production: technical-economic validation of a biogas power installation in an area with a high prevalence of cacti in Italy. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 15(3):615–636. <https://doi.org/10.1002/bbb.2190>
- Tolentino-Barroso, D.A., González-Olivares, L.G., Pérez-Flores, J.G., Contreras-López, E., Olvera-Rosales, L.B., Escobar-Ramírez, M.C., Olloqui, E.J., Pérez-Escalante, E. 2023. Bovine Whey Hydrolysis with Pancreatin Produces a Functional Ingredient for Developing Antihypertensive Beverages. *Biology and Life Sciences Forum*. 26(1):63. <https://doi.org/10.3390/foods2023-15020>
- Valencia, Z., Cámara, F., Ccapa, K., Catacora, P., Quispe, F. 2017. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de semillas de quinua peruana (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*. 83(1):16–29. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i1.100>

- Vastolo, A., Calabrò, S., Cutrignelli, M.I., Raso, G., Todaro, M. 2020. Silage of prickly pears (*Opuntia* spp.) juice by-products. *Animals*. 10(9):1–11. <https://doi.org/10.3390/ani10091716>
- Vazquez-Mendoza, P., Miranda-Romero, L.A., Aranda-Osorio, G., Burgueño-Ferreira, J.A., Salem, A.Z.M. 2017. Evaluation of eleven Mexican cultivars of prickly pear cactus trees for possibly utilization as animal feed: in vitro gas production. *Agroforestry Systems*. 91(4):749–756. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9947-6>
- Vidal, A., Fallarero, A., De Andrade-Wartha, E.R.S., Silva, A.M.D.O., De Lima, A., Torres, R.P., Vuorela, P., Mancini-Filho, J. 2006. Composición química y actividad antioxidante del alga marina roja *Bryothamnion triquetrum* (S.G.Gmelin) Howe. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. 42(4):589–600. <https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000400015>
- Welegerima, G., y Zemene, A. 2017. Antibacterial activity of *Opuntia ficus-indica* skin fruit extracts. *Biotechnology International*. 10(3):74–83.
- Yeddes, N., Chérif, J.K., Guyot, S., Sotin, H., Ayadi, M.T. 2013. Comparative study of antioxidant power, polyphenols, flavonoids and betacyanins of the peel and pulp of three Tunisian *Opuntia* forms. *Antioxidants*. 2(2):37–51. <https://doi.org/10.3390/antiox2020037>



LA DESAPERCIBIDA VIDA SILVESTRE DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC

/ RAFAEL CALDERÓN-PARRA¹, OMAR ÁVALOS-HERNÁNDEZ^{2,3}, FERNANDO GARCÍA-LUNA², URI OMAR GARCÍA-VÁZQUEZ², RODRIGO GABRIEL MARTÍNEZ FUENTES², RUBÉN ORTEGA-ÁLVAREZ⁴, LAURA FERNANDA RAMÍREZ VIEYRA³, JESÚS MARTÍN TAPIA GONZÁLEZ², MARYSOL TRUJANO-ORTEGA^{2,3}, ANTONIO ESAÚ VALDENEGRO BRITO², LUIS JAVIER VEGA RIVAS², JORGE VILLAGÓMEZ GUIJÓN².

¹ Av. La Garita Andador 17 #22 Casas 3, Col. Narciso Mendoza Villa Coapa, Tlalpan, 14390 Ciudad de México, México. *Correo electrónico: tlehuitzilin@yahoo.com.mx

² Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Batalla 5 de Mayo s/n, Ejercito de Oriente, Iztapalapa, 09230, México, Ciudad de México.

³ Museo de Zoología (Entomología). Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM, 4510, Ciudad de Mexico, México.

⁴ Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud (CIAD-CEIBAAS-Colima), Investigadoras e Investigadores por México del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), Colima, México.

RESUMEN

El Bosque de Chapultepec ha pasado por múltiples transformaciones socioambientales a lo largo de su historia. Fue considerado como un lugar sagrado, fue residencia de gobernantes, fuente de abastecimiento de agua, coto de caza y fortaleza; actualmente es sitio de cultura y recreación. La pérdida y cambios en la vegetación original, las construcciones, la introducción de especies y la intensificación de la presencia humana, son los retos que la vida silvestre ha tenido que enfrentar. Actualmente, múltiples actores buscan llevar a cabo acciones de restauración ambiental con miras a favorecer la presencia de la flora y fauna nativa. Para ello, es necesario conocer su estado actual a través de la investigación científica. El estudio que realizamos se enfocó en aves, mariposas, anfibios, reptiles, moscas y abejas. Los muestreos abarcaron las tres secciones del bosque y la llamada "cuarta sección", así como una parte del área urbana circundante como sitio de comparación. Encontramos 64 especies de abejas y moscas, 92 de mariposas, 122 de aves, 16 de reptiles y tres de anfibios. Los resultados confirman que el Bosque de Chapultepec es un refugio para la vida silvestre dentro de la ciudad, especialmente la tercera y cuarta sección, donde se encuentran las condiciones ambientales más favorables para la fauna nativa. La creación de jardines de polinización, el incremento de la variedad de árboles y arbustos, así como la regulación del acceso humano y el mantenimiento a cuerpos de agua podría favorecer a la vida silvestre local. La ciencia participativa podría fomentar el desarrollo de actividades de educación ambiental y facilitar la obtención de información que ayude a mejorar las condiciones ambientales del parque. El futuro de Chapultepec se encuentra en manos de todos y los beneficios de su manejo adecuado serán para la sociedad y su vida silvestre.

ABSTRACT

Chapultepec Forest has passed through multiple socio-environmental transformations during its history. It has been considered as a sacred place, it was the residence of rulers, a source of potable water, a hunting ground, and a fortress; currently, it is a place for culture and recreation. The loss and changes of the original vegetation, constructions, the introduction of species, and the intensification of human presence are the challenges that wildlife has faced. Nowadays, multiple actors are looking to implement environmental restoration actions in order to favor the establishment of native flora and fauna. To do this, it is necessary to know its current status through scientific research. The study we conducted was focused on birds, butterflies, amphibians, reptiles, flies, and bees. Surveys covered the three sections of the forest and the one called "fourth section", and we included a part of the surrounding urban area as a comparison site. We found 64 species of bees and flies, 92 of butterflies, 122 of birds, 16 of reptiles, and three species of amphibians. The results confirm that the Chapultepec Forest is an urban refuge for wildlife, especially the third and fourth sections, where the most favorable environmental conditions for native fauna are found. The creation of pollination gardens, the increase in the variety of trees and shrubs, as well as the regulation of human access and the appropriate maintenance of water bodies could favor local wildlife. Citizen science could be promoted for the development of environmental education activities and facilitate the collection of information that might help to improve the environmental conditions of the park. The future of Chapultepec is in everyone's hands and the benefits of its proper management will be for society and wildlife.



Palabras clave: áreas verdes urbanas, bosque urbano, biodiversidad, conservación, restauración ecológica, ecología urbana.

Keywords: urban green areas, urban forest, biodiversity, conservation, ecological restoration, urban ecology.

CHAPULTEPEC: UN LUGAR EN CONSTANTE TRANSFORMACIÓN

Uno de los sitios más icónicos de la Ciudad de México es el célebre Bosque de Chapultepec, siendo uno de los puntos más populares y visitados en la capital, tanto por locales como por foráneos. Esto no es para menos, ya que cada uno de sus rincones tiene una historia y alberga una gran variedad de atractivos turísticos. Asimismo, ofrece espacios para realizar actividades al aire libre, ya que el placer que se siente al estar en un bosque en medio del bullicio y concreto resulta como un oasis en el desierto. De hecho, es el bosque en contexto urbano de mayor extensión en Latinoamérica. Ante la abrumadora cantidad de estímulos en sus inmediaciones, en lo último que se piensa es en la vida silvestre que ahí habita, así como en todas las transformaciones y retos a los que se ha enfrentado desde su creación hasta la modernidad.

Imaginemos esos tiempos remotos cuando arribaron los primeros pobladores a orillas del sistema lacustre que existía en lo que es ahora la Ciudad de México, encontrando un lugar donde había manantiales y una abundante vegetación prístina que brindaba hogar a una gran diversidad de animales. Este lugar fue nombrado por los pueblos nahuas como "Chapultepec", cuyo significado es "Cerro del Chapulín", y fue muy valorado como fuente de agua potable entre las distintas culturas que llegaron a habitar en sus alrededores, como los toltecas, teotihuacanos y mexicas. Estos últimos lo consideraron como sitio ritual de acceso restringido, por lo que construyeron algunos templos, calzadas y caminos (Solís 2002). Además, sembraron ahuehuetes (algunos de los cuales aún sobreviven), así como plantas medicinales y de ornato provenientes de otras regiones. Aquí, también fue construido el primer sistema hidráulico para llevar agua potable a Tenochtitlan.

Los cambios en las condiciones naturales fueron más drásticos e irregulares con la conquista española. Se continuó la extracción del agua de sus manantiales para proveer de agua potable a la ciudad y se convirtió en uno de los primeros espacios públicos de recreo; incluso llegó a ser coto de caza y lugar de descanso para la élite (Ruíz 2002). Después de la Independencia fue residencia de gobernantes, fábrica de arsenal y fortaleza, convirtiéndose en el emblemático último bastión de defensa nacional durante la invasión estadounidense. Por periodos, Chapultepec cayó en el olvido, y fue lugar de pastoreo y sufrió el saqueo de sus edificaciones en abandono. Durante el Porfiriato tuvo lugar su transformación más radical: se amplió su superficie, se crearon colinas y lagos artificiales, se construyó el Zoológico y la Casa del Lago y se montó infraestructura

como calzadas, luminarias, esculturas y fuentes. Para finales del siglo XIX, los manantiales de Chapultepec se agotaron y dejaron de abastecer de agua a la Ciudad de México (Gómez 2002). Todo esto sucedió en lo que ahora conocemos como la primera sección del Bosque.

Durante los años sesenta, se creó la segunda sección del bosque para convertir a Chapultepec en un espacio cultural, construyendo museos y un parque de diversiones. En los setenta, nace la tercera sección con jardines amplios y el Parque Marino Atlantis. Después, se construyeron más museos en la primera sección y su relevancia como "pulmón" de la ciudad cobró mayor importancia debido a la urbanización (Tovar de Teresa y Alcántara 2002). Finalmente, durante el año 2021, se anuncia la futura incorporación de la "cuarta sección" al Bosque, gracias a la donación del terreno donde se encontraba la Base Militar 1F por parte de la Secretaría de la Defensa Nacional y la barranca del río Tacubaya, que actualmente es un Área de Valor Ambiental.

Es así que podemos darnos una idea de cuan extremos han sido los cambios ambientales que ha sufrido Chapultepec desde la llegada del ser humano. Durante este tiempo, los animales han tenido que enfrentar la pérdida y cambios en la vegetación original, la cacería, la construcción de edificaciones e infraestructura, la introducción de especies que no habitaban de manera natural en el área, la intensificación de la presencia humana y ¡hasta sangrientas batallas!

Actualmente un nuevo proceso de transformación se está llevando a cabo en el sitio, pues múltiples actores buscan favorecer la presencia de la vida silvestre en Chapultepec. Para lograr este objetivo, fue necesario conocer el estado actual de la flora y fauna del lugar a través del estudio de distintos grupos animales. Fue así que estudiamos a las aves, mariposas, anfibios, reptiles, moscas y abejas. Para obtener una comprensión lo más completa posible, las investigaciones abarcaron las "cuatro" secciones del bosque; también incluimos una parte del área urbana circundante como punto de comparación (Figura 1). A continuación, les platicaremos algunos de nuestros hallazgos y su utilidad.

ENTRE VUELOS Y ZUMBIDOS: MOSCAS Y ABEJAS DE CHAPULTEPEC

Los insectos polinizadores son indispensables para la reproducción de las plantas con flores, desde árboles hasta hierbas. En las urbes, las abejas, moscas y mariposas, mantienen las poblaciones de plantas ornamentales y silvestres, que a su vez sirven de refugio y alimento para otros animales. Sin duda, las abejas se han vuelto muy populares por su relevancia

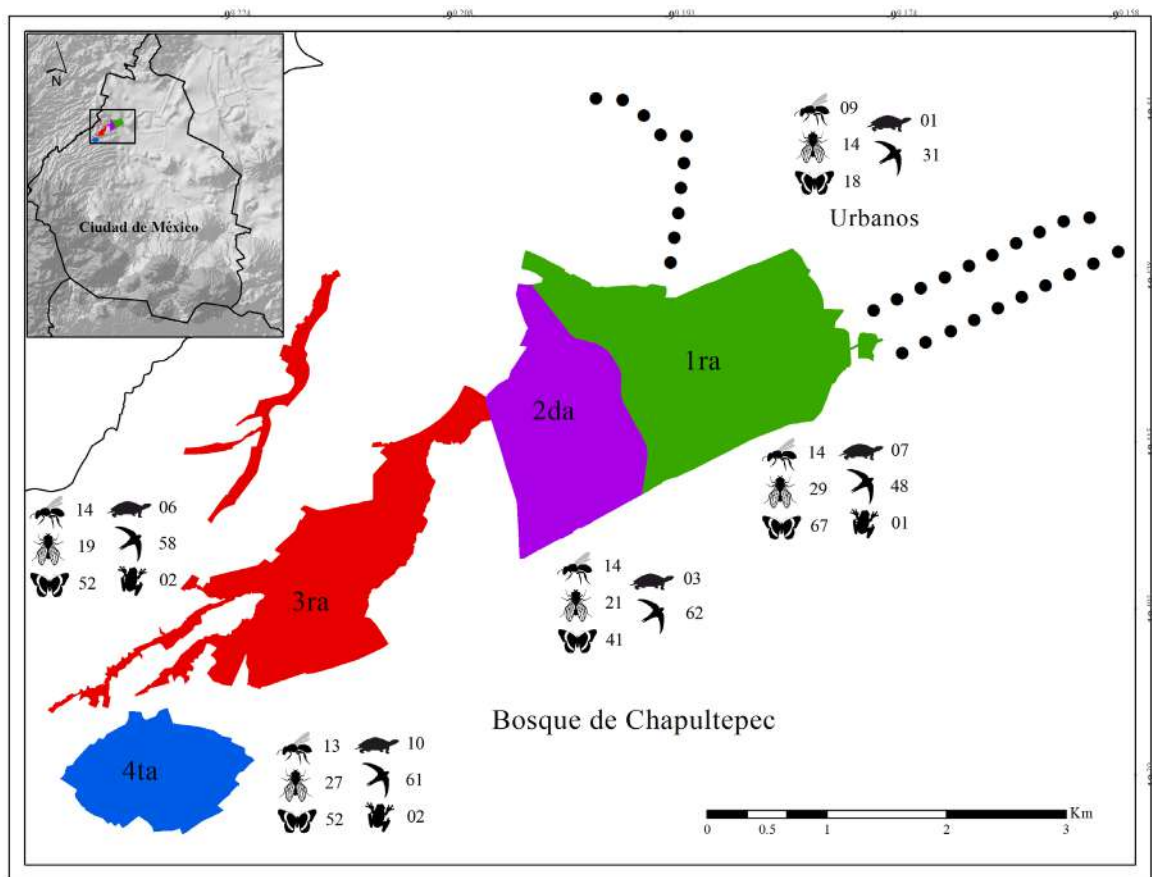


Figura 1. El área de estudio abarcó las cuatro secciones del Bosque de Chapultepec: verde (1ª sección), morado (2ª sección), rojo (3ª sección) y azul (4ª sección), además de una parte de la zona urbana circundante (puntos negros). Para cada sitio se especifica el número de especies registradas de:

- Abejas
- Moscas
- Mariposas
- Reptiles
- Aves
- Anfibios

en la polinización, pero lo que pocos saben, es que hay moscas que también lo hacen, y que además son depredadoras o parasitoides de otros insectos, controlando sus poblaciones. Es por ello que, tanto abejas como moscas, representan un recurso biológico importante de las ciudades.

A lo largo de nuestro estudio detectamos 64 especies de abejas y moscas. Encontramos que la principal visitante de flores en Chapultepec es una especie originaria del Viejo Mundo que fue traída a América por los colonizadores: la famosa Abeja Melífera Europea (*Apis mellifera*). De hecho, del total de individuos de abejas que encontramos, la mitad pertenecieron a esta especie, siendo aún más abundante en las calles de los alrededores del parque. El resto de las especies se encontraron principalmente en las áreas verdes de Chapultepec, tales como las abejas del celofán (género *Colletes*) y abejorros carpinteros (género *Xylocopa*).

En cuanto a las moscas, la especie que estuvo presente en casi toda el área fue la Mosca Abeja Comepulgon (*Toxomerus mutuus*), aunque la Mosca Calígrafa (*T. marginatus*), la mosca de las flores (*Lejops mexicanus*) y el sírfido (*Epistrophe nitidicollis*) también fueron abundantes. Cabe destacar que 40 de las especies se

encontraron únicamente en el Bosque de Chapultepec y no en sus calles aledañas. Un ejemplo de ello fueron las nueve especies de la familia de moscas *Bombyliidae*, conocidas como “moscas abejas” por mimetizar a estos insectos.

En nuestro estudio encontramos una diferencia clara en la diversidad de moscas y abejas que se encuentran dentro y fuera de Chapultepec. Esto se debe a que la urbanización reduce los recursos y hábitats para estos insectos, como lo son hierbas y flores, al transformar la vegetación por una poda excesiva o al introducir pavimento.

MARIPOSAS: LOS ALETEOS QUE DAN COLOR AL BOSQUE

Entre los polinizadores, las mariposas son uno de los grupos más carismáticos. Sus alas llamativas, su fascinante metamorfosis y su manera de alimentarse de néctar, frutas maduras o incluso animales en descomposición, hacen a este grupo muy interesante. La relación estrecha entre las mariposas y las plantas nos reflejan la diversidad floral de un lugar, ya que estos insectos utilizan diferentes especies vegetales durante

distintas etapas de sus vidas. Comprender la dinámica entre mariposas y plantas a través de esta investigación nos ha permitido ubicar los sitios más importantes para estos insectos y proponer acciones que favorezcan su presencia en Chapultepec.

Durante nuestro estudio se encontraron 92 especies en las cuatro secciones del bosque, donde se incluyen datos de estudios previos en la zona (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets 2011). ¡Esta cifra representa el 60% de las mariposas reportadas para toda la Ciudad de México! (CONABIO y SEDEMA 2016). Entre ellas

encontramos algunas muy comunes como la Mariposa Cometa Xochiquetzal (*Pterourus m. multicaudata*) y la Mariposa Blanca de la Col (*Leptophobia aripa elodia*). También registramos otras menos abundantes como la Mariposa Azul con Puntos Negros (*Zizula cyna*) y algunas endémicas al país, como la Mariposa Cometa de Medias Lunas Rojas (*Mimoides thymbraeus aconophos*). Además, pudimos observar a la emblemática Mariposa Monarca (*Danaus p. plexippus*), una especie migratoria que se encuentra protegida, ya que su espectacular migración se encuentra amenazada ante la modificación de los bosques.



Figura 2. Entre las especies de moscas y abejas que encontramos en el Bosque de Chapultepec se encuentran: la Mosca Abeja Comepulgonas (*Toxomerus mutuus*), el Abejorro Zumbador (*Bombus sonorus*), el sírfido (*Paragus haemorrhous*) y la Mosca Avispa de Cola Rayada (*Allograpta obliqua*). Fotografías de Antonio Valdenegro-Brito.

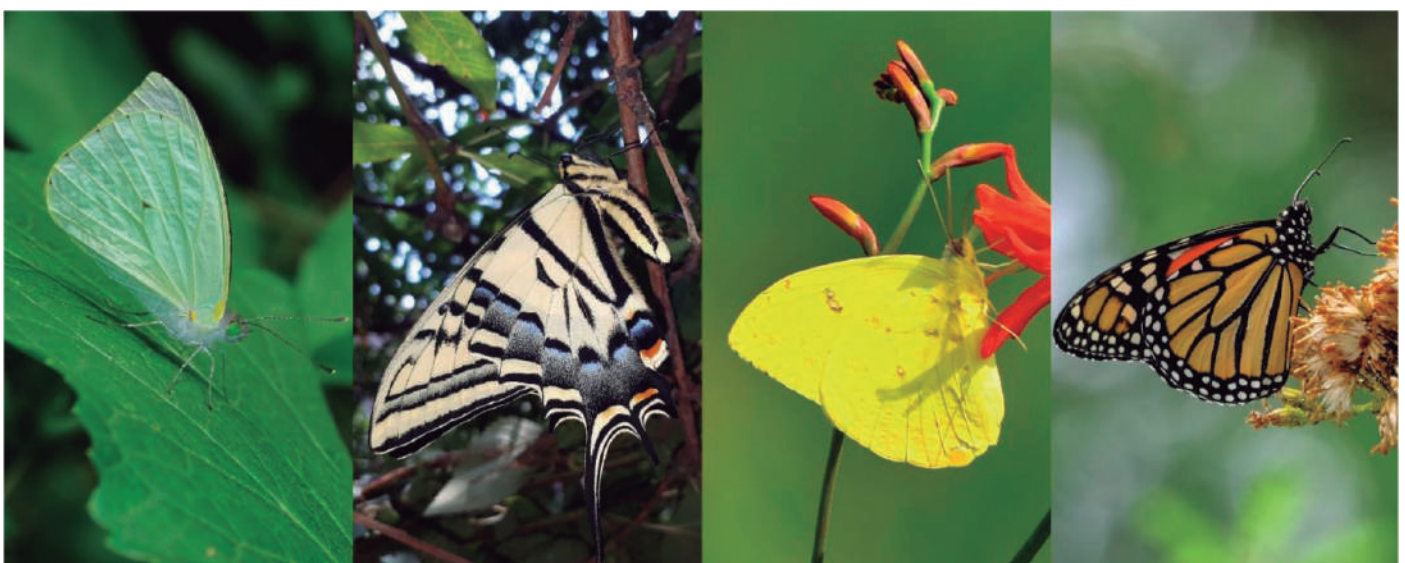


Figura 3. Algunas de las especies de mariposas que encontramos en el Bosque de Chapultepec son: la Mariposa Blanca de la Col (*Leptophobia aripa elodia*), la Mariposa Cometa Xochiquetzal (*Pterourus m. multicaudata*), la Mariposa Azufre de Bandas Naranja (*Phoebis philea*) y la Mariposa Monarca (*Danaus p. plexippus*). Fotografías de Antonio Valdenegro-Brito.

De acuerdo con nuestro estudio, uno de los lugares clave para las mariposas dentro de Chapultepec es el Jardín Botánico que se encuentra en la primera sección. En este espacio pequeño, ubicado en la primera sección, se concentran los adultos de 67 especies, gracias a la diversidad de plantas que se cultivan y mantienen en sus instalaciones. También la tercera y cuarta sección son de gran importancia para el estado larval de las mariposas, pues ahí habitan 52 especies, lo que se explica por la gran cantidad de vegetación nativa. En contraste, solo se observaron 18 especies de mariposas en la zona urbana aledaña a Chapultepec, donde la vegetación se limita a plantas introducidas en jardineras y camellones. Algunas especies que están habituadas al constante movimiento de la ciudad son las que se observan volando entre las calles, como son la Mariposa Cometa Xochiquetzal y la Saltarina Mínima Tropical (*Ancyloxypha arene*).

Los resultados muestran que el Bosque de Chapultepec es crucial en el mantenimiento de las poblaciones de mariposas en la ciudad. Por ello, es importante lograr un balance en la variedad de plantas nativas e introducidas presentes en las diferentes secciones del bosque, así como en sus zonas urbanas aledañas.

PLUMAS Y CANTOS: LAS AVES QUE RONDAN CHAPULTEPEC

La diversidad de colores, sonidos y comportamientos que existen entre las aves es reflejo de la variedad de funciones que desempeñan en los ecosistemas. Hay especies que son polinizadoras (como los colibríes), dispersoras de semillas (que ayudan a regenerar bosques) e incluso hay

algunas que controlan poblaciones de otros organismos (como las golondrinas que consumen mosquitos). Es así que las especies de aves que habitan un lugar nos reflejan la variedad de recursos existentes. Estudiarlas nos permite ubicar los sitios clave para conservarlas, así como las acciones que podrían realizarse para beneficiarlas.

Durante nuestro estudio encontramos 122 especies en Chapultepec. Esto representa alrededor de un tercio de los tipos de aves reportados en la Ciudad de México, por lo que claramente es un refugio para las aves en la urbe. Algunas de las especies, como el Pinzón Mexicano (*Haemorhous mexicanus*), son comunes y podemos encontrarlas en toda el área. Sin embargo, hay otras que sólo viven en sitios específicos, como en el caso de las aves acuáticas que dependen de los cuerpos de agua de la primera y segunda sección. Como ejemplos tenemos al Pato Mexicano (*Anas diazi*) y a la Garza Morena (*Ardea herodias*), la cual migra desde EUA y Canadá para pasar el invierno.

También encontramos aves que son más sensibles a las actividades humanas y necesitan de ciertas condiciones en su hábitat para sobrevivir. El Gavilán Pico de Gancho (*Chondrohierax uncinatus*) es un ejemplo de ello, ya que necesita vegetación abundante con algo de humedad, pues se alimenta principalmente de caracoles que viven en árboles. Estas condiciones se encuentran principalmente en la tercera y cuarta secciones gracias a las barrancas y a los ríos que corren en el fondo de ellas. Además, fue precisamente en estas secciones donde encontramos a la mayoría de las especies de aves de Chapultepec. Por el contrario, en las calles circundantes detectamos pocas especies, siendo más comunes aquellas que son capaces de beneficiarse de la actividad humana, como la Paloma Doméstica (*Columba livia*).



Figura 4. Cinco especies de aves que observamos en el Bosque de Chapultepec son: el Mirló Primavera (*Turdus migratorius*), el Pinzón Mexicano (*Haemorhous mexicanus*), la Garcita Verde (*Butorides virescens*) y el Chipeco Rabadilla Amarilla (*Setophaga coronata*). Fotografías de Antonio Valdenegro-Brito y Rafael Calderón-Parra.

Un caso interesante fue el del Chipe Rabadilla Amarilla (*Setophaga coronata*), una especie migratoria que viaja desde el norte de EUA y Canadá para pasar el invierno en el sur. Descubrimos que a pesar de encontrarse en todo Chapultepec y en su área urbana circundante, se alimenta más frecuentemente en sitios con mayor variedad de especies de árboles y menor presencia humana. Por ello, es deseable propiciar una mayor diversidad arbórea y limitar la afluencia de personas en ciertas áreas de Chapultepec, con la finalidad de favorecer a esta especie y a otras aves con las que suele formar grupos para alimentarse (Ortega-Álvarez *et al.* 2022).

ANFIBIOS Y REPTILES: BUSCANDO CALOR ENTRE LAS GRIETAS DEL BOSQUE

Entre los anfibios y reptiles existe una gran variedad de especies que han desarrollado distintos mecanismos para adaptarse y habitar diferentes ecosistemas en todo el mundo, incluyendo las ciudades. Aunque muchas veces estos animales causan desagrado o miedo a la mayoría de la gente, basta dar una mirada sin prejuicios para apreciar su particular belleza y comprender su importancia en el correcto funcionamiento de los ecosistemas. Muchas de estas especies son muy sensibles a la contaminación ambiental; sus características fisiológicas, tales como su piel permeable o su necesidad de fuentes de agua limpia para completar su ciclo de vida, hacen que sean vulnerables ante agentes contaminantes. Lo anterior, aunado a su poca movilidad, los hacen especialmente útiles para estudios ecológicos que buscan determinar el grado de deterioro de un ecosistema.

A lo largo de nuestro estudio encontramos 19 especies de estos animales, de las cuales tres fueron anfibios (dos salamandras y una rana) y 16 reptiles (cuatro lagartijas, cinco serpientes y siete tortugas). Algunas de las especies se pueden observar en casi la totalidad de Chapultepec, como la Lagartija Común (*Sceloporus grammicus*) y la Lagartija Espinosa de Collar (*Sceloporus torquatus*). Sin embargo, hay especies que solo se encuentran en lugares específicos, como las tortugas, las cuales habitan en los lagos artificiales de la primera y segunda sección. Lamentablemente, la mayoría de ellas eran mascotas y fueron liberadas en esos sitios, alterando el ecosistema original. La Tortuga Pavo Real (*Trachemys scripta*) y la Tortuga de Guadalupe (*T. venusta*) son ejemplos de ello, y aunque ambas son nativas de México, no son propias de la región. Incluso podemos encontrar especies introducidas que provienen de otros países, como la Tortuga de Vientre Rojo de Florida (*Pseudemys nelsoni*). Únicamente la Tortuga Pecho Quebrado de Pata Rugosa (*Kinosternon hirtipes*) es

originaria de la Ciudad de México y ha habitado en el área desde hace miles de años. También es aquí donde, con suerte, es posible encontrar a la Rana Leopardo de Moctezuma (*Rana montezumae*).

Pudimos registrar algunas especies que son muy raras y difíciles de detectar, pero únicamente las hallamos en los lugares con mayor cantidad de vegetación y menor perturbación en la tercera y cuarta secciones. En estos sitios hay ríos que corren entre muchas barrancas, ofreciendo un buen refugio para los anfibios y reptiles. Ejemplos de estas especies son el Tlaconete Dorado (*Pseudoeurycea leprosa*), la Culebra Chata Mexicana (*Salvadora bairdi*) y el famoso Escorpión (*Barisia imbricata*), del cual se tiene la falsa creencia de ser venenoso, cuando en realidad es inofensivo y solo se alimenta de chapulines y otros insectos.

EN BÚSQUEDA DE UN FUTURO LLENO DE VIDA

Los resultados hallados confirman que el Bosque de Chapultepec es un refugio para la vida silvestre dentro de la ciudad (Ávalos-Hernández *et al.* 2024). No obstante, encontramos que las áreas recreativas tienen menos diversidad debido a la intensa actividad humana y al constante manejo de la vegetación, particularmente por la poda de hierbas y arbustos. Una alternativa en estos espacios para conservar la diversidad de moscas, abejas y mariposas, es la creación de jardines de polinización (Del Coro y del Val 2021). Además, incrementar la variedad de árboles y arbustos sería de utilidad para proveer alimento y refugio particularmente a las aves. Los cuerpos de agua son de importancia especialmente para anfibios y reptiles, por lo que es necesario mantenerlos en buenas condiciones y regular el acceso a algunos de ellos, como en el caso del río Tacubaya en la cuarta sección.

Sin duda, la principal amenaza para la vida silvestre de Chapultepec es el desconocimiento, ya que para la mayoría de los visitantes las diversas especies de plantas y animales pasan desapercibidos. Una posible solución a esto es la ciencia participativa, la cual consiste en la colaboración del público en general con personas dedicadas a la ciencia para responder preguntas del mundo que nos rodea. En México, existen dos plataformas de ciencia participativa con un gran alcance: *Naturalista* y *aVerAves*. A través de ellas cualquier persona puede consultar e ingresar observaciones sobre vida silvestre, por lo que recomendamos conocerlas, explorarlas y participar en su desarrollo.

El Bosque de Chapultepec es un patrimonio natural y cultural que no tiene igual para los capitalinos, por lo que autoridades y usuarios deben considerar también a sus



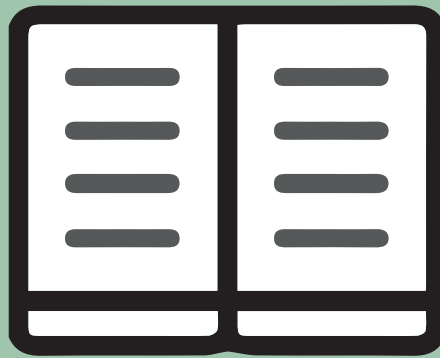
Figura 5. Entre las especies de anfibios y reptiles que registramos en el Bosque de Chapultepec son: la Tortuga Pecho Quebrado de Pata Rugosa (*Kinosternon hirtipes*), el Tlaconete Dorado (*Pseudoeurycea leprosa*), la Lagartija Espinosa del Mezquite (*Sceloporus grammicus*) y la Culebra Chata Mexicana (*Salvadora bairdi*). Fotografías de Antonio Valdenegro-Brito.

otros habitantes: las especies silvestres. Adicionalmente a las acciones que se implementen por parte del gobierno de la Ciudad de México y la administración del Bosque de Chapultepec, hay algunas recomendaciones que el público usuario puede poner en práctica para ayudar significativamente. Por ejemplo, utilizar únicamente los espacios destinados para visitantes ayuda a mantener en buen estado a la vegetación, que es hogar y alimento de múltiples especies. Asimismo, es importante mantener a los perros con correa y levantar sus heces, debido a que podrían lastimar, asustar, depredar o transmitir enfermedades a la fauna silvestre de forma no intencional. Además, al cuidar del Bosque también protegemos una fuente de oxígeno y captación de agua, beneficio que es para todos los habitantes de la Ciudad de México, aun cuando nunca lo hayan visitado. El futuro de Chapultepec se encuentra en manos de todos y los beneficios de su manejo adecuado

no solo favorecería a la vida silvestre, sino a nosotros los humanos, ya que nuestro destino se encuentra entrelazado.

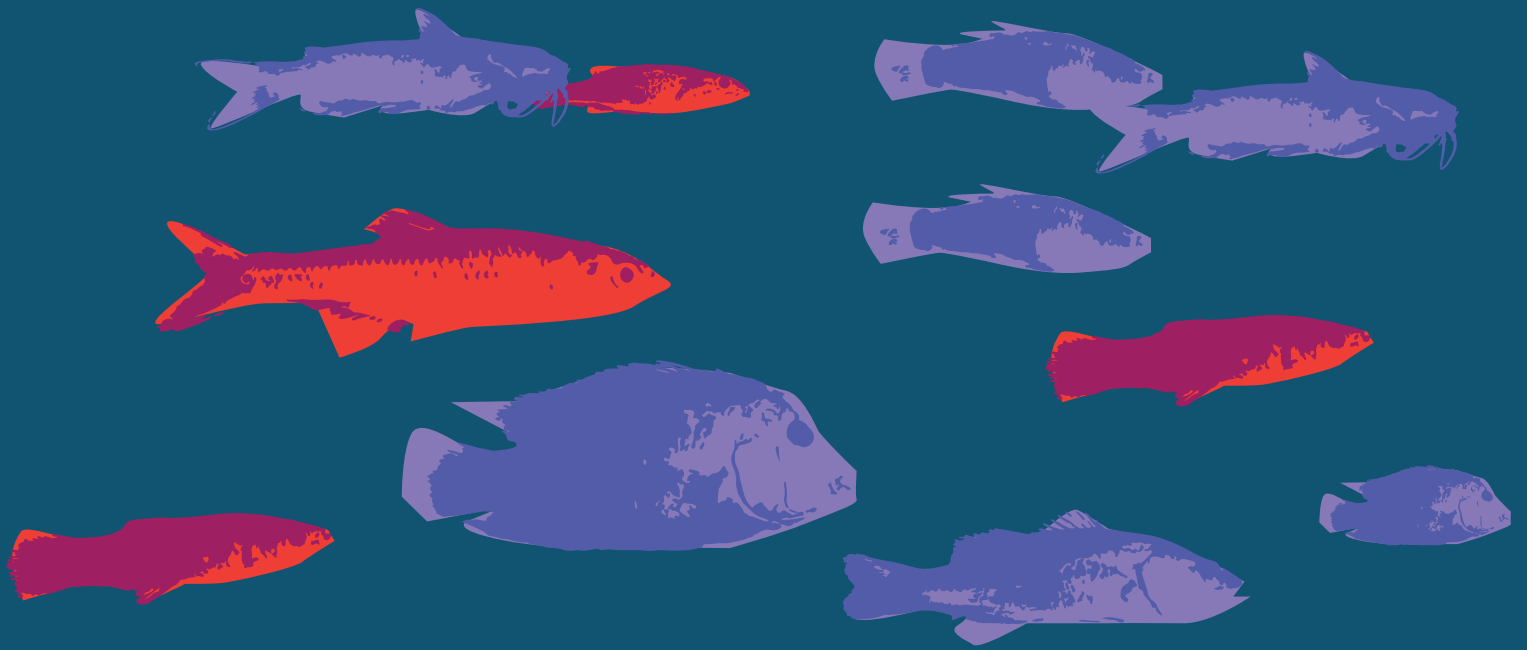
AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al financiamiento otorgado por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT 300197) a U. O. García-Vázquez y J. Llorente (CONACyT 284966 y PAPIIT IN220521). MTO agradece a CONAHcyT (Estancias Posdoctorales por México para la Formación y Consolidación de las y los Investigadores por México, CVU131802). Agradecemos a M. Pacheco, M. Aguilar y J. Osorio de la Dirección de Gestión del Bosque de Chapultepec, a la Secretaría del Medio Ambiente, CDMX, y a la Secretaría de Defensa Nacional por el apoyo logístico.



LITERATURA CITADA

- Ávalos-Hernández, O., M. Trujano-Ortega, R. Ortega-Álvarez, R.G. Martínez-Fuentes, R. Calderón-Parra, F. García-Luna, L. Ramírez-Vieyra, J. Tapia-González, J. Vega-Rivas, J. Villagómez-Guijón, A. Valdenegro-Brito, U.O. García-Vázquez. 2024. How does urbanization affect the fauna of the largest urban forest in Mexico? *Urban Forestry & Urban Greening*. 92 (2024) 128191. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128191>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA). 2016. La biodiversidad en la Ciudad de México. CONABIO/SEDEMA. México. <http://200.12.166.51/janium/Documentos/13054.pdf>
- del Coro, M., E. del Val. 2021. Jardines de polinizadores como estrategia de conservación en las ciudades. Pp. 14-26. En: Mercado, N y E. del Val (Eds.). *Manejo y conservación de fauna en ambientes antropizados*. Refama/UAQ. México, 191 pp.
- Díaz-Batres, M. E., J. Llorente-Bousquets. 2011. *Mariposas de Chapultepec. Guía Visual*. Ed. Panorama, México, 156 pp.
- Gómez T., A. 2002. Los jardines de Chapultepec en el siglo XIX. *Arqueología Mexicana*. México, X (57): 48-53.
- Ortega-Álvarez, R., R. Calderón-Parra, F. García-Luna. 2022. Trees and people determine the feeding activity of a migratory bird in an urban mega-park of Mexico City. *Avian Biology Research* 15(3):149-157. <https://doi.org/10.1177/17581559221113641>
- Ruíz N., V. M. 2002. Los jardines de Chapultepec y sus reflejos novohispanos. *Arqueología Mexicana*. X (57): 42-47.
- Solís O., F. 2002. Chapultepec, espacio ritual y secular de los tlatoani aztecas. *Arqueología Mexicana*. X (57): 36-40.
- Tovar de Teresa, L., S. Alcántara O. 2002. Los jardines en el siglo XX: el viejo Bosque de Chapultepec. *Arqueología Mexicana*. X (57): 56-65.



ICHTHYOFAUNA DIVERSITY OF THE BUSTAMANTE RIVER, NUEVO LEON, MEXICO. PRIORITY LAND REGION FOR THE STATE

/// JORGE ARMANDO CONTRERAS- LOZANO¹, MARIA- LOURDES
LOZANO-VILANO², AND ARMANDO JESUS CONTRERAS-BALDERAS².



¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Cuerpo Académico de Ecología de Enfermedades y Fauna Silvestre. Av. Francisco Villa s/n, Col. Ex Hacienda el Canadá, Escobedo, Nuevo León, México, CP 66050. Corresponding autor: jorge.contreraslzn@uanl.edu.mx

²Private Consultant. Cerro de Conformidad #115 Las Puentes 2° Sector, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. 66460.

RESUMEN

El estado de Nuevo León está localizado al noreste de México y el río Bustamante se encuentra localizado en la parte noroeste del mismo estado. Es un área limitada donde las lluvias y el agua son de vital importancia para las actividades antropogénicas. La preservación de los ríos y comunidades acuáticas son muy importantes y no reciben atención adecuada en esta región. El estudio fue realizado en el área terrestre prioritaria, colindando con el estado de Coahuila. Este representa el primer estudio de peces que se realiza en el presente río, que en su mayor parte del tiempo está sujeto a inundaciones, también es un tributario al río Salado, y por esta razón, el objetivo fue realizar un estudio ictiofaunístico, así como un estudio zoogeográfico y ecológico, así como detectar la presencia de especies exóticas o invasivas. Los individuos fueron colectados utilizando un aparato de electropesca, y las especies fueron identificadas y depositadas en la colección científica de FCB-UANL. Como resultados, se reportaron ocho especies nativas, representadas en seis familias y ocho géneros. Dos especies presentaron una categoría de protección de acuerdo a las normas oficiales mexicanas, *Cyprinella* cf. *rutilla* (Amenazada), probablemente una nueva especie, y *Dionda melanops* (en peligro). La afinidad zoogeográfica presenta cuatro especies neárticas y cuatro neotropicales, y la presencia de tres especies exóticas *Micropterus dolomieu*, *Oreochromis* sp. Indet y *Xiphophorus variatus*. Es importante continuar con los muestreos debido a la posibilidad de encontrar más especies dentro del área de conservación.

ABSTRACT

The state of Nuevo León is in the northern of México, the Bustamante river is in the portion of northwestern of this state. It is a limited area where rainfall and the water are a vital resource for anthropocentric activities. The preservation of the rivers is very important, and the fish communities are override in this region. The study was conducted in a Priority Terrestrial Region, bordering Coahuila. There is the first study on fishes in this river, that the most of time is a close flood, is a tributary of the Salado River, for this reason, the objective was to know the ichthyofauna, as well as conduct a zoogeographical and ecological analysis, and the presence of exotic and/or invasive species. Individuals were collected using seine net and electrofishing equipment, species were identified and stored in the Scientific Collection of FCB-UANL. As a result, were reported the presence of eight native species, where is represented six families and eight genera. There are two species under a status of protection laws of the country, *Cyprinella* cf. *rutilla* (Threatened) probably a new species and spotted minnow, *Dionda melanops* (Endangered). Zoogeographical affinity presents four Nearctic species and four Neotropical species, and three, smallmouth bass, *Micropterus dolomieu*, Tilapia probably *Oreochromis* sp. Indet. and *Xiphophorus variatus*, as exotic species were collected. It is important to continue the surveys due to is possible to find species that important area for conservation.



Palabras clave: Bustamante, Nuevo León, Ríos, Ictiofauna

Keywords: Bustamante, Nuevo León, Rivers, Ichthyofauna

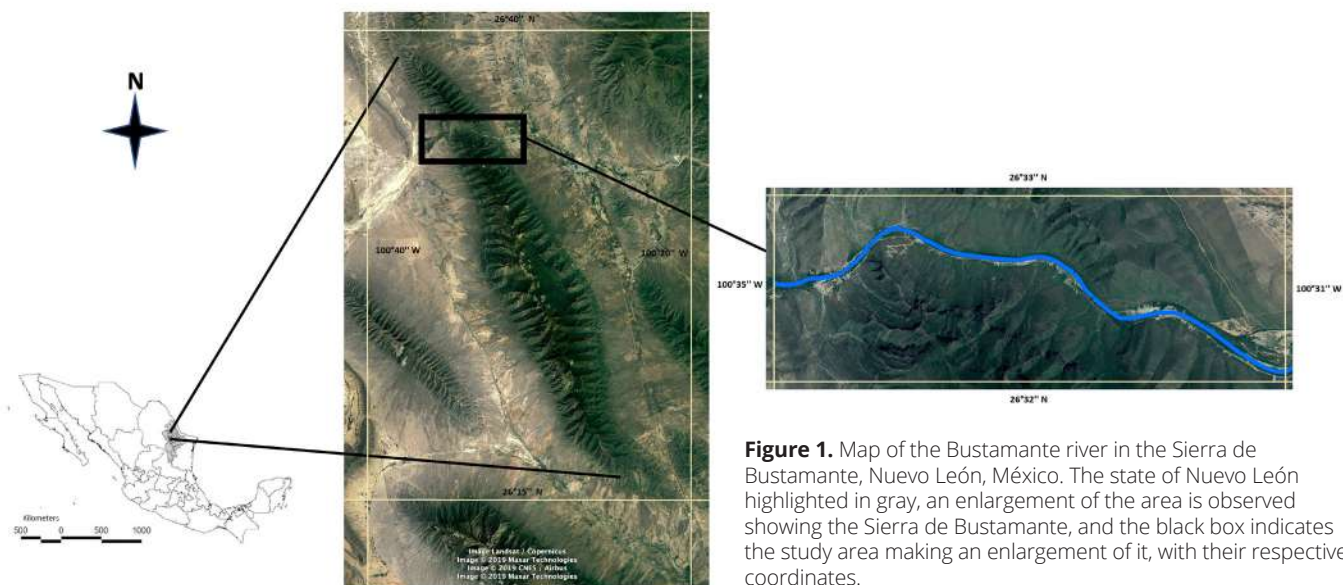


Figure 1. Map of the Bustamante river in the Sierra de Bustamante, Nuevo León, México. The state of Nuevo León highlighted in gray, an enlargement of the area is observed showing the Sierra de Bustamante, and the black box indicates the study area making an enlargement of it, with their respective coordinates.

INTRODUCTION

The state of Nuevo León is in the northern region of México, and the Bustamante river is in the northwestern portion of this state. It is a limited area where rainfall and the water are a vital resource for anthropocentric activities. The preservation of the rivers is very important, and the fish communities are override in this region. The present study was conducted in a Priority Terrestrial Region (RTP-77), which represents an environmental stable unit in the national territory, highlighting the presence of an ecosystemic richness and specific diversity, with a significative ecological integrity and opportunity for conservation. In the Sierra of Bustamante, bordering the state of Coahuila where this region was determined based on plant communities, reptiles, birds and mammals, and fishes weren't considered and are important part of the group of vertebrates and directly affected by ecotourism, fishing, and water extraction (Anonymous, 2000; Arriaga *et al.*, 2000; Martínez-Muñoz and Rodríguez- González, 2018). This is the first study on fishes in this river, that the most of time is a close flood, and is a tributary of the Salado River, for this reason, it is important to know the ichthyofauna, as well as conduct a zoogeographical and ecological analysis, and assess the presence of exotic and/or invasive species.

There is a lack of knowledge about the fishes in the state of Nuevo León, only a few general works as well as Meek (1904) reports in large spring in Monterrey, referenced six species of characids, cyprinids, and cichlids. Álvarez-del-Villar (1952) reports 48 species for the state of Nuevo León. Contreras-Balderas (1967) increase the inventory for the state to 54 species, then Contreras- Balderas *et al.* (1995) mention the presence of 83 species in 46 genera

and 18 families, which 28 species are considered as exotic, and specific areas as Contreras-Balderas *et al.* (2002) published an inventory for the fishes of Monterrey where included 20 species in seven families and 14 genera, and nine considered as exotic. A management program of the Monumento Natural del Cerro de la Silla (CONANP, 2014) refers to vertebrates, but fishes are not included; also, Lozano-Vilano *et al.* (2013) mention the fishes for the Parque Nacional Cumbres de Monterrey the presence of 28 species and nine introduced species; but particularly for the Bustamante river there are no surveys of possible fishes present in the area, also contribute to the knowledge of the natural areas and species that are used *a posteriori* in evolutive and conservation studies.

MATERIALS AND METHODS

Study site. Sierra de Bustamante is located at the coordinates (26°11'15"-26°43'19" N and 100°22'55"-100°46'23" W), and is part of a mountain range in the northwest portion of the state of Nuevo León that extends to the municipality of Candela in the state of Coahuila, extending to the municipalities of Mina, Salinas Victoria, Villaldama, Bustamante, and Lampazos de Naranjo in the state of Nuevo León, and the Bustamante river is located in the north portion of the mountain extending from coordinates (26°32'25" N and 100°31'46" W) (Fig. 1). The climate is semi-arid, temperate with an average annual of 18-22°C and an average rainfall of 5-10.2% per year. This region has an altitudinal gradient from 550-2,000 meters above sea level (masl). All these characteristics contribute to the presence of a great variety of plant communities starting in the lower part with submontane scrubland,

xerophilous and rosetofilous scrubland, which are the predominant plant communities. In addition, communities such as chaparral, oak, pine in the highest parts of the mountain are included (Anonymous, 2000).

Method. To collect the specimens, a seine net was used with 2 and 3 meter long, 1.8m wide with a 1/16' sieve, and an electrofishing device LR-24 Smith-Root, Inc. The collection method used was the capture per unit of effort, for one hour each locality. The material was labeled and deposited in Scientific collection of Facultad de Ciencias Biológicas UANL, and material was deposited using 10% formalin, for 7 days, and preserved in 50% isopropyl alcohol. Collection permit was SGPA/DGVS/10766/16. The collection sites were georeferenced by a Garmin eTrex 20x GPS and a Rebel T6s EOS EF-S 18-135 IS STM camera to obtain the individual's photographic records at the time of being captured to have the registration of their coloration before being fixed under preservation methods.

Identification of species. Material was identified following criteria of Álvarez-del-Villar (1970) and Miller *et al.* (2005), updated scientific and common names by Nelson *et al.* (2004) and Fricke *et al.* (2024). Zoogeographical origin and ecological affinity of the species based in Darlington (1963). Status of protection of the species was based on Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Data analysis. The statistical analysis was performed by nonparametric diversity analysis using the EstimateS Ver. 9.1.0 program with the indicators of Jackknife1, Chao2 and Bootstrap to determine the representativeness of sampling based on absence and presence of species in the study area (Colwell, 2011; Colwell and Coddington, 1994).

RESULTS

At the end of the survey were identified the species of fishes for the Bustamante river with a total of 11 species in 172 individuals, distributed in six families and 10 genera (Table 1).

From the 11 species two species (*Dionda melanops* and *Cyprinella rutila*) are under a category of protection according to the NOM-059SEMARNAT-2010. Also were found in the surveys three species that are consider exotic, which include *Micropterus dolomieu*, *Oreochromis sp.* and *Xiphophorus variatus*. The zoogeographical origin of the Bustamante river consists of eight species reported which are distributed in four Nearctic and four Neotropical species, and ecological affinity are distributed in five primary and three secondary.

The results of the statistical analysis of the nonparametric diversity indexes of Jackknife1, Chao2 and Bootstrap including the species accumulation curve

Table 1. Ichthyofauna diversity, ecological affinity and zoogeographical origin in the Bustamante river, Nuevo León, México. Abbreviations: STATUS: Category of law protection of species according to Norma Oficial Mexicana (P: endangered, A: Threatened and SE: Without status).

Species	Ecological affinity	Zoogeographical origin	Status
Centrarchidae			
Micropterus dolomieu			Exotic
Micropterus salmoides	Primary	Nearctic	SE
Characidae			
Astyanax argentatus	Primary	Neotropical	SE
Cichlidae			
Herichthys cyanoguttatus	Secondary	Neotropical	SE
Oreochromis sp.			Exotic
Cyprinidae			
Dionda melanops	Primary	Nearctic	P
Cyprinella rutila	Primary	Nearctic	A
Ictaluridae			
Ictalurus punctatus	Primary	Nearctic	SE
Poeciliidae			
Gambusia affinis	Secondary	Neotropical	SE
Poecilia mexicana	Secondary	Neotropical	SE
Xiphophorus variatus			Exotic

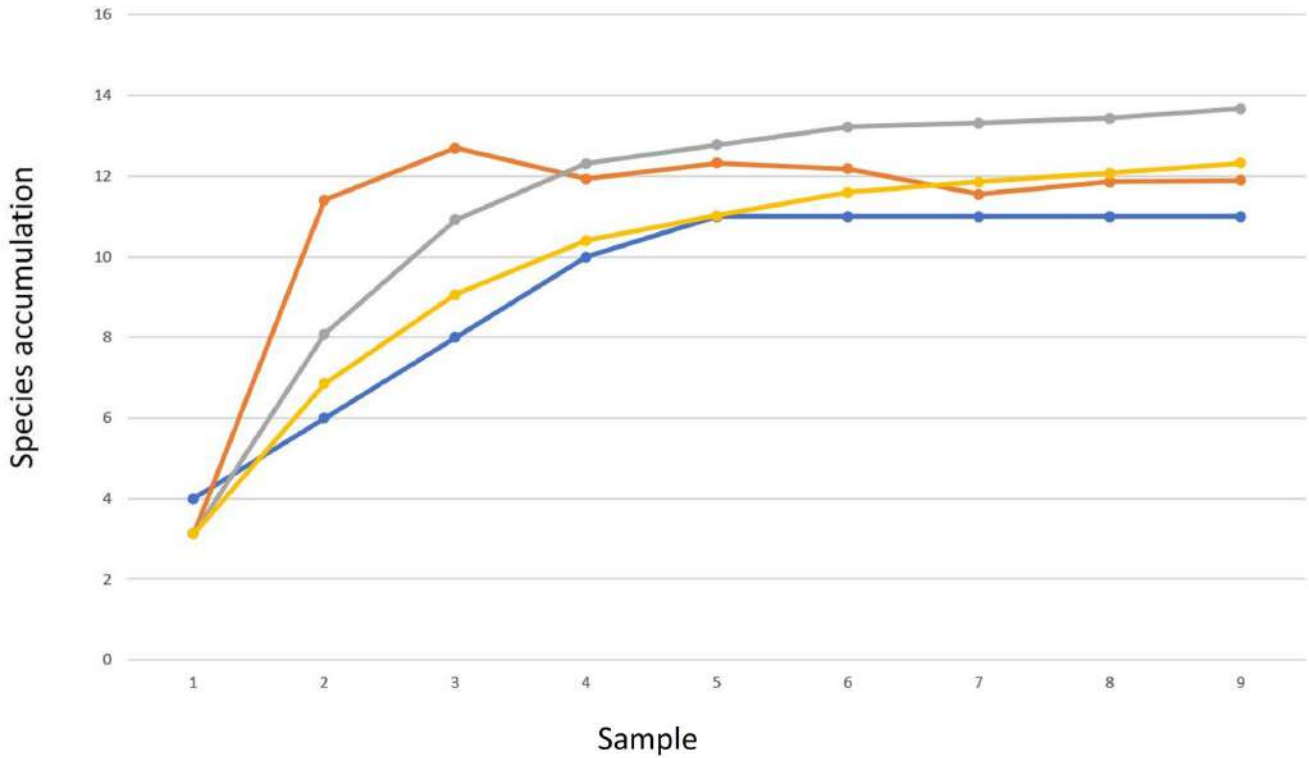


Figure 2. Species accumulation curve in the Bustamante river (blue line), including non parametric diversity index of Jackknife 1 (grey line), Chao2 (orange line), and Bootstrap (yellow line) indicating horizontal line surveys, and vertical line number of species.

showed values of 13.67, 11.89 and 12.32 respectively, indicating that surveys reach the asymptote from sampling six (Fig. 2).

DISCUSSION

The ichthyofauna present for the Bustamante river includes 11 species (172 individuals) distributed in six families, 10 genera and 11 species (Fig. 3). For these species is confirmed their presence according to the distribution maps mentioned by Álvarez-del-Villar (1970), Fricke *et al.* (2024), Miller *et al.* (2005), and Nelson *et al.* (2004). Is important to mention the presence of three exotic species *Micropterus dolomieu*, *Oreochromis sp.* and *Xiphophorus variatus* that are species from USA, south and east of México and Africa used for aquaculture or sportfishing and have been introduced in several rivers, in this case Bustamante river is a balneary and ecotouristic river where the introduction of these species could be for the same reasons as aquaculture or sportfishing (Brewer and Orth, 2014; Torres-Jaramillo *et al.*, 2010).

The species accumulation curve indicates that the number of species represented in the Bustamante river

reach the asymptote, representing the ichthyofauna in the area with an average of 87.16% (Colwell and Coddington, 1994). The selected statistical estimators allow to determine, based on presence/ absence of species, the number of species that can occur in one sample, and provide the least biased estimator for small samples (Colwell and Coddington, 1994; Moreno, 2001), therefore, the similar value obtained from these non-parametric indicators and the species accumulation curve corroborates the effectiveness of estimation of species diversity in the study area.

According to the laws of protection of the country the Normal Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) are reported two species under a category of protection, *Cyprinella rutila* in the category of threatened and *Dionda melanops* as endangered, this represents 25% of the native species of fishes reported for Bustamante river in present study. Although it is not a considerable percentage of vulnerable ichthyofauna, it is important to conserve these natural aquatic environments since the state of Nuevo León is considered a semi-arid area (CONANP, 2014; SEMARNAT, 2010), this two species under Mexican law protection are vulnerable due to anthropocentric activities and freshwater mismanagement as *Xiphophorus couchianus*

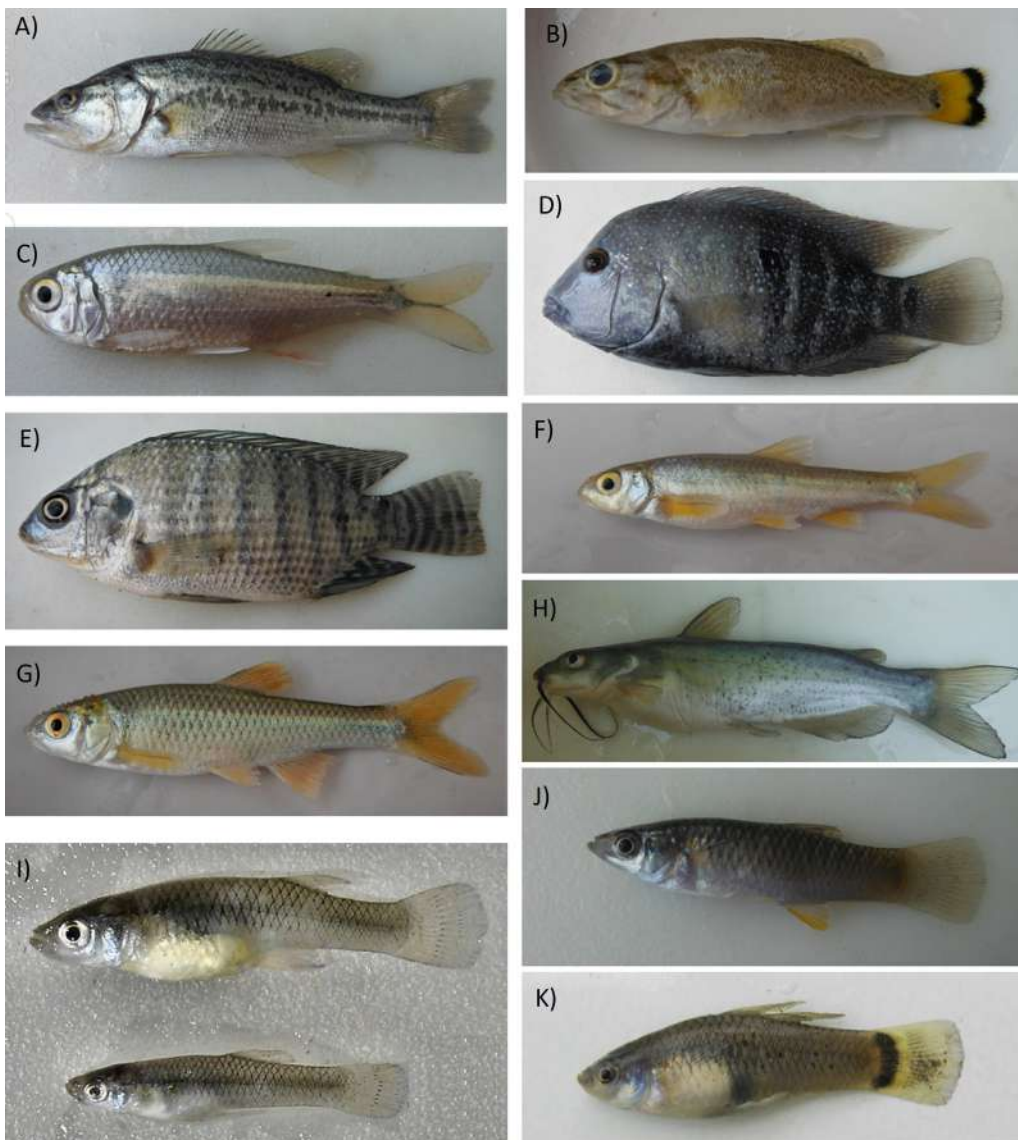


Figure 3. Photos of the species found in Bustamante river, in Nuevo León, México. Order of the photos: A) *Micropterus salmoides*, B) *Micropterus dolomieu*, C) *Astyanax argenteatus*, D) *Herichthys cyanoguttatus*, E) *Oreochromis sp.*, F) *Dionda melanops*, G) *Cyprinella rutila*, H) *Ictalurus punctatus*, I) *Gambusia affinis* upside female, downside male, J) *Poecilia mexicana* and K) *Xiphophorus variatus*.

disappeared of natural environments in 1968? or *Notropis saldonis* extinct before 1983, among others, in Nuevo Leon state (Contreras-Balderas *et al.*, 1995).

The ecological affinity of the species present in Bustamante river are five primary freshwater species representing the 62.5% and three secondary freshwater species with 37.5% of the native species, indicating that the study site is mainly composed of freshwater and there is no influence of brackish water (Soria-Barreto *et al.*, 2018). The zoogeographical origin consists of four Nearctic and four Neotropical species representing the 50% for each of the native species (Miller *et al.*, 2005). According to Darlington (1963), mention that the study site is in the southern limit of the Nearctic and the northern limit of the Neotropical region. Also, the Nearctic and Neotropical region seems to have a strong competition for resources which keeps the number of species in this

zoogeographic region regulated (Darlington, 1963; Espinosa *et al.*, 2008; García-Contreras, 2012). One of the most notable and negative changes for the ichthyofauna of the river is the presence of three exotic species (*Micropterus dolomieu*, *Oreochromis sp.* and *Xiphophorus variatus*), because they have some characteristics that can alter the aquatic ecosystem, affect food chains, affect the ability of native species to compete for food and habitat acquisition due to the lack of biological control as diseases and predators and predation of native species; resulting in decline and possible extinction of native species (Root *et al.*, 2013).

ACKNOWLEDGEMENTS

Project supported by PAICYT-UANL CN382-15. SEMARNAT permission No. SGPA/DGVS/09017/17.



LITERATURE CITED

- Álvarez-del-Villar. 1952. Los peces de Nuevo León y la piscicultura rural. Instituto de Investigaciones Científicas, Nuevo León, 43pp.
- Álvarez-del-Villar. 1970. Peces mexicanos (claves). Instituto Nacional de Investigación Biológico Pesquera, México, 166pp.
- Anonymous. 2000. Áreas naturales para la conservación ecológica en el estado de Nuevo León. Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas y Subsecretaría de Ecología. Gobierno del Estado de Nuevo León, Nuevo León, 341pp.
- 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, 611pp.
- Brewer, S.K. y D.J. Orth. 2014. Smallmouth bass *Micropterus dolomieu* Lacepede, 1802. American Fisheries Society Symposium, 82:9-26. https://www.researchgate.net/publication/281206490_Smallmouth_Bass_Micropterus_dolomieu_Lacepede_1802
- Colwell, R. K. 2011. Estimates: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Version 9.1.0, 2018, User's Guide and application published at, University of Colorado, Colorado.
- Colwell, R.K., y J.A. Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. Philosophical Transactions of the Royal Society of the London Society B. Biological Science. 345(1311): 101-118. https://www.researchgate.net/publication/15227591_Colwell_RK_Coddington_JA_Estimating_terrestrial_biodiversity_through_extrapolation_Philos_Trans_R_Soc_London_B-Biol_Sci_345_101-118.
- Contreras-Balderas, S. 1967. Lista de peces del estado de Nuevo León. Cuadernos del Instituto de Investigación Científica, UANL, 11:1-12.
- Contreras-Balderas, S., M.L. Lozano-Vilano, y M.E. García-Ramírez. 1995. Tercer lista anotada y revisada de peces de Nuevo León, México. Pp. 73-78. En: Contreras-Balderas S., F. González-Saldivar, D. Lazcano-Villarreal & A. Contreras-Arquieta (Eds.). Listado preliminar de fauna silvestre del estado de Nuevo León, México. Ediciones Consejo Estatal para la Preservación y Fomento de la Flora y Fauna Silvestre de Nuevo León, Monterrey. 152pp.
- Contreras-Balderas, S., M.L. Lozano-Vilano, y M.E. García-Ramírez. 2002. Peces, historia, inventario, y estado de conservación. Pp. 69-74. En: Galán-Wong, L., H.A. Luna-Olvera, J.A. García-Salas, K. Arévalo-Niño, A. Cavazos-Leal & B. Pereyra-Alfárez (Eds.). Alba y Horizonte. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 277pp.
- CONANP. 2014. Programa de Manejo Monumento Natural El Cerro de la Silla. SEMARNAT y CONANP, México D.F., 129pp.
- Espinosa, H., L. Huidobro, C. Flores, P. Fuentes y R. Funes. 2008. Peces. Pp. 1-78. En: Ocegueda, S. & J. Llorentes-Bousquets (Eds.). Catalogo taxonómico de especies de México, Capital natural de México, Vol. I: conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, CD, 78pp.
- Fricke, R., W.N. Eschmeyer, y R. Van der Laan. 2024. Eschmeyer's catalog of Fishes: Genera, Species, References. En: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (consultado el 07/02/2024).
- García-Contreras, E.V. 2012. Ictiofauna de las áreas naturales protegidas Monumento Natural Cerro de la Silla y Sierra de la Silla, Nuevo León, México. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 72pp.
- Darlington, P.J.Jr. 1963. Zoogeography: the geographical distribution of animals. J. Wiley & Sons, New York, London, 675pp.
- Lozano-Vilano, M., M. García-Ramírez y M. Espinoza-Narváez. 2013. Peces. Pp. 195-206. En: Cantú-Ayala, C., M. Rovalo-Merino, J. Marmolejo-Moncivais, S. Ortiz-Hernández & F. Serriña-Garza (Eds.). Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP, México, 414pp.
- Martínez- Muñoz, A. y M. Rodríguez- González. 2018. Estudio técnico justificativo para la declaratoria de la Sierra de Bustamante como Monumento Natural Estatal, en el municipio de Bustamante Nuevo León. En: <http://mundosustentable.org/bienvenidos/wp-content/uploads/2018/07/ETJ-Bustamante-v4jul2018.pdf> (consultado el 01/04/2023).
- Miller, R.R., W.L. Minckley y S.M. Norris. 2005. Freshwater fishes of México. University of Chicago Press, Chicago, 490pp.
- Meek, S.E. 1904. The freshwater fishes of México North of the Isthmus of Tehuantepec. Publication of the Field Columbian Museum, Zoological Series V., Chicago, 252pp.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, Zaragoza, 83pp.
- Nelson, J.S., E.J. Crossman, H. Espinosa-Pérez, L.T. Findley, C.R. Gilbert, R.N. Lea, y J.D. Williams. 2004. Common and scientific names of fishes from the United States, Canada and México. American Fisheries Society, Special Publication 29, Bethesda, Maryland, USA, 386pp.
- Root, T.L., S.H. Schneider, R. Warren, J.R. Price, y P.R. Mastrandrea. 2013. Climate change and wild species. Pp. 79-99. En: S.A. Levin (Ed.). Encyclopedia of Biodiversity. Academic Press, USA, 5504pp.

SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Diario Oficial, México.

Soria-Barreto, M., A.A. González-Díaz, A. Castillo-Domínguez, N. Álvarez-Pliego y R. Rodiles-Hernández. 2018. Diversidad íctica en la cuenca del Usumacinta, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(2018): S100-S117. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2462>

Torres-Jaramillo, J., J.M. Muñoz, H. Cárdenas, L.A. Álvarez, y J.D. Palacio. 2010. Caracterización de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) con marcadores moleculares RAPD. *Acta Agronómica*, 59(2): 236-246. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169916224012>





LOS ACEITES ESENCIALES COMO ALTERNATIVA NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES VIRALES

ESSENTIAL OILS ARE A NATURAL ALTERNATIVE TO TREAT VIRAL DISEASES

/// NANCY NALLELY ESPINOSA CARRANZA,
SERGIO ARTURO GALINDO RODRÍGUEZ,
CATALINA LEOS RIVAS, CATALINA RIVAS
MORALES, JUAN GABRIEL BÁEZ GONZÁLEZ,
ROCÍO ÁLVAREZ ROMÁN

Universidad Autónoma de Nuevo León, México
nancy.espinosacr@uanl.edu.mx, sagrod@yahoo.com.mx,
catalina.leosrs@uanl.edu.mx,
catalina.rivasmr@uanl.edu.mx,
juan.baezgn@uanl.edu.mx,
roc_alvarez_r@yahoo.com



Palabras clave: aceites esenciales, virus, antiviral.
Keywords: essential oils, viruses, antiviral.

RESUMEN

Los virus son agentes con la capacidad de invadir o infectar a cualquier ser vivo ocasionando enfermedades graves e incluso la muerte. La principal línea de defensa contra estos agentes virales está mediada por el sistema inmunológico. Adicionalmente, pueden emplearse tratamientos para reducir la carga viral. En la actualidad, los fármacos antivirales comercialmente disponibles presentan ciertas limitaciones, por ejemplo, los efectos secundarios que provocan en el organismo, así como el riesgo de toxicidad celular. Las recientes investigaciones han posicionado a los aceites esenciales como nuevas alternativas en la búsqueda de moléculas con actividad antiviral. El presente trabajo aborda aspectos generales de los virus, así como diversos estudios en los que se han evaluado las propiedades antivirales de los aceites esenciales.

ABSTRACT

Viruses are agents with the ability to invade or infect any living being, causing serious and even deadly diseases. The main defense against these viral agents is mediated by the immune system. In addition, antiviral treatments can be used to reduce viral load. However, the commercial antiviral drugs have certain limitations, including the potential side effects that they may cause in the body, as well as the risk of cellular toxicity. Recently, several researches have been focused on the use of essential oils as new alternatives in the search for molecules with antiviral activity. The present work focuses on general aspects of viruses, as well as several studies in which the antiviral properties of essential oils have been evaluated.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, los seres humanos han padecido numerosas enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes virales. En 1918, el virus de la influenza A H1N1 causó la pandemia conocida como la gripe española, la cual es clasificada como la gripe más grave de la historia debido a que ocasionó la muerte de al menos 50 millones de personas en todo el mundo (CDC, 2018). Por otro lado, la pandemia de COVID-19, causada por el síndrome respiratorio agudo severo coronavirus-2 (SARS-CoV-2), provocó la infección de alrededor de 600 millones de personas y la pérdida de 6.8 millones de vidas humanas en el mundo, así como, altos impactos económicos y sociales (OMS, 2023a). Por otra parte, en septiembre de 2022, el Ministerio de Salud de Uganda anunció un brote de la enfermedad causada por el virus del Ébola (variedad Sudán) (SUDV) lo que generó preocupación entre las autoridades sanitarias debido a que la tasa de mortalidad alcanzaba el 40 por ciento (OMS, 2023b). Por otro lado, para finales del 2022, la cifra mundial de personas afectadas por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) alcanzaba los 39 millones. De ellas, el

71% mantenía una supresión viral, lo que significa que el virus no afecta su salud y disminuye el riesgo de transmisión a otras personas. No obstante, en ese mismo año, 1.3 millones de personas contrajeron el VIH, a pesar de las estrategias implementadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el fondo mundial y ONUSIDA con miras a poner fin a la epidemia del VIH para el año 2030 (OMS, 2023c; ONUSIDA, 2023).

Ante las graves consecuencias ocasionadas por estas crisis sanitarias, surge la importancia de comprender los mecanismos de infección, la estructura y composición de estos patógenos virales con la finalidad de prevenir y desarrollar alternativas terapéuticas efectivas para contrarrestarlos.

En la actualidad, los fármacos disponibles para el tratamiento de las infecciones virales presentan algunas limitaciones, tales como, el riesgo de toxicidad celular y los efectos secundarios que trae consigo su empleo; además, hay que considerar la elevada frecuencia con la que estos agentes infecciosos mutan y producen cepas resistentes. Así, surge el interés por encontrar nuevos compuestos bioactivos antivirales.

En los últimos años, los productos naturales, como los aceites esenciales, han recibido especial atención ya que poseen propiedades biológicas benéficas, entre ellas su actividad contra varios tipos de virus.

El presente trabajo aborda los aspectos generales de los virus, así como, las estrategias que hasta el momento se han realizado para su control utilizando productos naturales, especialmente, aceites esenciales.

1. GENERALIDADES DE LOS VIRUS

1.1. DEFINICIÓN

Desde el punto de vista biológico, los virus son agentes con la capacidad de invadir o infectar a cualquier ser vivo, incluyendo plantas, animales e incluso a hongos, parásitos y bacterias (Krug y Warner, 2024).

Los virus son probablemente las entidades biológicas más abundantes del planeta. Se estima que en el océano existen alrededor de 1×10^{31} virus. Para entender la magnitud de este dato podemos hacer la siguiente aproximación, si todos los virus se colocarían uno al lado del otro, abarcarían aproximadamente la distancia de las 60 galaxias más cercanas a la Tierra (Mushegian, 2020). Este número podría resultar alarmante dado que estos agentes son mayormente conocidos por ocasionar virosis (enfermedades que los virus originan en los humanos). No obstante, se ha reportado que tan solo 10,000 especies de virus tienen la capacidad de infectar al humano (Carlson *et al.*, 2022), mientras que, la gran mayoría infectan a las bacterias (Lusiak-Szelachowska *et al.*, 2020). De esta

manera, los virus participan de forma importante en el control de la cantidad de bacterias que se producen en el planeta cada día, lo que tiene un impacto directo en los ciclos biológicos de la Tierra, como el recambio de carbono y la absorción de fosfato (Chu *et al.*, 2022).

Además de su gran abundancia en el mundo, los virus también se encuentran entre las entidades biológicas más pequeñas. Pueden llegar a medir solo 16 nm como es el caso de los *Gyrovirus*, los cuales causan anemia aviar. Por otro lado, pueden alcanzar tamaños de 200 nm, como por ejemplo el virus de Epstein-Barr, agente causal de la mononucleosis aguda también denominada como la enfermedad del beso (Murata *et al.*, 2021). Debido a esta característica de tamaño diminuto es que los virus no se pueden ver a simple vista, fue solo hasta 1931 con la invención del microscopio electrónico que fue posible observar y estudiar sus diferentes estructuras (van Helvoort y Sankaran, 2019).

1.2. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS VIRUS

Los virus se constituyen de varios elementos (Figura 1). Entre ellos se encuentra un ácido nucleico, el cual es una molécula de gran tamaño que conforma el material genético del virus y posee las instrucciones específicas para producir los componentes de las nuevas partículas virales. Este puede ser de dos tipos: ADN (ácido desoxirribonucleico) o ARN (ácido ribonucleico). Además, dependiendo del tipo de virus, el ácido nucleico puede ser de cadena simple (ss, monocatenario) o de cadena doble (ds, bicatenario) y encontrarse de forma lineal, circular o segmentado (Figura 2) (Simón *et al.*, 2021).

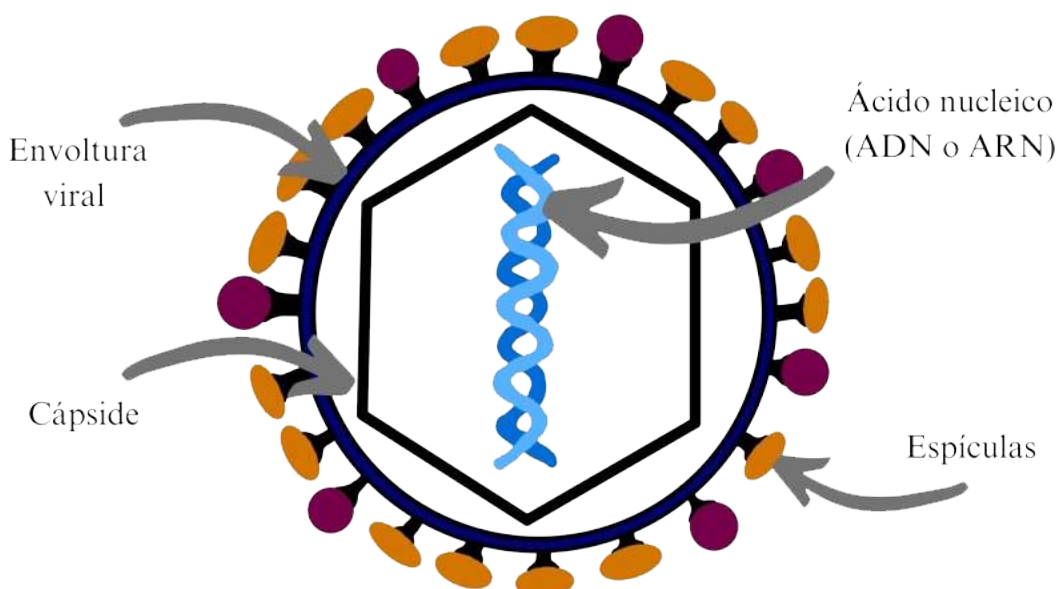


Figura 1. Estructura de los virus.

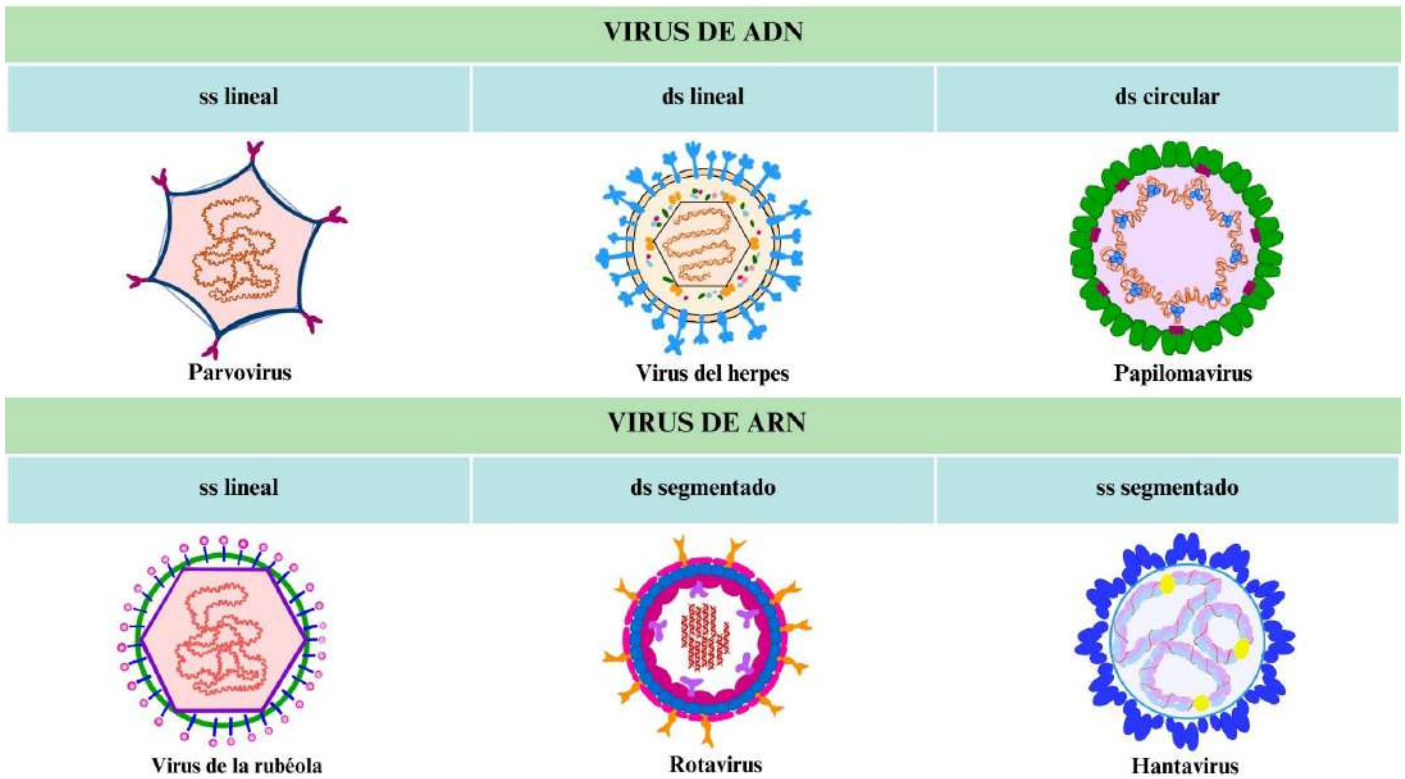


Figura 2. Organización del material genético de los virus (Adaptado de Moreira-Marrero, 2019; Serudji, 2022; Meier, 2021).

Otro de los elementos relevantes presente en estos agentes es la cápside (Figura 1), una estructura proteica que rodea al material genético del virus. Su función principal es proteger al ADN o al ARN de las condiciones del entorno, por ejemplo, de la temperatura, la desecación, la acidez o del ataque de las nucleasas, las cuales son enzimas con la capacidad de descomponer o degradar los ácidos nucleicos. Dicha cubierta es de gran importancia, ya que, si el material genético del virus se encuentra dañado, no sería posible producir nuevos virus.

Aunado a esto, particularmente en los virus desnudos (no presentan envoltura viral), la cápside presenta sitios especiales en su estructura, los cuales participan en la unión y la penetración del virus a la célula infectada o célula hospedera; esta interacción es un paso esencial para la propagación del agente infeccioso (Krug y Wagner, 2024). La cápside viral puede presentar diferentes formas, sin embargo, las 3 morfologías que más han llamado la atención, por su relativa abundancia, son la helicoidal, icosaédrica y compleja (Figura 3) (Parvez, 2020).

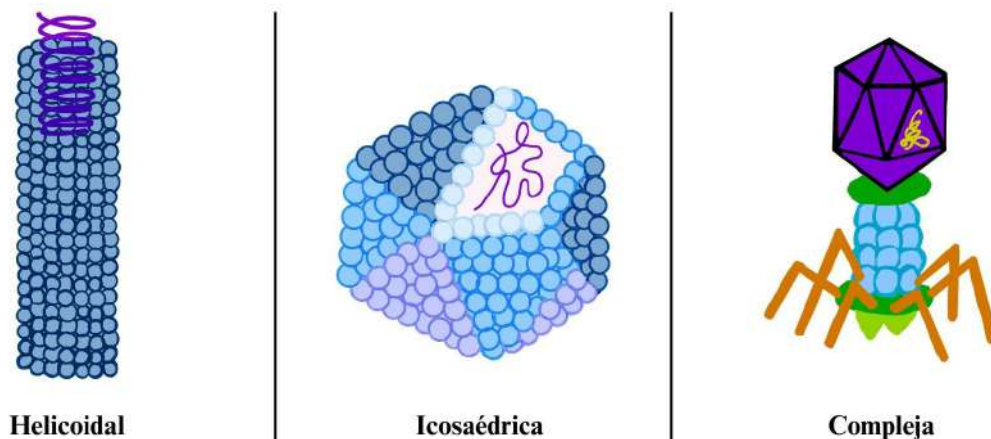


Figura 3. Tipos de simetría viral A) helicoidal, B) icosaédrica y C) compleja.

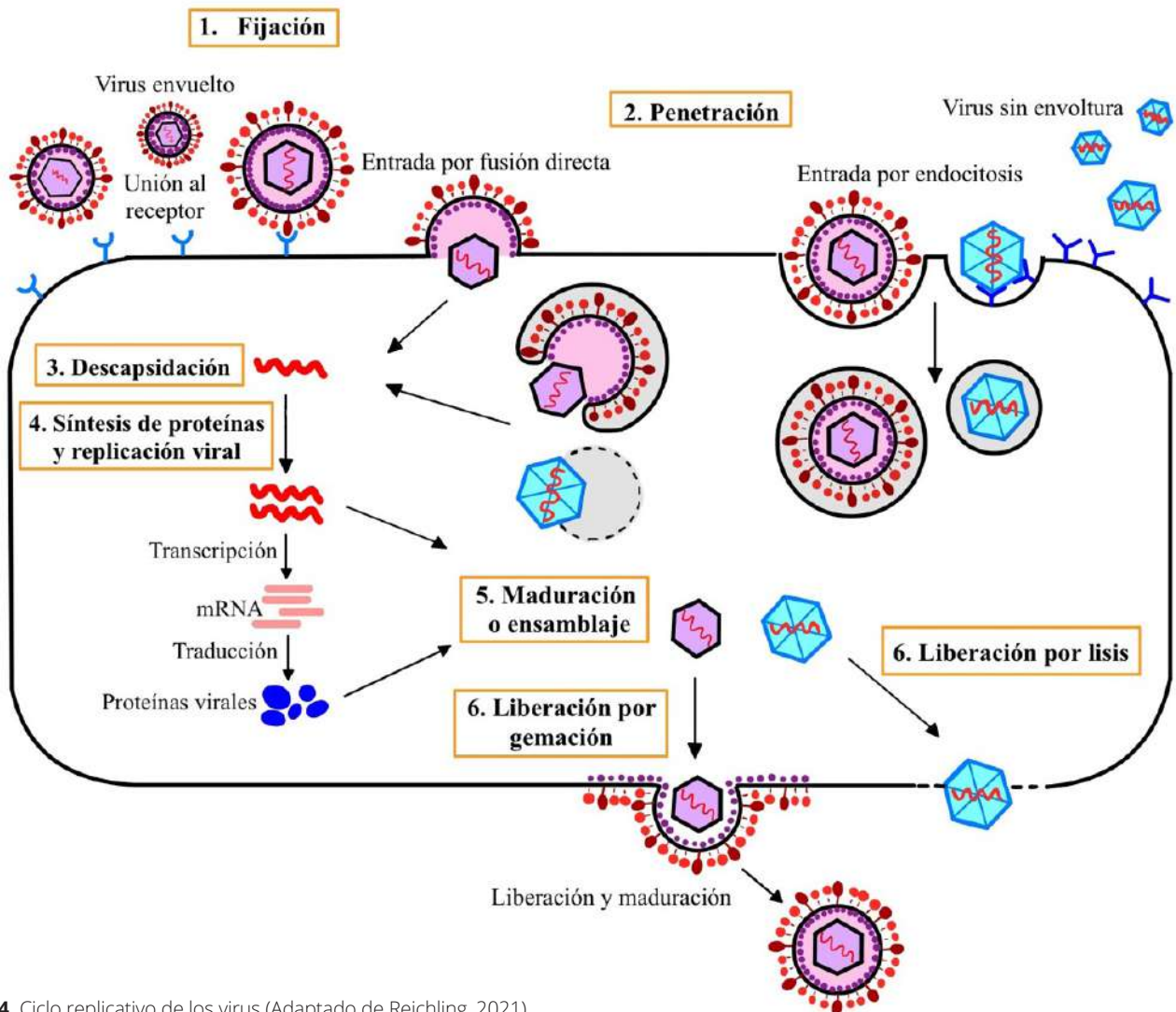


Figura 4. Ciclo replicativo de los virus (Adaptado de Reichling, 2021).

Seguido de la cápside se encuentra la envoltura viral, una cubierta adicional que puede estar o no presente en los virus (Figura 1). Dicha estructura está formada de una doble capa de lípidos que se deriva de los sistemas de membrana de la célula hospedadora, tales como, el retículo endoplásmico, el complejo de Golgi e incluso de la membrana nuclear. El exterior de este revestimiento presenta espículas o proyecciones de naturaleza glucoproteica que facilitan el acoplamiento del virus a los receptores de la célula infectada (Figura 1) (Levinson *et al.*, 2020).

Es importante señalar que esta envoltura lipídica es altamente susceptible a los solventes, los detergentes, la desecación o la acidez (Gibbens, 2020). Estas características pueden ser consideradas para el desarrollo de mecanismos de eliminación o control de estos patógenos. De hecho, en la pandemia por coronavirus el uso de gel

antibacterial a base de alcohol, así como, el lavado de manos (uso de detergentes) tomaron un papel muy importante para disminuir la probabilidad de contraer este virus que presenta envoltura.

1.3. REPLICACIÓN DE LOS VIRUS

Gran parte de la comunidad científica no considera a los virus como organismos vivos, ya que no pueden reproducirse ni llevar a cabo procesos metabólicos de forma autónoma, sino que, requieren utilizar forzosamente la maquinaria metabólica de una célula hospedadora. La replicación es la serie de procedimientos mediante los cuales estas entidades biológicas fabrican más copias de sí mismos en el interior de la célula hospedadora. En general, la replicación viral cuenta con 6 pasos (Figura 4). Primeramente, tiene lugar la adsorción o fijación, etapa en la cual las proteínas de la cápside o de la envoltura presentes en el virus entran en

contacto con la célula hospedadora con el objetivo de llegar a su interior. Es importante resaltar que los virus tienen la capacidad de infectar de manera específica un tipo de células de un órgano o tejido, lo cual está determinado principalmente por el tipo de receptor presente en la superficie de membrana de cada célula (Cifuentes-Munoz *et al.*, 2020).

Una vez adherido el virus a la superficie de la célula susceptible ocurre la penetración. En esta etapa el virus cruza la membrana plasmática de la célula empleando distintos mecanismos, tales como la endocitosis o la fusión de la membrana plasmática. Después de la internalización del virus en la célula, tendrá lugar la etapa de descapsidación o desnudamiento, en la cual el virus pierde la cápside, dejando al descubierto el ácido nucleico (Rheinemann y Sundquist, 2021).

La siguiente etapa del proceso es la síntesis de proteínas y la replicación viral. En esta cuarta etapa se realizarán copias del genoma viral y se fabricarán proteínas estructurales y no estructurales. Como su nombre lo dice, las proteínas estructurales son aquellas que conforman la partícula viral, por ejemplo, forman parte de la cápside o de las glicoproteínas que se encuentran en la envoltura. Por otro lado, las proteínas no estructurales no son parte del virus, pero participan en el ciclo replicativo y en la regulación del mismo.

Tras la fase de multiplicación, se llevará a cabo la etapa de maduración o ensamblaje, en la cual se empaquetarán las proteínas junto con el ácido nucleico para originar nuevas partículas virales (NLM, 2022).

La última etapa del proceso de replicación es la de liberación, en la cual los virus serán expulsados al exterior celular para infectar a otras células repitiendo el proceso anteriormente descrito. Esta etapa puede ocurrir mediante dos mecanismos: lisis o gemación. La primera ocurre como resultado de un proceso de ruptura de la membrana celular, lo cual podría ser propiciado por la producción de enzimas (*i.e.* endolisina y holina) que ponen en peligro la integridad de la membrana celular del hospedero. Este mecanismo resulta en la muerte de la célula infectada (Wu *et al.*, 2021). Por otro lado, en el mecanismo de gemación, el virus ensamblado sale de la célula y al momento de desprenderse se lleva consigo parte de la membrana celular, adquiriendo la envoltura lipídica. Los virus que son liberados mediante gemación, generalmente, no destruyen a la célula infectada (Rheinemann y Sundquist, 2021).

1.4. TRANSMISIÓN VIRAL Y EVASIÓN DE LAS DEFENSAS DEL CUERPO

Las formas de transmisión viral son muy variadas, ya sea, por contacto directo o indirecto. La primera requiere contacto físico entre una persona infectada y una persona no infectada, a través de las membranas mucosas, heridas en la piel o fluidos corporales. Por otro lado, la transmisión indirecta ocurre por contacto con objetos contaminados, alimentos y agua potable, así como, por el contacto con portadores tales como mosquitos, pulgas, garrapatas, roedores o perros (Leung, 2021).

Pese a que existen diferentes vías por las cuales podrían transmitirse los virus, es importante mencionar que cuando este agente infeccioso está en contacto con un organismo, no siempre termina en una enfermedad, debido a que el desarrollo de la misma está condicionado por los factores de patogenicidad del virus y la respuesta inmune del hospedero.

El sistema inmunológico es una red de células, tejidos y órganos que trabajan en conjunto para proteger al cuerpo de infecciones. El sistema inmune se divide en innato y adaptativo. En la Tabla 1 se muestran algunos de los componentes de estos mecanismos de defensa. La inmunidad innata representa la primera línea de defensa del cuerpo mediante barreras físicas, químicas y celulares. La piel es una de las principales barreras físicas cuya función es evitar la entrada de agentes extraños al cuerpo. Asimismo, en el cuerpo existe de manera natural sustancias químicas como la lisozima, presente en lágrimas y saliva, con la capacidad de destruir a los microorganismos (Nawaz *et al.*, 2020).

Pese a las barreras físicas, químicas y celulares proporcionadas por el sistema innato, los microorganismos pueden desarrollar mecanismos de evasión a esta línea de defensa, por lo que, para tratar de contrarrestar la infección es necesario acudir a la segunda línea de defensa del organismo, la inmunidad adaptativa. Este mecanismo cuenta con dos tipos de respuesta: la celular y la humoral. La primera recibe ese nombre debido a que sus mediadores son células, siendo los linfocitos T los principales efectores. Por otro lado, en la inmunidad humoral intervienen moléculas producidas por las células B o linfocitos B, que reciben el nombre de anticuerpos y que se encargan primordialmente de neutralizar a los agentes extraños. Es importante señalar que los linfocitos B y T son células de memoria, es decir, tienen la capacidad de recordar al patógeno, por lo que, cuando el cuerpo humano se enfrente nuevamente al microorganismo presentará una respuesta más rápida (Ali *et al.*, 2020).

Tabla 1. Mecanismos de defensa del cuerpo humano contra las infecciones.

	Componentes del sistema	Ejemplo	Función de defensa	Referencias
Sistema inmune innato	Barreras físicas	Piel intacta	Su compleja estructura la hace resistente a la degradación, impermeable e inhóspita para muchos patógenos.	Nguyen & Soulika, 2019
		Membranas mucosas	Dificulta la llegada de los patógenos a capas celulares más profundas. Además, las secreciones mucosas contienen agentes antimicrobianos.	Pedan <i>et al.</i> , 2020
	Barreras químicas	pH de las secreciones	Inhibe el desarrollo de los microorganismos.	Hsu <i>et al.</i> , 2022
		Enzimas (<i>e.g.</i> lisozima)	Rompen la pared celular de los microorganismos.	Nawaz <i>et al.</i> , 2022
	Barreras celulares	Macrófagos	Detectan, absorben y destruyen tanto a los patógenos, como los desechos celulares a través de la fagocitosis.	Rosowski, 2020
Neutrófilos		Inducen la fagocitosis y crean poros en la membrana de los microorganismos.	Ostrycharz & Hukowska-Szematowicz, 2022	
Sistema inmune adquirido	Inmunidad humoral	Linfocitos B	Producen inmunoglobulinas, también conocidas como anticuerpos, que se encargan de neutralizar agentes extraños.	Althwaiqeb & Bordoni, 2023
	Inmunidad celular	Linfocitos T	Destruyen las células del cuerpo que han sido infectadas por algún microorganismo mediante la activación de los macrófagos.	Saul <i>et al.</i> , 2022

No obstante, en caso de superar las defensas naturales del organismo, los agentes extraños como los virus continúan con su ciclo de replicación, lo que desencadena cambios bioquímicos y estructurales en la célula hospedera, causando daño celular o incluso la destrucción de la misma. Los síntomas de las enfermedades virales son efecto, tanto del daño celular ocasionado por el virus, como de la respuesta inmunitaria al virus, la que intenta controlar y eliminar al patógeno del cuerpo (Galán-Sánchez *et al.*, 2014).

1.5. TRATAMIENTOS

Como se mencionó en la sección anterior, el sistema inmune representa la primera línea de defensa del organismo. No obstante, si este sistema de protección es insuficiente se recurre a tratamientos con la capacidad de reducir la cantidad de virus en el cuerpo. En la actualidad los medicamentos antivirales inhiben la multiplicación intracelular del virus mediante el bloqueo de algunos pasos de su ciclo replicativo, ya sea en la etapa de penetración, en la síntesis del material genético o sobre la salida del virus en la célula. Es importante mencionar que algunos virus son neurotrópicos (*e.g.* herpes simplex), es decir, que tienen la capacidad de invadir, infectar o mantenerse inactivos sin causar síntomas (estado de latencia) en el tejido nervioso. De esta forma, el virus persiste permanentemente en el

cuerpo y puede activarse si disminuyen las defensas del hospedero debido a una mala alimentación, el padecer otras patologías o al estrés físico y emocional. Por lo tanto, en la mayoría de las enfermedades causadas por virus, el tratamiento está enfocado en controlar los síntomas, mientras, que el sistema de defensa del cuerpo es capaz de controlar la infección. El surgimiento de las vacunas ha permitido reforzar o ayudar al sistema inmune a combatir a las infecciones virales. Estas preparaciones biológicas (producidas con virus inactivados o mediante ingeniería genética) se encargan de estimular la producción de anticuerpos, los cuales actuarán en contra de los agentes infecciosos (OMS, 2021).

Pese a que en los últimos años se ha incrementado el número de agentes antivirales disponibles, aún estamos lejos de alcanzar la diversidad y el amplio espectro que cubren los antibióticos. El desarrollo de antivirales se encuentra limitado puesto que los virus se replican en el interior de las células empleando su maquinaria metabólica y, por lo tanto, cualquier intento por atacar el metabolismo del virus podría resultar en un efecto negativo para la célula hospedera. De modo que, para evitar la toxicidad celular, se pretende que los antivirales presenten una alta especificidad, sin embargo, esto también resulta contraproducente ya que dificulta obtener un tratamiento antiviral de amplio espectro.

Otra de las problemáticas es que, debido al amplio uso de los antivirales, hay una elevada posibilidad de enfrentar cepas resistentes a estos medicamentos, sobre todo en pacientes inmunocomprometidos, lo que reduce notablemente la efectividad del tratamiento. Asimismo, se ha reportado que el empleo de agentes antivirales implica el riesgo de presentar efectos secundarios tales como náuseas, dolor de cabeza, mareos, disfunción renal o alteraciones en el sistema nervioso (e.g. alucinaciones, desorientación, temblores) (Zareifopoulos *et al.*, 2020; Adiningsih *et al.*, 2023).

Debido a las desventajas que presentan los antivirales actualmente disponibles, así como a la importancia de este problema de salud pública a nivel mundial, es que ha surgido el interés por desarrollar nuevos agentes antivirales. Recientemente, los resultados de investigaciones con productos naturales, como los extractos vegetales y los aceites esenciales, han sido especialmente prometedores, lo que los ha posicionado como nuevas alternativas en la búsqueda de moléculas con actividad antiviral.

2. PRODUCTOS NATURALES

Los productos naturales son compuestos orgánicos formados por un organismo vivo. Se clasifican en metabolitos primarios, secundarios y materiales poliméricos. Los primeros están presentes en todas las células y reciben ese nombre debido a que tienen un papel central en el metabolismo y la reproducción. Algunos ejemplos de estos compuestos son los ácidos nucleicos, aminoácidos y azúcares. Por otra parte, los materiales poliméricos son compuestos de alto peso molecular que forman estructuras celulares. Algunos de ellos son la celulosa, ligninas y proteínas. En cuanto a los metabolitos secundarios son compuestos que se encuentran principalmente en bacterias, hongos, algas y plantas. Estas moléculas son de bajo peso molecular y las sintetizan los organismos, principalmente, para defenderse de los depredadores o para comunicarse con otros organismos. Los metabolitos secundarios se clasifican en tres grupos principales: fenólicos (como ácidos fenólicos, cumarinas, flavonoides y taninos), compuestos que contienen nitrógeno (alcaloides y glucosinolatos) y terpenos (como glucósidos, carotenoides, esteroides y aceites esenciales) (Sanchez, 2022).

2.1. ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales se definen como sustancias odoríferas constituidas de 20 a 60 componentes que se obtienen a partir de una materia prima vegetal (e.g. flores, semillas, raíces, hojas, ramas). Los principales componentes presentes en los aceites esenciales son terpenos, y en

menor medida compuestos aromáticos derivados del fenilpropano. Los terpenos resultan de la unión de dos o más unidades de un compuesto hidrocarbonado con cinco átomos de carbono, conocido como isopreno. Su clasificación se basa en el número de unidades de isopreno que componen su estructura; así, la combinación de 2 unidades da origen a los monoterpenos, mientras que la de 3 unidades forma los sesquiterpenos. Además, los terpenos pueden adoptar arreglos lineales o cíclicos, y presentar variantes oxigenadas y no oxigenadas (Figura 5) (Burčul *et al.*, 2020). En la última década, los aceites esenciales han presentado una relevante importancia para la industria agroalimentaria, cosmética, química y farmacéutica, ya que, poseen diversas actividades biológicas benéficas, por ejemplo, analgésica, antiinflamatoria, antitumoral, antifúngica, antioxidante y antiviral (Mancianti y Ebani, 2020).

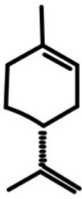
En particular, los efectos antivirales de los aceites esenciales se han reportado para una gran variedad de virus. Cagno y colaboradores (2017) evaluaron la actividad antiviral del aceite esencial de *Salvia desoleana* mediante un ensayo *in vitro* en células Vero. Reportaron que el aceite esencial inhibió significativamente al herpes simplex tipo 2 ($IC_{50} = 28.57 \mu\text{g/mL}$) y exhibió un mejor efecto que el fármaco de elección, el aciclovir ($IC_{50} = 71.84 \mu\text{g/mL}$). En otro trabajo, el aceite esencial de *Cymbopogon nardus* mostró una actividad inhibitoria de la transcriptasa inversa del VIH con un valor de $IC_{50} = 1200 \mu\text{g/mL}$ (Mori *et al.*, 2016). En la Tabla 2 se muestran algunas plantas que contienen aceites esenciales con propiedades antivirales.

Algunas investigaciones han reportado los mecanismos de acción de los aceites esenciales y sus componentes contra los virus. Se ha demostrado que la inhibición puede ocurrir en las diferentes etapas del ciclo replicativo de los virus o sobre algún componente de su estructura. Un trabajo realizado en el 2013 mostró que el aceite esencial de hoja de cedro inhibía fuertemente a la hemaglutinina, la cual es una proteína de membrana del virus de la influenza, necesaria para la entrada y salida del mismo de la célula hospedera (Selvarani y James, 2013). En otra investigación, se observó que los aceites esenciales de *Thymus vulgaris*, *Cymbopogon citratus* y *Rosmarinus officinalis* interactuaban directamente con la proteína Tat, la cual se une a la región TAR del ARN, esencial para la transcripción del VIH. De esta forma, la interacción de los aceites esenciales con la proteína Tat desestabiliza el complejo Tat/TAR-ARN e impide la replicación del virus (Feriotto *et al.*, 2018). Por otra parte, Mieres-Castro y colaboradores evaluaron la actividad del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* y sus componentes 1,8-cineol, α -pineno, γ -terpineno, ρ -cimeno, α -terpineol y terpinen-4-ol contra el HSV-1. Este trabajo sugiere que el mecanismo de acción del aceite esencial de *E. globulus* se ejerce por inactivación directa, es decir, por la unión de los componentes del aceite esencial a las glicoproteínas gB, gD

y gH-gL, involucradas en la adsorción y penetración de la célula hospedera (Mieres-Castro *et al.*, 2021). Otro trabajo reportó la inhibición del HSV-1 y del virus de la enfermedad de Newcastle después del tratamiento con los aceites esenciales de orégano y clavo, debido a la desintegración de su envoltura viral, lo cual se observó por microscopía electrónica de transmisión (TEM). Asimismo, esta investigación reportó la degradación de la envoltura del HSV-1 por dos de los componentes del aceite esencial de orégano, el carvacrol y el timol (Gilling *et al.*, 2014). De igual forma, otro estudio demostró el efecto de otro componente de los aceites esenciales, el eugenol, en un modelo *in vivo* de infección por HSV-1, donde la aplicación del eugenol retrasó el desarrollo de queratitis herpética en la córnea de ratones infectados con este virus. Esta investigación sugiere, como

otros trabajos anteriores, que el mecanismo de acción del eugenol podría ocurrir a través de alteraciones en la envoltura viral (Benencia y Courrégés, 2000). Lo anterior se explica debido a la naturaleza lipofílica de estas sustancias, lo cual favorecería la penetración en las membranas virales, causando la desintegración de esta estructura (Zhang *et al.*, 2022). Finalmente, un estudio *in silico* mostró el potencial de los componentes de los aceites esenciales contra la subunidad S1 presente en la proteína espiga del COVID-19. Los componentes evaluados fueron el timol, pulegona, terpinen-4-ol, geraniol, carvacrol, cinamaldehído y anetol, los cuales mostraron potencial inhibición de la subunidad S1, implicada en la interacción del virus con la célula hospedera a través de los receptores ACE-2 (Kulkarni *et al.*, 2020).

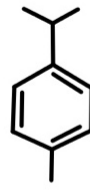
MONOTERPENOS



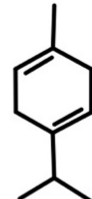
Limoneno



Sabineno

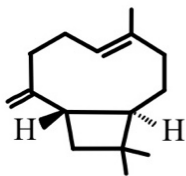


p-Cimeno

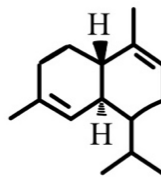


γ-Terpineno

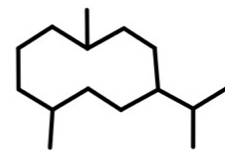
SESQUITERPENOS



β-Cariofileno

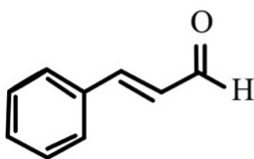


α-Cadineno

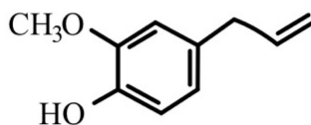


Germacrano

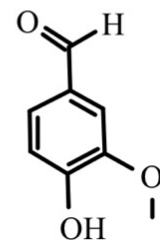
FENILPROPENOS



Cinamaldehído



Eugenol



Vainillina

Figura 5. Estructura química de algunos terpenos y fenilpropenos presentes en los aceites esenciales.

Tabla 2. Especies vegetales que producen aceites esenciales con actividad antiviral.

Nombre científico / nombre común	Virus	IC ₅₀ (µg/mL)	Referencia
Eucalipto	HSV-1	55	Astani <i>et al.</i> , 2010
Árbol del té		2	
Tomillo		11	
Anis estrella	HSV-1	1	Astani <i>et al.</i> , 2011
<i>Artemisia vulgaris</i>	Virus de la fiebre amarilla	11.1	Meneses <i>et al.</i> , 2009
<i>Lippia alba</i>		3.7	
<i>Lippia origanoides</i>		3.7	
<i>Origanum vulgare</i>		3.7	
<i>Ayapana triplinervis</i>	Virus del Zika	38	Haddad <i>et al.</i> , 2019
<i>Citrus reshni</i> (cascara de fruta)	Virus de la gripe aviar H5N1	2.5	Wani <i>et al.</i> , 2020
<i>Fortunella margarita</i> (fruta)		6.8	
<i>Dysphania ambrosioides</i>	Virus Coxsackie B4	21.7	
<i>Thymus capitatus</i>	HSV-1	17.6	
<i>Lippia alba</i>	Virus del Zika	32.2	Nogueira <i>et al.</i> , 2021
<i>Lavandula angustifolia</i> L.	Virus de la gripe aviar H5N1	0.11	Abou Baker <i>et al.</i> , 2021
<i>Salvia officinalis</i> L.		0.41	
<i>Lippia graveolens</i>	HSV-1 resistente a aciclovir	55.9	Ribas Pilau <i>et al.</i> , 2011
	HSV-1	99.6	
	Virus respiratorio sincitial	68	
<i>Lippia alba</i>	Virus de la fiebre amarilla	4.3 y 15.2 antes y después de la adsorción, respectivamente	Gómez <i>et al.</i> , 2012
<i>Lippia citriodora</i>		19.4 y 21.2 antes y después de la adsorción, respectivamente	
<i>Mentha suaveolens</i>	HSV-1	5.1	Civitelli <i>et al.</i> , 2014
<i>Ocimum basilicum</i>	Virus de la diarrea viral bovina	474.29	Kubica <i>et al.</i> , 2014
<i>Osmunda regalis</i> L.	Virus Coxsackie B4	2.244	Bouazzi <i>et al.</i> , 2018
<i>Salvia desoleana</i>	HSV-2	23.72	Cagno <i>et al.</i> , 2017
<i>Thymus capitatus</i>	HSV-2	18.6	Toujani <i>et al.</i> , 2018

Nota: IC₅₀, indica la concentración de un activo que induce un 50% de inhibición; HSV-1, virus herpes humano tipo 1; HSV-2, virus herpes humano tipo 2.

Finalmente, podemos decir que diferentes estudios han evidenciado la capacidad antiviral de los aceites esenciales, por lo que, en los últimos años se han sugerido como prototipos de agentes terapéuticos en el tratamiento de las infecciones virales.

A pesar de que los aceites esenciales han demostrado su eficacia como agentes antivirales, su aplicabilidad se ve restringida debido a la alta volatilidad de sus compuestos y a su fácil degradación ante su exposición al calor, la luz, la presión y el oxígeno (Singh y Pulikkal, 2022). Además, su insolubilidad en agua dificulta su aplicación biológica. Por lo tanto, en los últimos años, la encapsulación de estos compuestos en sistemas nanoparticulados, como las nanopartículas poliméricas, ha adquirido gran relevancia como una estrategia efectiva para superar estas limitaciones (Lammari *et al.*, 2020). En este contexto, los vehículos de tamaño nanométrico podrían ofrecer protección, mejorar la solubilidad, aumentar la biodisponibilidad y proporcionar una liberación controlada de los principios activos.

CONCLUSIONES

Las infecciones virales provocan altos impactos al sector salud e importantes pérdidas económicas y afectaciones sociales. Debido a ello, está el interés por comprender la estructura y el ciclo replicativo de estos patógenos, con el objetivo de prevenir y encontrar nuevos compuestos con propiedades antivirales. Finalmente, podemos afirmar que diferentes estudios han evidenciado la capacidad antiviral de los aceites esenciales, por lo que, en los últimos años se han sugerido como prototipos de agentes terapéuticos en el tratamiento de las infecciones virales.

AGRADECIMIENTOS

NNEC agradece al CONAHCYT por la beca otorgada (no. 792777) para cursar el programa de Doctorado en Manejo y Aprovechamiento Integral de Recursos Bióticos (SNP-CONAHCYT) en la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Se agradece el apoyo de la UANL a través del ProACTI-2023 (40-BQ-2023).



LITERATURA CITADA

- Abou Baker, D. H., Amarowicz, R., Kandell, A., Ali, M. A., y Ibrahim, E. A. 2021. Antiviral activity of *Lavandula angustifolia* L. and *Salvia officinalis* L. essential oils against avian influenza H5N1 virus. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4(100135), 100135. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100135>
- Adiningsih, S., Widiyanti, M., y Rokhmad, F.M. 2023. Tenofovir Lamivudine Efavirenz Side Effect and Its Efficacy Among People Living with HIV in Jayapura. *Proceedings of the 1st International Conference for Health Research*, 158-169. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-112-8_16
- Althwaiqeb, S. y Bordoni, B. 2023. Histology, B Cell Lymphocyte. In *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560905/>
- Ali, M., Lurwan, M., Halliru, S. N., y Salihi, A. M. 2020. Role of T-helper cells (CD4+ T cells) in human immune system against some microbial infection: a mini review. *International Journal of Clinical Microbiology and Biochemical Technology*, 3(1), 026-029. <https://doi.org/10.29328/journal.ijcmt.1001012>
- Astani, A., Reichling, J., y Schnitzler, P. 2010. Comparative study on the antiviral activity of selected monoterpenes derived from essential oils. *Phytotherapy Research*, 24(5), 673-679. <https://doi.org/10.1002/ptr.2955>
- Astani, A., Reichling, J., y Schnitzler, P. 2011. Screening for antiviral activities of isolated compounds from essential oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, 253643. <https://doi.org/10.1093/ecam/nep187>
- Benencia, F., y Courrèges, M. C. 2000. In vitro and in vivo activity of eugenol on human herpesvirus. *Phytotherapy Research*, 14(7), 495-500. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200011\)14:7<495::aid-ptr650>3.0.co;2-8](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200011)14:7<495::aid-ptr650>3.0.co;2-8)
- Bouazzi, S., Jmii, H., El Mokni, R., Faidi, K., Falconieri, D., Piras, A., Jaidane, H., Porcedda, S., y Hammami, S. 2018. Cytotoxic and antiviral activities of the essential oils from Tunisian Fern, *Osmunda regalis*. *South African Journal of Botany*, 118, 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.06.015>
- Burčul, F., Blažević, I., Radan, M., Politeo, O. 2020. Terpenes, phenylpropanoids, sulfur and other essential oil constituents as inhibitors of cholinesterases. *Curr Med Chem*, 27(26): 4297-4343.
- Cagno, V., Sgorbini, B., Sanna, C., Cagliero, C., Ballero, M., Civra, A., Donalizio, M., Bicchì, C., Lembo, D., y Rubiolo, P. 2017. In vitro anti-herpes simplex virus-2 activity of *Salvia desoleana* Atzei & V. Picci essential oil. *PLoS One*, 12(2), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172322>
- Carlson, C. J., Albery, G. F., Merow, C., Trisos, C. H., Zipfel, C. M., Eskew, E. A., Olival, K. J., Ross, N., y Bansal, S. 2022. Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature*, 607(7919), 555-562. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04788-w>
- CDC (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades). (2018, mayo 5). Historia de la pandemia de gripe de 1918. Disponible en <https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/1918-commemoration/1918-pandemic-history.htm>
- Chu Y., Zhao Z., Cai L., y Zhang G. 2022. Viral diversity and biogeochemical potential revealed in different prawn-culture sediments by virus-enriched metagenome analysis. *Environmental Research*, 210, 112901. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112901>.
- Cifuentes-Munoz, N., El Najjar, F., y Dutch R.E. 2020. Viral cell-to-cell spread: conventional and non-conventional ways. *Advances in Virus Research*, 108, 85-125.
- Civitelli, L., Panella, S., Marcocci, M. E., De Petris, A, Garzoli, S., Pepi, F., Vavala, E., Ragno, R., Nencioni, L., Palamara, A. T., y Angioletta, L. 2014. In vitro inhibition of herpes simplex virus type 1 replication by *Mentha suaveolens* essential oil and its main component piperitenone oxide. *Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 21(6), 857-865. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phymed.2014.01.013>
- Feriotto, G., Marchetti, N., Costa, V., Beninati, S., Federico, T., y Mischianti, C. 2018. Chemical composition of essential oils from *Thymus vulgaris*, *Cymbopogon citratus* and *Rosmarinus officinalis* and their effects on the HIV-1 Tat protein function. *Chemistry & Biodiversity*, 15(2), e1700436. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201700436>
- Galán-Sánchez, F., Fernández-Gutiérrez Del Álamo, C., y Rodríguez-Iglesias, M. 2014. Infecciones víricas [Viral infections]. *Medicine*, 11(49), 2885-2892. [https://doi.org/10.1016/S0304-5412\(14\)70711-5](https://doi.org/10.1016/S0304-5412(14)70711-5)
- Gibbens, S. 2020. Las mejores formas de lavar las mascarillas. Disponible en <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2020/05/las-mejores-formas-de-lavar-las-mascarillas>
- Gilling, D. H., Kitajima, M., Torrey J. R., y Bright, K.R. 2014. Antiviral efficacy and mechanisms of action of oregano essential oil and its primary component carvacrol against murine norovirus. *Journal of Applied Microbiology*, 116, 1149-1163. <https://doi.org/10.1111/jam.12453>
- Goméz, L. A., Stashenko, E., y Ocazonez, R. E. 2012. Comparative study on in vitro activities of citral, limonene and essential

- oils from *Lippia citriodora* and *L. alba* on yellow fever virus. *Natural Product Communications*, 8(2), 249-252. <https://doi.org/10.1177/19345678x1300800230>
- Haddad, J. G., Picard, M., Bénard, S., Desvignes, C., Després, P., Diotel, N., y El Kalamouni, C. 2019. Ayapana triplinervis essential oil and its main component thymohydroquinone dimethyl ether inhibit Zika virus at doses devoid of toxicity in zebrafish. *Molecules*, 24(19), 3447. <https://doi.org/10.3390/molecules24193447>
- Hsu, M., Safadi A. O., y Lui, F. 2022. *Physiology, Stomach*. In StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535425/>
- Krug, R. M., y Wagner, R. R. 2024. *Virus*. In Britannica. Disponible en <https://www.britannica.com/science/virus>
- Kubica, T. F., Alves, S. H., Weiblen, R., y Lovato, L. T. 2014. In vitro inhibition of the bovine viral diarrhoea virus by the essential oil of *Ocimum basilicum* (basil) and monoterpenes. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(1), 209-214. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014005000030>
- Kulkarni, S. A., Nagarajan, S. K., Ramesh, V., Palaniyandi, V., Selvam, S. P., y Madhavan, T. 2020. Computational evaluation of major components from plant essential oils as potent inhibitors of SARS-CoV-2 spike protein. *Journal of Molecular Structure*, 1221, 128823. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128823>
- Lammari, N., Ouahida, L., Hassen Meniai, A., y Elaissari, A. 2020. Encapsulation of essential oils via nanoprecipitation process: overview, progress, challenges and prospects. *Pharmaceutics*, 12(431), 1-21. doi:10.3390/pharmaceutics12050431
- Leung, N.H.L. 2021. Transmissibility and transmission of respiratory viruses. *Nature Reviews*. 19, 528-545. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00535-6>
- Levinson, W., Chin-Hong, P., Joyce, E.A., Nussbaum, J., y Schwartz, B. 2020. *Structure*. In W. Levinson, P. Chin-Hong, E. A. Joyce, J. Nussbaum, y B. Schwartz (Eds.), *Review of Medical Microbiology & Immunology*. McGraw Hill. <https://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2867§ionid=242767700>
- Łusiak-Szelachowska, M., Weber-Dąbrowska, B., Żaczek, M., Borysowski, J., y Górski, A. 2020. The presence of bacteriophages in the human body: good, bad or neutral?. *Microorganisms*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8122012>
- Mancianti F., y Ebani V. V. 2020. Biological activity of essential oils. *Molecules*, 25(3), 2-5. <https://doi.org/10.3390/molecules25030678>
- Meier, K., Thorkelsson, S.R., Quemin, E.R.J., y Rosenthal, M. 2021. Hantavirus replication cycle-an updated structural virology perspective. *Viruses*, 13(1561), 1-16. <https://doi.org/10.3390/v13081561>
- Meneses, R., Ocazone, R. E., Martínez, J. R., y Stashenko, E. E. 2009. Inhibitory effect of essential oils obtained from plants grown in Colombia on yellow fever virus replication in vitro. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 8(8), 1-6. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-8-8>
- Mieres-Castro, D., Ahmar, S., Shabbir, R., y Mora-Poblete, F. 2021. Antiviral activities of eucalyptus essential oils: their effectiveness as therapeutic targets against human viruses. *Pharmaceutics*, 14(12), 1210. <https://doi.org/10.3390/ph14121210>
- Moreira-Marrero, L. 2019. [Tesina para obtener el grado de Licenciada en Ciencias Biológicas]. Universidad de la República de Uruguay. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26599/1/uy24-19405.pdf>
- Mori, K., Obossou, E. K., Suwa, S., Miura, S., Oh, S., Jinbo, M., Ishibashi, Y., Hosono, T., Toda, T., Tomobe, K., Shinozuka, T., y Nakajo, S. 2016. Human immunodeficiency virus type 1 (HIV-1) reverse transcriptase inhibitory effect of *Cymbopogon Nardus* essential oil. *International Journal of Advanced Research in Botany*, 2(1), 7-13. <http://dx.doi.org/10.20431/2455-4316.0201002>
- Mushegian, A.R. 2020. Are there 1031 virus particles on Earth, or more, or fewer? *Journal of Bacteriology*, 202(9), 1-5. <https://doi.org/10.1128/JB.00052-20>
- Murata, T., Sugimoto, A., Inagaki, T., Yanagi, Y., Watanabe, T., Sato, Y., y Kimura, H. 2021. Molecular Basis of Epstein-Barr Virus Latency Establishment and Lytic Reactivation. *Viruses*, 13(2344), 1-20. <https://doi.org/10.3390/v13122344>
- Nawaz, N., Wen, S., Wang, F., Nawaz, S., Raza, J., Iftikhar, M., y Usman, M. 2022. Lysozyme and its application as antibacterial agent in food industry. *Molecules*, 27(6305), 1-18. <https://doi.org/10.3390/molecules27196305>
- Nguyen, A. V., y Soulika, A. M. 2019. The dynamics of the skin's immune system. *International Journal Molecular Sciences*, 20(8), 1811. <https://doi.org/10.3390/ijms20081811>
- NLM (National Library of Medicine). (2022, mayo 25). *Viral Structural Proteins*. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh?term=%22Viral+Structural+Proteins%22%5B-MeSH+Terms%5D&cmd=DetailsSearch>
- Nogueira Sobrinho, A. C., de Moraes, S. M., Machado Marinho, M., Vasconcelos de Souza, N., y Malta Lima, D. 2021. Antiviral activity on the Zika virus and larvicidal activity on the *Aedes* spp. of *Lippia alba* essential oil and *b-caryophyllene*. *Industrial Crops & Products*, 162, 113281. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113281>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2021, agosto 30). *Vacunas e inmunización: ¿Qué es la vacunación?*. Disponible en <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/vaccines-and-immunization-what-is-vaccination>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2023a, diciembre 31). *Tablero de la OMS sobre el coronavirus (COVID-19)*. Disponible en <https://covid19.who.int>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2023b, enero 14). *Enfermedad por ebolavirus Sudán-Uganda*. Disponible en <https://www.who.int/es/emergencias/disease-outbreak-news/item/2023-DON433>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2023c, julio 23). *La OMS presenta datos científicos recientes y nuevas orientaciones sobre la supresión del VIH en la IAS 2023*. Disponible en <https://www.who.int/es/news/item/23-07-2023-new-who-guidance-on-hiv-viral-suppression-and-scientific-updates-released-at-ias-2023>
- ONUSIDA (Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/SIDA). 2023. *Últimas estadísticas sobre el estado de la epidemia de sida*. Disponible en <https://www.unaids.org/es/resources/fact-sheet>
- Ostrycharz, E., y Hukowska-Szematowicz, B. 2022. New insights into the role of the complements system in human viral diseases. *Biomolecules*, 12(2), 226. <https://doi.org/10.3390/biom12020226>
- Parvez, M.K. 2020. Geometric architecture of viruses. *World Journal of Virology*, 9(2), 5-18. <https://doi.org/10.5501/wjv.v9.i2.5>
- Pedan, H., Janosova, V., Hajtman, A., y Calkovsky, V. 2020. Non-reflex defense mechanisms of upper airway mucosa: possible clinical application. *Physiological research*, 69(Suppl. 1), S55-S67. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934404>
- Reichling, J. 2021. Antiviral and virucidal properties of essential oils and isolated compounds-a scientific approach. *Planta Medica*, 88, 587-603. <https://doi.org/10.1055/a-1382-2898>
- Rheinemann, L., y Sundquist, W. I. 2021. *Virus Budding*. *Encyclopedia of Virology*, 519-528. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814515-9.00023-0>
- Ribas Pilau, M., Hartz Alves, S., Weiblen, R., Arenhart, S. Cueto, A. P., y Lovato, L. T. 2011. Antiviral activity of the *Lippia graveolens* (mexican oregano) essential oil and its main compound carvacrol against human and animal viruses. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42: 1616-1624. <https://doi.org/10.1590/S1517-838220110004000049>
- Rosowski, E. E. 2020. Determining macrophage versus neutrophil contributions to innate immunity using larval zebrafish. *Disease Models & Mechanisms*, 13(1). <https://doi:10.1242/dmm.041889>

- Sanchez, L.F. 2022. Fitoquímica. Editorial de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Saul, R. S., McCausland, C., y Taylor, B. N. 2022. Histology, T-Cell Lymphocyte. In StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535433/>
- Selvarani, V., y James, H. 2013. The activity of cedar leaf oil vapor against respiratory viruses: practical applications. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(11), 011-015. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.31103>
- Serudji, J. 2022. Rubella infection in pregnancy. *Journal of Midwifery*, 7(1), 18-23. <https://doi.org/10.25077/jom.7.1.16-23.2022>
- Simón, D., Cristina, J., y Musto, H. 2021. Nucleotide composition and codon usage across viruses and their respective hosts. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.646300>
- Singh, I.R. y Pulikkal, A.K. 2022. Preparation, stability and biological activity of essential oil-based nano emulsions: a comprehensive review. *OpenNano*, 100066. <https://doi.org/10.1016/j.onano.2022.100066>
- Toujani, M. M., Ritta, M., Civra, A., Genovese, S., Epifano, F., Ghram, A., Lembo, D., y Donalisio, M. 2018. Inhibition of HSV-2 infection by pure compounds from *Thymus capitatus* extract in vitro. *Phytotherapy Research*, 32(8), 1555-1563. <https://doi.org/10.1002/ptr.6084>
- Van Helvoort, T., y Sankaran, N. 2019. How seeing became knowing: the role of the electron microscope in shaping the modern definition of viruses. *Journal of the History of Biology*, 52(1), 125-160. <https://doi.org/10.1007/s10739-018-9530-2>
- Wani, A. R., Yadav, K., Khursheed, A., y Rather, M. A. 2020. An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses. *Microbial Pathogenesis*, 152, 104620. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104620>
- Wu, Z., Zhang, Y., Xu, X., Ahmed, T., Yang, Y., Loh, B., Leptihn, S., Yan, C., Chen, J., y Li, B. 2021. The holin-endolysin lysis system of the OP2-Like phage X2 infecting *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*. *Viruses*, 13(1949), 1-19. <https://doi.org/10.3390/v13101949>
- Zareifopoulos, N., Lagadinou, M., Karela, A., Kyriakopoulou, O., y Velissaris, D. 2020. Neuropsychiatric effects of antiviral drugs. *Cureus* 12(8), e9536. <https://doi.org/10.7759/cureus.9536>
- Zhang, Y., Xiao-Yan, L., Bing-Sha, Z., Li-Na, R., Yan-Peng, L., Jin-Wen, T., Di, L., Yong, L., Li-Thing, L., Zi-Xue, L., Qin, M., y Mei-Lan, M. 2022. In vivo antiviral effect of plant essential oils against avian infectious bronchitis virus. *Veterinary Research*, 18(90), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03183-x>





DEPREDACIÓN DE NIDOS

ARTIFICIALES DE *COTURNIX*
COTURNIX EN UN BOSQUE
URBANO DE SANTO DOMINGO,
PROVINCIA DE SANTO DOMINGO
DE LOS TSÁCHILAS - ECUADOR

/// JERSON CHANCHAY^{1,2,3*}, ANTHONY GIL⁴,

PREDATION OF ARTIFICIAL NESTS OF *COTURNIX*
COTURNIX IN AN URBAN FOREST OF SANTO
DOMINGO, PROVINCE OF SANTO DOMINGO DE LOS
TSÁCHILAS – ECUADOR

¹Universidad UTE, Sede Santo Domingo, Grupo de Investigación en Ciencias Veterinarias, 17.24.231, Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

²Dirección de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas.

³Fundación Ecológica Chanchay, Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

⁴Universidad UTE, Sede Santo Domingo, 17.24.231, Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

* J. Chanchay[jerson.chanchay@ute.edu.ec]



Palabras clave: Ciudades sostenibles; Fauna urbana; servicios ecosistémicos; Ornitofauna.

Keywords: Ecosystem services; Ornithofauna; Sustainable cities; Urban wildlife.

RESUMEN:

Las aves son un grupo bien adaptado en ambientes urbanos, sin embargo, la conservación de esta depende del contexto geográfico e histórico de cada ciudad. En este sentido, la capacidad de supervivencia de las especies dependerá de diferentes factores, entre los cuales se encuentra la depredación de nidos, por lo que el objetivo del trabajo fue analizar los niveles de depredación de nidos de aves dentro de un bosque urbano de Santo Domingo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Se colocaron 60 nidos artificiales con huevos de *Coturnix coturnix* en el interior del Parque Chanchay, unos fueron colocados en el suelo, otros en árboles. Se analizó la depredación en base a los días y número de huevos depredados, además se realizó una regresión de peligro proporcional de COX y estimador de Kaplan-Meier. Los resultados muestran una relación significativa $P = 0.005$ en la depredación dependiendo del hábitat, siendo que, los nidos del suelo tienen una depredación más alta, obteniendo niveles de supervivencia menores al 50% a partir del quinto día. Por otro lado, espacialmente la depredación aumenta en lugares próximos a viviendas, razón por la cual los forrajeadores podrían asociarse a fauna urbana como perros y gatos. Los altos niveles de depredación en el suelo se repiten en otras investigaciones, razón por la cual, conservar especies de aves que depositan sus huevos en el suelo se convierte en un reto para los tomadores de decisiones. Finalmente, garantizar la conservación de la diversidad de ornitofauna en la ciudad de Santo Domingo, dependerá de la gestión de los gobiernos locales en el marco de sus competencias, ya sea controlando la fauna urbana o creando programas y proyectos de conservación de la fauna silvestre.

ABSTRACT:

birds are a well-adapted group in urban environments, however, their conservation depends on the geographic and historical context of the city. In this sense, the survival capacity of the species will depend on different factors, among which is the predation of nests, for which the objective of the work was to analyze the levels of predation of bird nests within an urban forest of Santo Domingo in the province of Santo Domingo de Los Tsáchilas. Sixty artificial nests with *Coturnix coturnix* eggs were placed inside Chanchay Park. Some were placed on the ground, others on trees. The depletion was analyzed based on the days and number of eggs predated. In addition, a COX proportional hazard regression and Kaplan-Meier estimator were performed. The results show a significant relationship $P = 0.005$ in predation depending on the habitat, as the nests on the ground have higher predation, obtaining survival levels of less than 50% from the fifth day. On the other hand, spatial predation increases in places close to homes, which is why foragers could be associated with urban fauna such as dogs and cats. High levels of predation on the ground are repeated in other investigations, which is why conserving birds that nest on the ground becomes a challenge for local governments. Finally, guaranteeing the conservation of the diversity of ornithofauna in the city of Santo Domingo will depend on the management of local governments within the framework of their powers, whether controlling urban fauna or creating programs and projects for the conservation of wildlife.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe un incremento abrupto del área urbana (Seto et al., 2011). De esta manera, en el futuro la matriz del paisaje global será enmarcada por este tipo de ambientes. Históricamente se consideraba de bajo interés el estudio de la biodiversidad en ambientes urbanos, ya que no reflejan la realidad de la naturaleza, debido a que son la forma más extrema de alteración ambiental. Sin embargo, los ambientes urbanos son altamente complejos, formados por varios componentes que interactúan y generan nuevas propiedades emergentes, que difícilmente son predecibles en un contexto global (Alberti, 2008). Por otro lado, dentro de las ciudades, las áreas verdes urbanas al ser poco predecibles, juegan un papel importante en la conservación de la diversidad biológica (Jokimäki y Huhta, 2000).

Dentro de los ecosistemas urbanos, las aves pueden responder evitando las ciudades, adaptándose o explotando el hábitat (Kurucz et al., 2021), razón por la cual se convierten en un grupo de estudio interesante. La estructura de la comunidad de aves depende de varios factores como el acceso a recursos, la presencia de lugares apropiados para la anidación e interacciones con otras especies. Entre las interacciones con otras especies se encuentra la depredación de nidos, la cual influye en la densidad poblacional, además de la estructura de la comunidad (Jokimäki y Huhta, 2000). La depredación puede variar mucho dependiendo de los hábitats, ya sea por diferentes aspectos como la densidad de depredadores, tipo de bosque y grado de antropización (Eötvös et al., 2018). Sin embargo, los resultados dependerán mucho del contexto de cada hábitat, ya que en ambientes urbanos las características de las ciudades pueden afectar la depredación y por ende generar diferentes resultados en estudios similares (Batary et al., 2017; Eötvös et al., 2018).

La ciudad de Santo Domingo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas presenta una falta de áreas verdes urbanas, debido a la ocupación de las mismas por asentamientos humanos (Chanchay et al., 2019). En este sentido, los últimos remanentes boscosos son de gran importancia ya que albergan la totalidad de la diversidad biológica urbana del sector, además de ser importantes laboratorios vivos donde se puede analizar los efectos de la antropización en base a su contexto de desarrollo local.

Considerando la importancia de conocer los patrones que determinan la depredación de aves en la ciudad de Santo Domingo, el objetivo del presente estudio fue analizar experimentalmente los niveles de depredación de nidos de aves dentro de un bosque urbano de Santo Domingo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

MATERIAL Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El experimento se realizó en el parque Ecológico Etno-Botánico Mariano Chanchay, el cual se encuentra ubicado en Ecuador, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo. El parque posee una extensión de 8 hectáreas de bosque secundario (Chanchay et al., 2019).

OBTENCIÓN DE DATOS

Se colocaron 60 nidos artificiales de paja, los cuales poseían un diámetro de 14 cm (Fig. 1). En cada nido se colocó tres huevos de codorniz (*Coturnix coturnix*), debido a que estos simulan los huevos de aves silvestres y por ende son muy utilizados en experimento de depredación de nidos (Bayne y Hobson, 1997; Pestana et al., 2020; Kurucz et al., 2021) there is an increasing focus on understanding the ecological aspects of urbanization (both direct and indirect impacts on communities and biodiversity. Los nidos fueron ubicados a 10 metros separados uno del otro, intercalando la ubicación al lado izquierdo y derecho del estero María Luisa (Fig. 2). 30 nidos fueron ubicados en el suelo (Bajo) y 30 sobre árboles o arbustos a tres metros sobre el nivel suelo (Alto) (Fig. 2).



Figura 1. Nidos artificiales de paja. A corresponde a un nido no depredado y B a un nido depredado.

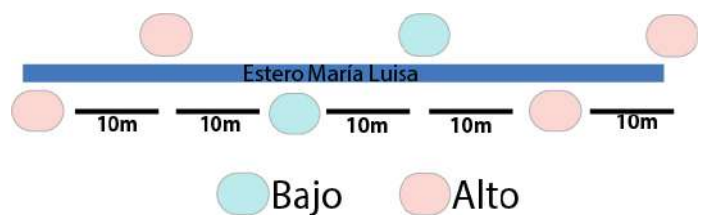


Figura 2. Diseño experimental.

Considerando la variación de densidad de la cobertura vegetal y por ende de la luminosidad hacia los nidos, se presumió que este elemento podría permitir la rápida detección por depredadores, razón por la cual se determinó la luminosidad en cada muestra. Para obtener esta variable se realizaron tres fotografías al dosel desde la ubicación del nido, posteriormente las imágenes fueron procesadas en el *software ImageJ* (Rasband, 2020), donde se transformó las fotografías en datos binarios y se utilizó los valores de color blanco para representar la luz.

El experimento duró apenas seis días, ya que los nidos que no poseen cuidado parental tienen una alta probabilidad de ser depredados, además, en estudios similares se ha utilizado esta temporalidad (Trnka et al., 2008; Pestana et al., 2020). Durante este tiempo se observaron los nidos, donde se contó el número de huevos depredados una vez al día.

ANÁLISIS DE DATOS

Para obtener la tasa de depredación se utilizó la siguiente fórmula:

$$Depredación = \sum (X * Y)$$

X: corresponde a la depredación de huevos, considerando que cada huevo equivale a 0,33.

Y: corresponde al día en el que los huevos fueron depredados, siendo los valores descendentes, donde el primer día es 6 y el último 1.

Para analizar la supervivencia de los nidos, se analizó con el valor de 1 para los que sobreviven y 2 para los depredados. Con los datos obtenidos se realizó un modelo de regresión de peligros proporcional de COX (Cox, 1997) y estimador de Kaplan-Meier (Kaplan y Meier, 1958), utilizando los paquetes *survival v. 3.4* (Therneau et al., 2022), *pec v. 2022.05.04* (Gerds, 2022), y *survminer v. 0.4.9* (Kassambara et al., 2021), utilizando el *software R versión 3.6.3* (R Core Team, 2020). Con estos análisis también se evaluó la supervivencia combinada con el tiempo (días) en función con el hábitat (alto o bajo) y luminosidad, para analizar si estas variables influyen en la depredación en los primeros días del experimento.

Con el fin de determinar espacialmente los puntos con mayor depredación se realizó un mapa de calor con valores de depredación utilizando el *software QGIS V 3.24* (QGIS Development Team, 2022).

RESULTADOS

Los resultados muestran que el 55% de los nidos fueron depredados, de los cuales 22 se reportaron en el suelo o parte baja y 11 en los árboles o alto (Tab. 1 y Fig. 3). La tasa de depredación en cada punto varió, siendo que en los hábitats bajos la depredación media es más alta (Tab. 1).

Los resultados muestran una diferencia significativa entre los ambientes (Alto o bajo), con un valor de $P = 0.005$, por otro lado, la luminosidad no fue significativa ($P = 0.15$) (Fig. 4).

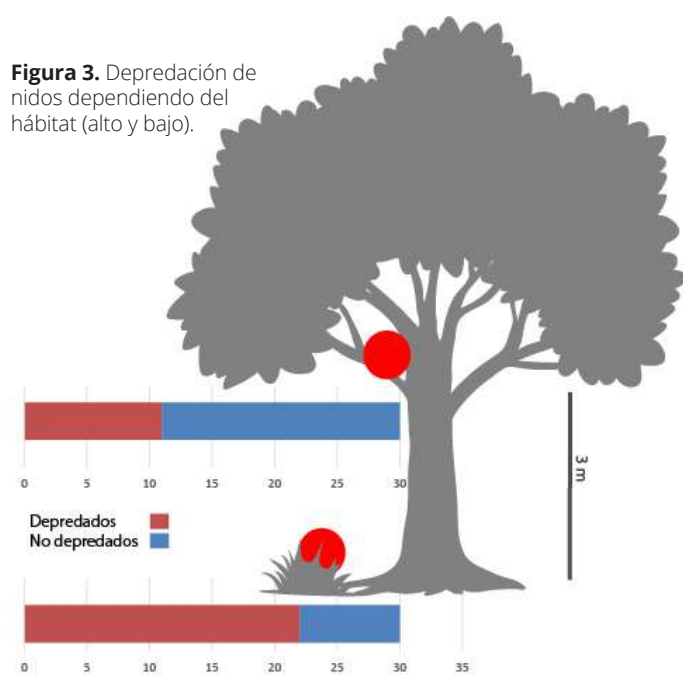


Tabla 1. Resumen de depredación por cada hábitat

Hábitat	Media de luz (%)	Nidos depredados	Tasa de depredación media
Alto	41.53	11	1.03
Bajo	38.40	22	2.69

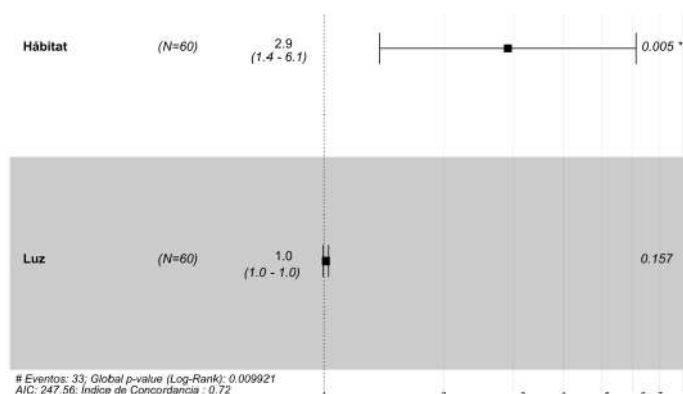


Figura 4. Resultados del análisis de regresión de riesgos proporcionales de Cox. El análisis mostró una correlación significativa en el hábitat de los nidos (alto o bajo) en relación a la depredación de huevos ($P = 0,005$).

El estimador de Kaplan-Meier indica que existe diferencia en la supervivencia de los huevos en el suelo y en los árboles, considerando que en el suelo la supervivencia es inferior al 50% a partir del quinto día (Fig. 5).

Espacialmente, los puntos más calientes donde la tasa de depredación es más alta se encuentran próximos a viviendas (Fig. 6).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que existe una alta tasa de depredación de nidos artificiales en un bosque urbano de Santo Domingo, los cuales podrían asociarse a la presencia de fauna urbana, ya que los niveles más altos se encuentran próximos a viviendas. La mayor supervivencia en la parte alta de los árboles o arbustos en relación al suelo se repiten en otros lugares (Heezik et al., 2008; Kurucz et al., 2021; Saarinen y Suhonen, 2022), ya que corresponden a sitios más seguros donde forrajeadores del suelo como perros y gatos, característicos de áreas urbanas, no consiguen explorar con facilidad. Sin embargo, la falta de cuidado parental, podría reflejar los resultados. Dentro del Parque Chanchay y más parches boscosos en el área urbana de Santo Domingo, se ha reportado en varias ocasiones la presencia de la especie Tinamú Chico o conocidas localmente como pigualas (*Crypturellus soui*) (ver www.ebird.org), la cual, al igual que otras especies que colocan sus huevos en el suelo (Athanas y Greenfield, 2016), se verán más afectadas por la alta depredación y pasarán por un proceso de extinción local o disminución de la

densidad poblacional. En este sentido, garantizar la manutención de la ornitofauna urbana depende de la creación y ejecución de políticas públicas vinculadas al control de la fauna urbana de la ciudad. En concordancia con el Art. 144 del Código Orgánico del Ambiente del Ecuador, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Municipales tienen la competencia del control de fauna urbana y de igual manera, en el Art. 399 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, cita que este tipo de gobiernos locales poseen la competencia de promover políticas, planes, programas y proyectos de conservación de hábitats y ecosistemas de fauna silvestre urbana dentro de su jurisdicción cantonal. En este sentido, a nivel local, es necesario trabajar en mecanismos que permitan garantizar la biodiversidad urbana, la cual es existente y cumple papeles importantes en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos

CONCLUSIONES

La depredación de nidos en bosques urbanos de Santo Domingo, Ecuador, es alto, razón por la cual, es importante realizar acciones que garanticen la conservación de la biodiversidad en el marco de la competencia de los gobiernos locales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Fundación Ecológica Chanchay por financiar los materiales y permitir realizar la investigación en las instalaciones del Parque Ecológico Etno-botánico Mariano Chanchay.



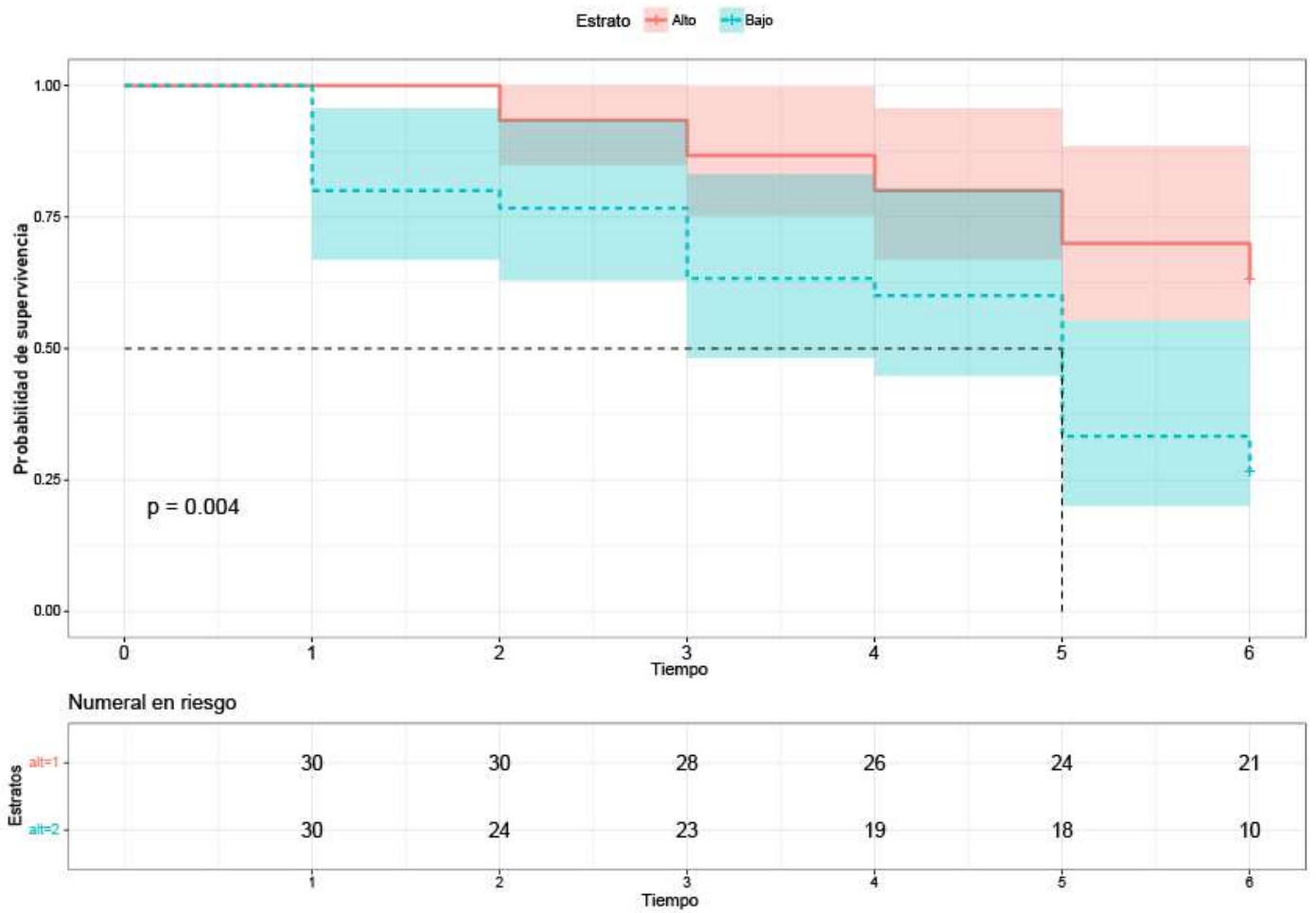


Figura 5. Resultados del estimador de Kaplan-Meier.

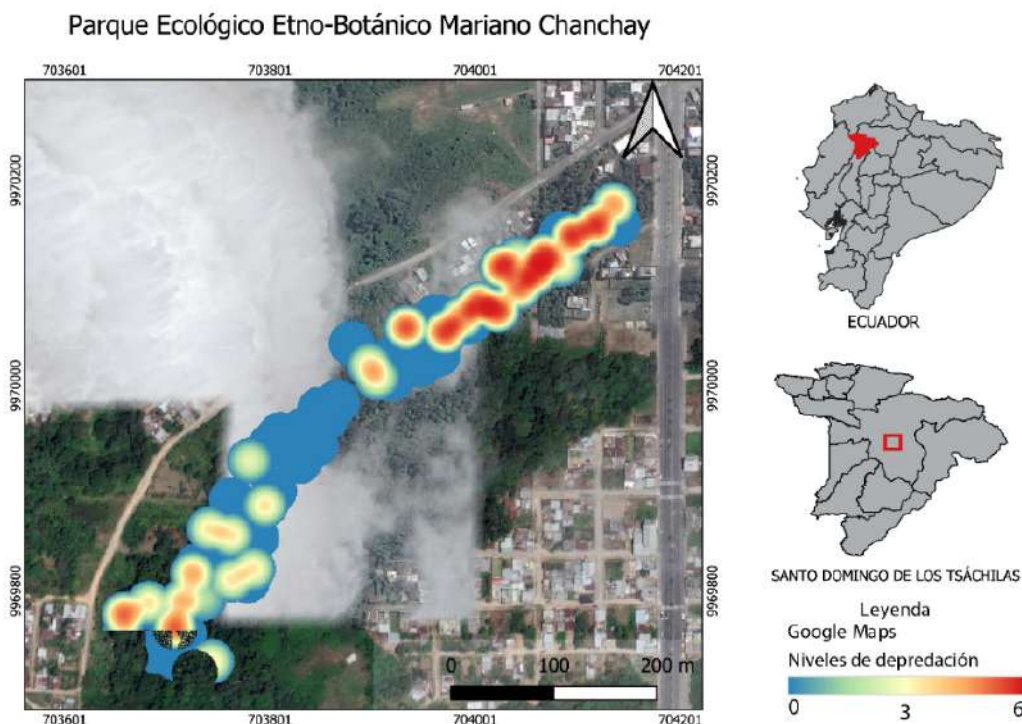
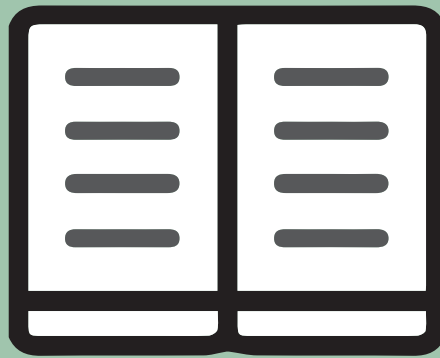


Figura 6. Puntos calientes de depredación.



LITERATURA CITADA

- Alberti, M. 2008. *ADVANCES IN URBAN ECOLOGY: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems*. University of Washington (ed.). Springer, Washington.
- Athanas, N., Greenfield, P.J. 2016. *Birds of Western Ecuador A Photographic Guide*. 1ra ed. Princeton University Press, New Jersey.
- Batary, P., Kurucz, K., Suarez-Rubio, M., Chamberlain, D.E. 2017. Non-linearities in bird responses across urbanization gradients: A meta-analysis. *Glob Change Biol* 24: 1046-1054.
- Bayne, E.M., Hobson, K.A. 1997. Comparing the Effects of Landscape Fragmentation by Forestry and Agriculture on Predation of Artificial Nests. *Conservation Biology* 11: 1418-1429.
- Chanchay, J.R., Chanchay, D.L., Chanchay, J.M. 2019. De la teoría a la práctica: aportes de la Fundación Ecológica Chanchay en Santo Domingo. *VÍNCULOS-ESPE* 4: 9-14.
- Cox, D.R. 1997. Regression models and life-tables. *J. R Stat. Soc.* 34: 187-202.
- Eötvös, C.B., Magura, T., Lövei, G.L. 2018. A meta-analysis indicates reduced predation pressure with increasing urbanization. *Landscape and Urban Planning* 180: 54-59.
- Gerds, T.A. 2022. pec: Prediction Error Curves for Risk Prediction Models in Survival Analysis. 1-57.
- Heezik, Y. van, Ludwig, K., Whitwell, S., McLean, I.G. 2008. Nest survival of birds in an urban environment in New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology* 32: 155-165.
- Jokimäki, J., Huhta, E. 2000. Artificial Nest Predation and Abundance of Birds Along an Urban Gradient. *The Condor* 102: 838-847.
- Kaplan, E.L., Meier, P. 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association* 53: 457-481.
- Kassambara, A., Kosinski, M., Biecek, P., Fabian, S. 2021. survminer: Drawing Survival Curves using «ggplot2». 1-67.
- Kurucz, K., Purger, J.J., Batáry, P. 2021. Urbanization shapes bird communities and nest survival, but not their food quantity. *Global Ecology and Conservation* 26: 2351-9894.
- Pestana, G.C., Mateus-barros, E., Guillermo-, R., Pestana, G.C., Mateus-barros, E. 2020. The influence of parent body colouration and nesting habitat on bird nest predation. *Bird Study* 67: 29-34.
- QGIS Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing.
- Rasband, W. 2020. ImageJ. *U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA*//imagej.nih.gov/ij/.
- Saarienen, R.S., Suhonen, J. 2022. Community Structure and Nest Predation in Urban Parks and Rural Forest Patches. *Available at SSRN*.
- Seto, C.K., Fragkias, M., Guneralp, B., Reilly, M. 2011. A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion Karen. *PLoS ONE* 6: 1-9.
- Therneau, T.M., Lumley, T., Atkinson, E., Crowson, C. 2022. Survival Analysis. 1-188.
- Trnka, A., Prokop, P., Batáry, P. 2008. Dummy birds in artificial nest studies: an experiment with Red-backed Shrike Lanius collurio. *Bird Study* 55: 329-331.

NATURAL HISTORY AND CONSERVATION STATUS OF *CROTALUS PYRRHUS* COPE, 1866 (SQUAMATA: VIPERIDAE) FROM ISLA EL MUERTO, GULF OF CALIFORNIA, MEXICO

ELÍ GARCÍA-PADILLA¹, IVÁN VILLALOBOS-JUÁREZ²,
GUSTAVO ARNAUD³, DAVID LAZCANO⁴, LYDIA ALLISON
FUCSKOS, AND DAVID LARRY WILSON⁶

¹ Biodiversidad Mesoamericana. Oaxaca de Juárez, C.P. 68016, Oaxaca, México.
E-mail: eligarciapadilla86@gmail.com

² Organización Los Hijos del Desierto, Valle de las Delicias, Rincón de Romas, Aguascalientes, Aguascalientes, México.
E-mail: epidushunter@gmail.com

³ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, C.P. 23096, México.
E-mail: garnaud04@cibnor.mx

⁴ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Herpetología, San Nicolás de los Garza, C.P. 66450, Nuevo León, México.
E-mail: imantodes52@hotmail.com.

⁵ Department of Humanities and Social Sciences, Swinburne University of Technology, Melbourne, Victoria, Australia.
E-mail: lydiafucsko@gmail.com

⁶ Centro Zamorano de Biodiversidad, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, Honduras; 1350 Pelican Court, Homestead, Florida, 33035-1031, USA.
Email: bufodoc@aol.com



Figure 1.- Isla El Muerto, as seen from the Peninsula of Baja California, near San Luis Gonzaga, Ensenada. Photo by Elí García-Padilla.

ABSTRACT

The species of rattlesnakes that inhabit the islands of the Gulf of California in México represent a group of vertebrates that are endangered (García-Padilla *et al.*, 2018). The main pressures they face are invasive species and illegal capture for commercialization (Mellinck, 1995). Presently, aspects of natural history and conservation status for many populations of various species still remain virtually unknown to science. During May-June of 2009, we visited Isla El Muerto where there exists an insular population of the rattlesnake *Crotalus pyrrhus* (Meik *et al.*, 2015). The taxonomic status of this species has been discussed, but almost nothing has been published about its ecology and natural history. Here, we present new data concerning the distribution, relative abundance, and conservation status of this insular population of this species. We established that this species might be less abundant than previous authors mentioned; the estimated relative abundance we obtained is 0.22 snakes/hour. Also, we identified that the conservation status provided by Mexican (NOM-059 SEMARNAT, 2019) and international (IUCN) systems needs to be revised and modified to allocate this species to a higher level of protection. We believe that this information can be used as a basis for promoting and achieving the effective protection and conservation of this population of *C. pyrrhus* and its habitat for perpetuity.

RESUMEN

Las especies de serpientes de cascabel que habitan las islas del Golfo de California en México, representan un grupo de vertebrados terrestres vulnerables y amenazados (García-Padilla *et al.*, 2018). Las principales presiones que enfrentan son las especies invasivas, y el tráfico ilegal de especies para su comercialización. Al presente muchas poblaciones de especies insulares permanecen virtualmente desconocidas para la ciencia en aspectos de su historia natural y estatus de conservación. Durante los meses de mayo y junio de 2009 visitamos la Isla El Muerto donde habita una población insular de *Crotalus pyrrhus* (Meik *et al.*, 2015). El estatus taxonómico de esta especie ya ha sido discutido formalmente, sin embargo, casi nada ha sido publicado acerca de su ecología e historia natural. Nosotros presentamos aquí nuevos datos acerca de la distribución, abundancia relativa y estatus de conservación de esta especie. Encontramos que *C. pyrrhus* podría ser menos abundante de lo que previos autores señalan; la abundancia relativa que estimamos es de 0.22 serpientes/hora. También identificamos que el estatus de conservación otorgado a esta especie por organismos nacionales (NOM-059 SEMARNAT, 2019) e internacionales (UICN) necesita ser revisado y modificado urgentemente para considerar a esta especie en una categoría más alta de protección. Esperamos que esta nueva aportación científica sea la base para alcanzar la efectiva protección y conservación de *C. pyrrhus* y su hábitat perpetuamente.



Palabras claves: Golfo de California; Isla El Muerto; serpiente de cascabel, conservación; historia natural; Golfo de California

Key words: Gulf of California, Isla El Muerto, rattlesnake; natural history, conservation

INTRODUCTION

Mexico is considered as one of the five most megadiverse countries worldwide (Llorente-Bousquets and Ocegueda, 2008). Specifically, it is competing with Australia for being the first or the second most diverse country for crocodylians, squamates, and turtles with a total of 975 species of which 586 (60.1%) are endemic at the country level (Ramírez-Bautista *et al.*, 2023).

Rattlesnakes of the genus *Crotalus* are a typical component of herpetofaunas in Mexico, which reach their highest level of diversity and endemism in the central highlands of the country (Campbell and Lamar, 2004). Currently, 46 species of rattlesnakes are recorded from Mexico (Beaman and Hayes, 2008; Wilson *et al.*, 2013; Ramírez-Bautista *et al.*, 2023; García-Padilla *et al.*, 2024), 15 of which are distributed on the Pacific coast islands and those of the Gulf of California associated with the Peninsula of Baja California (Grismer, 1999b, 2002; Campbell and Lamar, 2004; García-Padilla *et al.*, 2018, 2024).

The islands associated with the Peninsula of Baja California harbor significant diversity and endemism of herpetofaunal species, including rattlesnakes. Presently, most of these islands are protected by Mexican and international legislation, and in 1978 the islands in the Gulf of California were declared as a Patrimony of Humanity by UNESCO (CONANP, 2000).

Insular species and mainland species with insular populations, such as the rattlesnakes, merit special attention due to their restricted geographic distribution, and because they are under significant pressure from habitat destruction, outright slaughter, introduction of exotic species, and illegal collecting and traffic for the pet trade black market (Dodd, 1987; Mellinck, 1995; Arnaud, 2015).

Due to the scarcity of scientific information about the status of insular populations (Grismer, 2002), it is particularly important to study certain natural history aspects such as distribution and relative abundance so as to define more accurately their conservation status. Thus, the purpose of this paper is to provide information on these topics with respect to the population of *Crotalus pyrrhus* on Isla El Muerto. The general known distribution of this species is in southern California, extreme southern Nevada, extreme southwestern Utah, and western Arizona, in the United States; and in Baja California and extreme northwestern Sonora, in Mexico (Campbell and Lamar, 2004; Meik *et al.*, 2015). The population on Isla El Muerto was described as *C. mitchellii muertensis* by Klauber (1949). Then it was elevated to full species by Grismer (1999), and recently it was synonymized with *C. pyrrhus* by Meik *et al.*, (2015).

MATERIALS AND METHODS

Two field trips were made to Isla El Muerto during the dry season (in May and June of 2009), the time indicated by Grismer (2002) to be the period of major activity of *Crotalus pyrrhus* on the island. Each trip consisted of a stay of five days and four nights.

Searching for *Crotalus pyrrhus* was undertaken in all available habitats on the island, including canyons, flat-topped hills and their slopes, and beaches. Every individual found was georeferenced with the use of GPS (Garmin®). With the help of the software Arc View®, we designed a map of the island marked with the point of collection for every individual.

Nocturnal surveys were conducted by a group of five people. Every canyon, hill, and beach was sampled, with the time quantified by use of a chronometer. The hunters walked slowly, separated from one another by a space of 10 m. searching every available microhabitat. Surveying was undertaken a half an hour after sunset and was completed when the selected site was totally traversed. The chronometer was stopped every time that a specimen was found and restarted when data collection was finished.

Relative abundance was estimated based on the number of snakes found per man-hour of searching (Campbell and Christman, 1982; May *et al.*, 1996; Oliveira and Martins, 2001).

DESCRIPTION OF ISLA EL MUERTO

Isla El Muerto is a tiny island of 1.3 km² in area (figure 1) located in the Gulf of California about four kilometers off the shore of the middle portion of the upper segment of the peninsula of Baja California (Murphy *et al.*, 2002). Its highest elevation is 192 m (Murphy *et al.*, 2002), which is located near the mid-point along and across the island (fig. 2). The island is characterized by the presence of peaks, cliffs, mesas, canyons, and rocky beaches (fig. 3). As noted by Grismer (2002: 335), "the island is generally steep and extremely rocky. The volcanic rocks are angular, eroded, and very irregular in shape." The island is composed of materials dating to the middle and late Miocene and it probably separated from the mainland as a result of a geological block failure during the Pleistocene (Delgado-Argote, 2008).

The vegetation is desertic, as a consequence of limited rainfall and the shortage of available standing water. As noted by Lazcano *et al.*, (2011: 130), "the dominant plants [on] the island is [are] desert holly (*Atriplex hymenelytra*) and needlegrass (*Stipa* sp.). There is a small

number of cacti like [chollas] (*Cylindropuntia choya*) and cardons (*Pachycereus pringlei*). Other plants found in low proportion are desert thorn (*Lycium* sp.), glasswort (*Salicornia* sp.), jojoba (*Jojoba* sp.), and mesquite (*Prosopis* sp.).

The climate of Isla El Muerto is very dry with a mean annual temperature of 23°C and an annual precipitation fluctuating between 40 and 60 mm. The driest months are May and June. The highest average monthly temperatures (over 32°C) occur in July and August, whereas the minimum average monthly temperature (about 15°C) occurs in January (Minnich *et al.*, 2000; Cavazos, 2008).

The mammalian fauna of Isla El Muerto comprises only three species, including the California sea lion (*Zalophus californicus*), the California Myotis (*Myotis californicus*), and the Deer Mouse (*Peromyscus maniculatus*). These records are based on personal observations and the results of trapping efforts during our own field work in the island.

The most common birds that we observed on the island are brown pelicans (*Pelecanus occidentalis*), cormorants (*Phalacrocorax* sp.), frigate birds (*Fregata* sp.), herons (family Ardeidae), sea gulls (*Larus livens*), sea hawks (*Pandion haliaetus*), ravens (*Corvus corax*), and peregrine hawks (*Falco peregrinus*).

THE HERPETOFAUNA OF ISLA EL MUERTO

Lazcano *et al.*, (2011) documented the herpetofauna of Isla El Muerto as consisting of eight species, including the five species listed by Grismer (2002). Four species each of lizards and snakes are recorded now from the island. The lizards are the iguanids *Dipsosaurus dorsalis* and *Petrosaurus mearnsi*, the phrynosomatid *Uta lowei*, and the phyllodactylid *Phyllodactylus xanti*. The snakes consist of the leptotyphlopoid *Rena humilis*, the colubrid *Trimorphodon lyrophanes*, the dipsadid *Hypsiglena torquata*, and the viperid *Crotalus pyrrhus*. Only the lizard *Uta lowei* is endemic to this island.

HISTORICAL BACKDROP OF *CROTALUS PYRRHUS* KLAUBER, 1949

The population of *Crotalus pyrrhus* on Isla El Muerto was described originally as *C. mitchellii muertensis* by Klauber (1949), but subsequently was raised to species rank (*C. muertensis*) by Grismer (1999a). Klauber (1949) distinguished this taxon from other populations allocated to his concept of *C. mitchellii* by having "distinctive squamation and color patterns" and by

attaining "a smaller body size than other subspecies." "As more material from various populations of *C. mitchellii* accumulated, [however,] it became apparent that only the [last] characteristic is diagnostic, but Grismer (1999a) argued that this is sufficient to allocate full species status" (Campbell and Lamar, 2004: 561). Campbell and Lamar (2004) followed Klauber (1949) in considering the taxon *muertensis* as one of five subspecies of *C. mitchellii* they recognized. However; more recently Meik *et al.*, (2015) synonymized *C. muertensis* with *C. pyrrhus*.

CHARACTERIZATION OF THE HABITAT OF *CROTALUS PYRRHUS* ON ISLA EL MUERTO

in order to identify the environmental heterogeneity of the island, the different Landscape Units were determined. For this, photointerpretation of images from the Google Earth Program was carried out, complemented with field verifications, obtaining a map of Landscape Units, which includes the ravines, beaches, plateaus, and slopes where we sampled for rattlesnakes (Figure 2).

A general analysis of the vegetation present on the island in the different Landscape Units was carried out. Some plants were photographed and with the use of a botanical press, samples of some plants present on the island were taken, which were later identified in the CIBNOR Botany Laboratory.

Some 100 m long Canfield lines were carried out in strategic locations on the island, recording the stoniness present according to different diameter categories that were previously established (Canfield, 1941). The Canfield lines measures 100 m of length and were made in the next places: "Cañada del Campamento", "Cañada de Israel", "Meseta del Maestrote", "Cañada derecho (Tres Cañadas) south of the island", "Plano passing Gaviotas Beach to the north" and "Table on one side of Gaviotas Beach to the south" (see figure 2).

The rocks were classified based on their size into type I rocks (up to 30 cm in diameter), type II rocks (31 to 60 cm in diameter) and type III rocks (more than 61 cm in diameter). The results per site of each of the categories (types of rocks, vegetation and naked soil are expressed in percentages.

MICROHABITAT DISTRIBUTION OF *CROTALUS PYRRHUS*

crotalus pyrrhus occurs widely on this island (table 1, fig. 2). Collections were made over four days in May (4-7) and three days in June (16-18). Twenty-two individuals

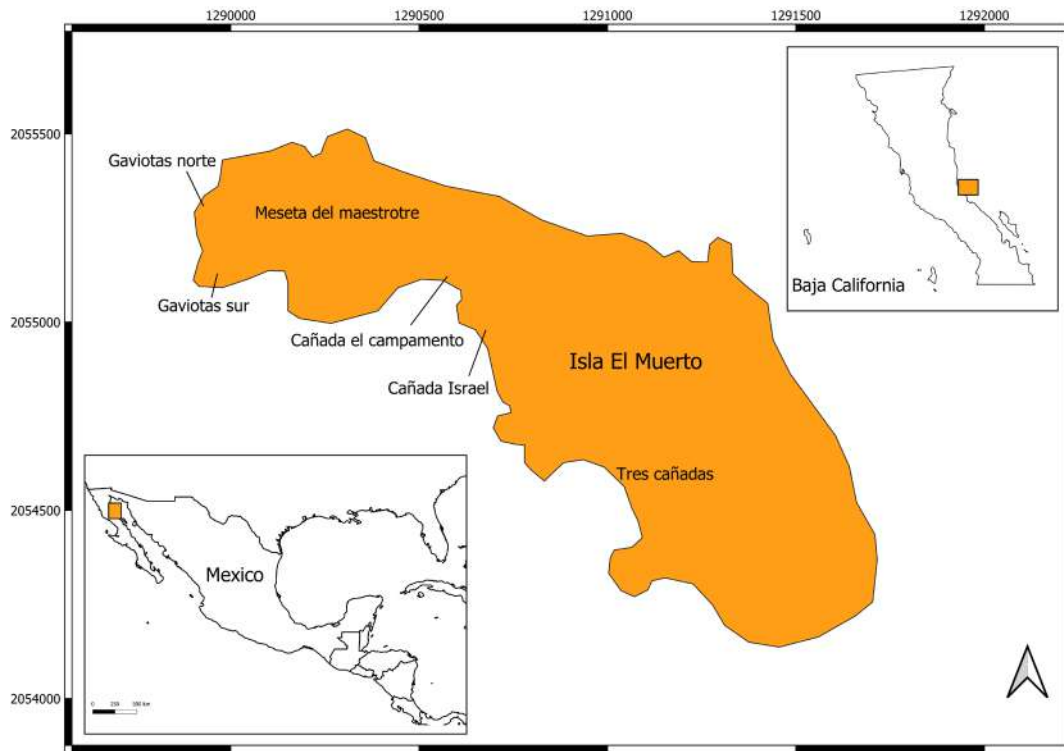


Figure 2.- Map of Isla El Muerto indicating the locations of the inland and its study sites. Credit: Iván Villalobos-Juárez.



Figure 3.- Cañada del Campamento, illustrating the scarcity of vegetation on the beach and the rocky walls of the canyon. Photo by Elí García-Padilla.

were found over these seven days (table 1). Of 21 individuals that were sexed, 11 were males and 10 were females. Thus, the sex ratio was as close to 1:1 as is possible with an odd number of individuals.

Individuals of *C. pyrrhus* were encountered at seven different localities (Table 1) on the peninsular-facing side of the island (fig. 4) over a span of about 1.5 airline kilometers or about three-quarters of its length, and from the beach to the spine of the island.

The greatest number of individuals (nine) was found at the Cañada de Campamento locality (fig. 4). This place is the only one where we trapped *Peromyscus maniculatus*, one of the prey species known to be consumed by this rattlesnake. We also observed that *Uta lowei* congregates in large numbers at the bottom of this canyon to feed on mosquitoes, which attracts the rattlesnakes that prey on this lizard. We confirmed this association by finding a juvenile *C. pyrrhus* on the slope of Meseta el Maestrote that contained a *Uta lowei*. We also saw *Dipsosaurus dorsalis*,

Petrosaurus mearnsi, and *Phyllodactylus xanti* in this canyon. Klauber (1949) reported *Petrosaurus mearnsi* as prey of the rattlesnake and Grismer (2002) opined that it also probably feeds on *Phyllodactylus xanti*, which he indicated is common on the island. Grismer (pers. comm.) considered *D. dorsalis* to be a recent arrival on the island and we presume it also might serve as prey for the rattlesnake. At Playa Gaviotas, we observed individuals of *Crotalus pyrrhus* inactive under rocks during the day and active only during the night. At this site there is a community of *Salicornia* sp. that harbors chicks and nests with eggs of *Larus livens*. Presumably, the chicks also can be used as prey by *C. pyrrhus*.

RELATIVE ABUNDANCE OF *CROTALUS PYRRHUS*

the total abundance of snakes found for the whole survey (May and June) = 3400 minutes of searching/60=56.66 hours of searching. A total of 13 snakes (9+4) were found. So then, the total relative abundance was: 13/56.66= 0.22 snakes/ hour.

Table 1.-Number of rattle snakes *Crotalus pyrrhus* found during the field work in Isla El Muerto, Gulf of California.

Snake	Date	Site	Sex	SVL
1	4/05/2009	Cañada del campamento	M	59.4
2	4/05/2009	Cañada del campamento	M	53.0
3	4/05/2009	Cañada del campamento	F	30.2
4	5/05/2009	Cañada del campamento	F	36.7
5	6/05/2009	Playa gaviotas	M	29.7
6	6/05/2009	Playa gaviotas	F	40.5
7	6/05/2009	Playa gaviotas	M	58.5
8	6/05/2009	Playa gaviotas	F	45.3
9	6/05/2009	Ladera de playa gaviotas-meseta del maestrote	F	41.7
10	6/05/2009	Playa gaviotas	M	48.5
11	6/05/2009	Cañada del compadre de Israel	M	36.5
12	6/05/2009	Cañada del compadre de Israel	M	43.7
13	7/05/2009	Ladera de la meseta del maestrote	F	27.5
14	7/05/2009	Ladera de la meseta del maestrote	M	69.0
15	7/05/2009	Ladera de la meseta del maestrote	M	61.6
16	16/06/2009	Cañada del campamento	F	49.5
17	16/06/2009	Cañada del campamento	F	49
18	16/06/2009	Cañada del campamento	-	-
19	17/06/2009	Playa gaviotas	F	32.0
20	18/06/2009	Playa del faro	M	50.0
21	18/06/2009	Playa del faro	F	31.1
22	18/06/2009	Cañada derecha de "3 cañadas"	M	35.5



Figure 4.-*Crotalus pyrrhus* from Isla El Muerto. Photo by Elí García-Padilla.

CONSERVATION OF CROTALUS PYRRHUS IN ISLA EL MUERTO

the islands of the Gulf of California collectively constitute an important region of herpetofaunal diversity and endemism in Mexico (Peralta-García *et al.*, 2023; García-Padilla *et al.*, 2018). As noted by Lazcano *et al.*, (2011: 129), "the herpetofauna of the islands in the Gulf of California comprises more than 115 species, of which almost 50% are endemic." Rattlesnakes are frequent components of the Gulf of California insular herpetofauna. 14 species of rattlesnakes are recorded from the Gulf of California islands. Six of these species are insular endemics, each confined to a single gulf island (García-Padilla *et al.*, 2018; Peralta-García, *et al.*, 2023). The population of *C. pyrrhus* inhabits an island comprising 1.3 km². Nonetheless, this rattlesnake is currently distributed in the southwestern United States and Baja California, Mexico (Peralta-García *et al.*, 2023).

Crotalus pyrrhus is not placed on the SEMARNAT list (SEMARNAT, 2010). Presuming this species ever appears on the SEMARNAT list, it should be considered as Endangered (P) since it is persecuted by humans for the illegal pet trade, it is killed by humans that use the island as a temporary camp and the species is evidently suffering the effects of climate change (Peralta-García *et al.*, 2023). The IUCN categorization for this rattlesnake is Least Concern. We find it difficult to understand how a rattlesnake species with this insular population to Isla El Muerto which is subject to outright killing and illegal collecting (see below)

possibly can be judged as of Least Concern. A much fairer assessment would categorize *Crotalus pyrrhus* as Endangered, if not Critically Endangered.

The evaluation provided by the application of the EVS measure tells a markedly different story. The value for *Crotalus pyrrhus* is 13, which places it in the upper portion of the medium vulnerability range (Wilson *et al.*, 2013). The species rates this value because it is limited to the vicinity of the type locality, occurs in a single vegetation formation, and is subject to human pressure (Peralta-García, *et al.*, 2023).

As well as, in their identification of priorities for the conservation of vipers, Maritz *et al.*, (2016) provided the following threat index (TI), ecological and evolutionary distinctiveness (EED), and combined (TI + EED) values for *C. muertensis*: TI = DD, EED = DD, TI+EED = DD. For *C. pyrrhus*: TI = 0.20, EED = DD, TI+EED = DD. And for *C. mitchellii*: TI = 0.30, EED = 0.49, TI+EED = 0.39. All these three values fall in the Least Concern category of the IUCN.

Crotalus pyrrhus is a rattlesnake species of significant conservation interest since some of its populations are confined in distribution to very small islands lying within easy reach of the mainland of the Peninsula of Baja California. According to Peralta-García *et al.*, (2023), the effects of climate change could present a severe threat to insular systems since amphibians and reptiles obviously cannot expand or modify their distributions to compensate for their effects. Among terrestrial

vertebrates on islands, reports show that amphibians and reptiles could be the most affected by climate change (Becerra-López *et al.*, 2022; Peralta-García *et al.*, 2023). Estimates indicate that many species could lose close to 50% of their distribution ranges (Ureta *et al.*, 2018). In addition to this factor, the rise in sea level due to the effects of climate change would affect many of the reptiles on islands (Bellard *et al.*, 2013; Pliego-Sánchez *et al.*, 2021).

Isla el Muerto is uninhabited by humans, but the island is visited sometimes by fishermen, who reported that individuals from the United States (“gringos”) regularly visit the island to search for this rattlesnake. (García-Padilla, 2010) and Mellink (1995) indicated that *C. pyrrhus* (cited as *C. muertensis*) is one of the species that inhabit the Peninsula of Baja California and its associated islands that is illegally collected and smuggled into the United States for sale in the pet trade black market. Mellink (op. cit.) stated that prices at the time ranged from \$150 for captive-born young to \$375 for a pair of adults. Given what we report here about the abundance and ease of encounter of individuals of this rattlesnake and the degree to which it is subject to illegal collection, we submit that this population should be monitored by authorities continuously to ensure its survival for perpetuity.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Distribution: According to the literature, individuals of *C. pyrrhus* on Isla el Muerto can be found on beaches (Klauber, 1949) and on hills (Grismer, 2002). We also found that *C. pyrrhus* inhabits various other types of habitats, including rocky walls and canyons.

Klauber (1949) mentioned that the deer mouse (*Peromyscus* sp.) was found in the stomachs of *C. pyrrhus* on the island. We found that *Peromyscus maniculatus* inhabits Cañada del Campamento (see figure 2), so that we presume that this canyon is ideal for *C. pyrrhus* due to the presence of the only previously confirmed prey.

According to Grismer (2002), *Petrosaurus mearnsi* and *Phyllodactylus xanti* might be potential prey of *C. pyrrhus* on the island. We observed that *Dipsosaurus dorsalis*, a possible recent arrival on the island (Lazcano *et al.*, 2011) might also be a potential prey for *C. pyrrhus*. We assumed that these lizards and mice might have some influence on the presence and distribution of *C. pyrrhus* on Cañada del Campamento.

According to Grismer (2002), *Larus livens* might represent another prey of *C. pyrrhus* on the island. Although we did not find any evidence of predation, we observed

that in Playa Gaviotas there is a significant number of *C. pyrrhus*, and this might be related to the presence of *L. livens* chickens and eggs. Also, another important prey on this beach could be the lizard *Uta lowei*.

One of the places where we did not find any specimens of *C. pyrrhus* was Meseta del Maestrote. We noticed that deer mice and lizards are not present at this site, probably due to the lack of vegetation. Also, another observation was that the soil surface of this place can reach extremely high temperatures, due to direct incidence of sunlight, reducing very likely rattlesnake activity.

Abundance: The only evidence from the literature on how abundant is or was *C. pyrrhus* on the island is found on Klauber (1949). He mentioned that the collector (of the type series for *C. muertensis*) found nine animals in less than 20 feet. This means that nine *C. pyrrhus* were collected every 6.1 meters, or that 1.47 snakes were found every meter. The author did not mention the specific site of the island where this event took place, and we assumed that if the collector walked only six meters, he probably took only a couple of minutes to find the nine specimens.

We found that the relative abundance of *C. pyrrhus* on Isla El Muerto is 0.22 snakes/hour, which means that it is necessary to spend approximately five hours in order to find one specimen of *C. pyrrhus*.

When these data are compared to that on other insular and peninsular rattlesnake populations, we found that Avila-Villegas (2005) reported a relative abundance of 0.4 snakes/hour for *C. catalinensis* on Isla Santa Catalina. Additionally, Murillo-Quero (2009) mentioned a relative abundance of 0.75 snakes/hour for *C. ruber* on the Peninsula el Mogote, La Paz, Baja California Sur, and the relative abundance of *C. tortugensis* on Isla Tortuga was estimated as 0.45 snakes/hour (Arnaud-Franco, 2010, personal communication).

Conservation: Klauber (1949) mentioned that Isla El Muerto is one of the three islands on the Gulf of California where one collector can find a big number of snakes in a short period of time. Comparing the actual evidence and observations, we assume that the population of *C. pyrrhus* is decreasing drastically. The population of *C. pyrrhus* inhabiting a very small island remains vulnerable to pressures such as possible invasive species like feral cats and the indiscriminate killing and the illegal collecting for the pet trade (Mellink, 1995). Special regulations for its conservation status and protection need to be developed in order to achieve the preservation of this important rattlesnake population and its habitat for perpetuity.

Table 3.- Relative abundance of snakes found during the month of June, 2009. The total abundance of snakes for this survey was: 0.12 snakes/hour.

Site	Time of searching	Number of people	Number of snakes found	Abundance
Cañada del campamento	520min(8.666h)	5	0	0
Playa del faro	672min(11.2h)	5	3	0.267
Playa gaviotas	64min(1.06h)	5	1	0.943
Meseta del maestrote	29min(0.48h)	5	0	0
Cañada del compadre de Israel	670min(11.166h)	5	0	0

Table 2.- Relative abundance of snakes found during the month of May, 2009. The total abundance of snakes for this survey was of 9 (snakes)/24.08 (hours)= 0.37 snakes/hour.

Site	Time of searching	Number of people	Number of snakes found	Abundance
Cañada del campamento	575 min(9.583 h)	5	2	0.2 serp/hr.
Cañada de Israel	65 min	5	0	0
Playa gaviotas	425 min(7.083h)	5	5	0.7
Meseta del maestrote	380min(6.333h)	5	2	0.31



Figure 5.-*Peromyscus maniculatus* from Isla El Muerto. Photo by Elí García-Padilla.



Figure 6.-*Uta lowei* from Isla El Muerto. Photo by Elí García-Padilla.



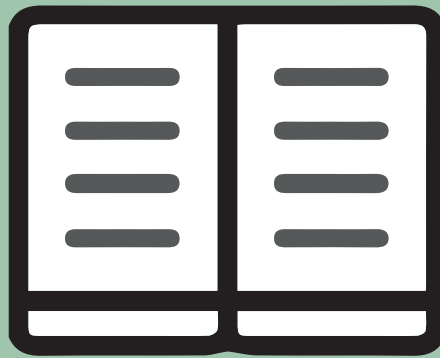
Figure 7.-*Petrosaurus mearnsi* from Isla El Muerto. Photo by Elí García-Padilla.



Figure 8.-*Dipsosaurus dorsalis* from Isla El Muerto. Photo by Elí García-Padilla.



Figure 9.-*Hysiglena torquata* from Isla El Muerto. Photo by Elí García-Padilla.



LITERATURE CITED

- Arnaud, G. 2015. Conservación de la serpiente de cascabel sin cascabel, *Crotalus catalinensis* de la isla Santa Catalina, Golfo de California. *Recursos Naturales y Sociedad* 1: 51–61.
- Beaman, K. R., and W.K. Hayes. 2008. Rattlesnakes: research trends and annotated checklist. (Pp. 9–12). *In*: Hayes, W. K., K. R. Beaman, M. D. Cardwell, and S. P. Bush. *The Biology of Rattlesnakes*. Loma Linda University Press, Loma Linda, California, United States. Pp.606.
- Bellard, C, C. Leclerc, and F. Courchamp. 2013. Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. *Global Ecology and Biogeography* 23: 203–212
- Campbell, H. W., and S. P. Christman. 1982. Field techniques for herpetofaunal community analysis (Pp. 193-200). *In*: N.J. Scott, Jr. (ed.) *Herpetological communities: a symposium of the Society for the study of Amphibians and Reptiles and the Herpetologist's League*. U.S. Fish Wildlife Service Wildlife Research Report 13.
- Campbell, J. A., and W.W. Lamar. 2004. *The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere*. Two vols. Cornell University Press, Ithaca, New York, United States. Pp. 528.
- Canfield, H.R. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*. Pp. 388-394.
- Cavazos, T. 2008. Clima. (Pp. 67–90). *In*: Danemann, G. D., and E. Ezcurra (Eds.). *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad: línea base 2007*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México.
- CONANP. 2000. Programa de manejo Área de protección de flora y fauna Islas del Golfo de California, México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- Delgado-Argote, L. A. 2008. Geología. (Pp. 19–44). *In*: Danemann, G. D., and E. Ezcurra (Eds.). *Bahía de los Ángeles: Recursos Naturales y Comunidad: línea base 2007*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México.
- Dodd, C. K., Jr. 1987. Status, conservation and management (Pp.478-513). *In*: R. A. Siegel, J. T. Collins, and S. S. Novak, (Eds.), *Snakes: Ecology and evolutionary biology*, McGraw-Hill, New York, United States. Pp.529.
- García-Padilla, E. 2010. Caracterización del hábitat, distribución y abundancia de la víbora de cascabel *Crotalus muertensis* (Grismer, 1999), microendémica de la Isla El Muerto, Golfo de California, México. Tesis para obtener el título profesional de biólogo, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Zoología de Vertebrados, Laboratorio de Herpetología, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. Pp.34.
- García-Padilla, E., J.L. Valdez-Villavicencio, García-Padilla, E., Valdez-Villavicencio J. H. y Peralta-García A. 2018. Las Serpientes de Cascabel más allá del continente. *Revista Especies. Naturalia A.C.* Edición julio-septiembre Pp. 6-15.
- García-Padilla, E., I. Villalobos-Juárez, y D. Lazcano. *In press*. Serpientes de cascabel de México: del culto al odio. *Revista Saber Más*. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.
- Grismer, L. 1999a. An evolutionary classification of reptiles on islands in the Gulf of California, México. *Herpetologica* 55: 446–469.
- Grismer, L. 1999b. Checklist of amphibians and reptiles on islands in the Gulf of California, México. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences* 98: 45–56.
- Grismer, L. 2002. *Amphibians and reptiles of Baja California, including its Pacific islands and the islands in the Sea of Cortéz*. University of California Press, Berkeley, California, United States. Pp.413.
- Klauber, L. M. 1949. Some new and revived subspecies of rattlesnakes. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 11: 61–116.
- Lazcano, D., G. Arnaud, O. Cruz, and E. García-Padilla. 2011. Notes on the herpetofauna of the northwest of Mexico: herpetofauna of Isla El Muerto, Ensenada, Baja California, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 46(10): 129–133.
- Llorente-Bousquets, J., and S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en capital natural de México. Vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México.
- May, P.G., T. M. Farrel, S. T. Heulett, M. A. Pilgrim, L. A. Bishops, D. J. Spence, A. M. Rabatsky, M. G. Campbell, A. D. Aycrigg, and W. E. Richardson II. 1996. Seasonal abundance and activity of a rattlesnake (*Sistrurus miliarius barbouri*) in central Florida. *Copeia* 1996: 389–401.
- Mellink, E. 1995. The potential effect of commercialization of reptiles from Mexico's Baja California peninsula and its associated islands. *Herpetological Natural History* 3: 95–99.
- Minnich, R. A., E. F. Vizcaíno, and R. J. Dezzani. 2000. The El Niño/Southern Oscillation and precipitation variability in Baja California, Mexico. *Atmósfera* 13: 1–20.
- Murillo-Quero, R. 2009. Uso de hábitat de la víbora de cascabel (*Crotalus ruber*) en un matorral xerófilo de La Paz, BCS, México. Tesis de Maestría. CIBNOR, La Paz, BCS. Pp.106.
- Murphy, R., F. Sánchez-Piñero, G. Polis, and R. Aalbu. 2002. New measurements of area and distance for islands in the Sea of Cortés. (Pp. 447–464). *In*: Case, T., M. Cody, and E. Ezcurra

- (Eds.). A New Island Biogeography of the Sea of Cortés. Oxford University Press, United States. Pp.690.
- Oliveira, M. E., and M. Martins. 2001. When and where to find a pitviper: activity patterns and habitat use of the Lancehead *Bothrops atrox*, in central Amazonia, Brazil. *Herpetological Natural History* 8: 101–110.
- Peralta-García, A., J.H. Valdez-Villavicencio, L.A. Fucsko, B.D. Hollingsworth, J.D. Johnson, V. Mata-Silva, A. Rocha, D. De-Santis, L.W. Porras, and L.D. Wilson. 2023. The herpetofauna of the Baja California Peninsula and its adjacent islands, Mexico: composition, distribution, and conservation status. *Amphibian & Reptile Conservation* 17: 57–142.
- Pliego-Sánchez, J.V., C. Blair, A.H. Díaz de la Vega-Pérez, and V.H. Jiménez-Arcos. 2021. The insular herpetofauna of Mexico: composition, conservation, and biogeographic patterns. *Ecology and Evolution* 2021: 1–14.
- Ramírez-Bautista, A, L.A. Torres-Hernández, R. Cruz-Elizalde, C. Berriozabal-Islas, U. Hernández-Salinas, L.D. Wilson, J.D. Johnson, L.W. Porras, C.J. Balderas-Valdivia, A.J.X. González-Hernández, and V. Mata-Silva. 2023. An updated list of the Mexican herpetofauna: with a summary of historical and contemporary studies. *ZooKeys* 1166: 287–306. +
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.
- Ureta, C., A.P. Cuervo-Robayo, and E. Calixto-Pérez. 2018. A first approach to evaluate the vulnerability of islands' vertebrates to climate change in Mexico. *Atmósfera* 31: 221–254.
- Wilson, L. D., V. Mata-Silva, and J. D. Johnson. 2013. A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. Contribution to Special Mexico Issue. *Amphibian & Reptile Conservation* 7: 1–47.

LA CATÁSTROFE CLIMÁTICA COMO PROFECÍA SECULAR Y MILENARIA

LUIS G. LÓPEZ LEMUS



RESUMEN

El movimiento por el cambio climático es una entidad cultural poderosa. No afirma ni niega la realidad de su narrativa central, que corresponde a la ciencia decidir y, sin embargo, es la cultura la que explica el poder y la prevalencia de su narrativa, las respuestas políticas y sociales a ella y la aparente voluntad de muchas personas para incurrir en costos inmensos con el fin de evitar una supuesta amenaza existencial aún cuando nuestra capacidad para alterar sus consecuencias es cuestionable. Esta narrativa emplea el miedo como un poderoso motivador que se inculca desde la niñez y cuya condena apocalíptica se determina de antemano por la desobediencia colectiva, mientras que la salvación se promete para los píos y arrepentidos que cumplan con sus onerosas disposiciones, muchas de ellas inútiles. En 1983, Michael Barkun, hoy profesor emérito de la Universidad de Syracuse en Nueva York, publicó un puntilloso ensayo que identifica proféticamente el surgimiento de un “nuevo *apocalipticismo*” en el tan politizado discurso mediático de nuestro tiempo. Se comparten extractos selectos del mismo, traducidos libremente, supeditándolos a los debates públicos vigentes sobre el tema, particularmente enfáticos en sus catastróficas proyecciones y nefastas consecuencias.

ABSTRACT

The climate change movement is a powerful cultural entity. It neither affirms nor denies the reality of its central narrative, which is for science to decide, and yet it is culture that explains the power and prevalence of its narrative, the political and social responses to it, and the apparent will of many people to incur immense costs in order to avoid a supposed existential threat, even though our ability to alter its consequences is still doubtful. This narrative uses fear as a powerful motivator that is instilled from childhood and whose apocalyptic condemnation is determined in advance by collective disobedience, while salvation is promised to the pious and repentant who comply with its onerous provisions, many of them useless. In 1983, Michael Barkun, now professor emeritus at Syracuse University in New York, published a meticulous essay that prophetically identifies the emergence of a “new apocalypticism” in the highly politicized media discourse of our time. Selected excerpts are shared below, subjecting them to current public debates on the subject, particularly emphatic in their catastrophic projections and dire consequences.

El cambio climático se ha convertido en una poderosa entidad cultural en nuestros días que no afirma ni niega la realidad de su narrativa fundamental, que a la ciencia le corresponde sancionar, pero sí explica su poder y su predominancia mediática. En la misma tónica, explica igualmente las consecuentes respuestas políticas y sociales de las juventudes, y el voluntarioso empeño de muchas personas por asumir el enorme costo de prevenir una supuesta amenaza existencial aún sin pruebas fehacientes de la capacidad humana para atenuar su impacto.

La narrativa climática afirma que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEIs) son la causa de una emergencia, y que, sin una urgente y extraordinaria acción, lo que sea que esto signifique, las consecuencias sobre la humanidad serán catastróficas (Figura 1). De muchas formas, las características culturales de este discurso exhiben un notable paralelismo con movimientos religiosos e ideológicos comenzando por su inamovible creencia fundamental que no admite el cuestionamiento implícito ante la evidencia existente, y que se extiende a las incesantes declaraciones de políticos, comentaristas mediáticos y ambientalistas, por supuesto.

Sus fieles son validados y confirmados por prácticas de grupo, mientras que los apóstatas o escépticos pecadores, *i.e.*, los *negacionistas*, son calumniados, penalizados y excluidos por sus patriarcas que dan certidumbre a las multitudes devotas. Sus principios fundacionales y sus numerosas creencias subsidiarias se validan a partir de interpretaciones exageradas de estudios científicos, evidencias anecdóticas y estadísticas convenientemente seleccionadas para reforzar su credo, cuyo sesgo confirmatorio es pregonado por personalidades influyentes que incluyen celebridades de la farándula que, sin el mínimo conocimiento del tema, propagan la doctrina profética. El miedo se emplea como un poderoso motivador que se inculca desde la niñez y cuya condena apocalíptica se determina de antemano por la desobediencia colectiva, mientras que la salvación se promete para los píos y arrepentidos que cumplan con sus onerosas disposiciones, muchas de ellas inútiles.

En 1983, Michael Barkun, hoy profesor emérito de la Universidad de Syracuse, Nueva York, donde tuvo la fortuna de tomar clases, escribió un puntilloso ensayo¹ en el que identificaba proféticamente el surgimiento de un “nuevo apocalipticismo” en el discurso mediático tan politizado de nuestro tiempo. Al respecto aquí comparto algunos extractos traducidos libremente a 40 años de distancia, vinculándolos con los debates públicos vigentes sobre el cambio climático...

Barkun definió el “Nuevo Apocalipticismo” de la siguiente manera:

El “Nuevo Apocalipticismo” es innegablemente religioso, dado su arraigo en la milenaria tradición cristiana [con la que estamos familiarizados]. El apocalipticismo religioso, sin embargo, no es el único apocalipticismo actual en la sociedad, Con él coexiste un apocalipticismo más nuevo, más difuso, pero indiscutiblemente influyente. Secular más que religioso, esta segunda variedad surge de una visión naturalista del mundo, más deudora de la ciencia y la crítica social que de la teología. Muchos de sus autores son académicos y las obras mismas están dirigidas a un público no especializado pero influyente (i.e., funcionarios gubernamentales, líderes empresariales y periodistas) que se presume tienen el poder de intervenir para evitar una catástrofe planetaria... (p263)

Barkun observa que los intelectuales² cumplen ahora una función social que antes cumplían los líderes religiosos, aunque estos intelectuales no siempre consideraron que la ciencia y la religión eran compatibles (Figura 2):

Por muy desinformados o poco comprensivos que puedan ser estos profetas seculares con respecto a sus homólogos religiosos, reconocen claramente la presencia de motivos religiosos en su propia obra. Sus predicciones de “las últimas cosas” generan los mismos sentimientos de asombro que siempre han rodeado a la escatología popular, incluso aún si en este caso las predicciones a menudo surgen de modelos informáticos más que de los textos bíblicos en sus varias versiones y traducciones... (p265)

Irónicamente, así como la literatura apocalíptica religiosa resta importancia al mundo natural, la nueva literatura secular lo hace más prominente. Al concentrarse en la capacidad de la acción humana para desestabilizar los ritmos naturales, los escritores seculares han hecho que la naturaleza sea más importante reconociendo a la vez la potencia del acto humano (p269)... La transformación del mundo por parte de los religiosos, que se lograría en los “Últimos Días”, ocurriría ahora gradualmente como consecuencia de la intervención humana. Esta visión confiada y redentorista de la ciencia lleva como corolarios la necesidad y el deseo del dominio humano sobre el mundo natural: el mismísimo pecado uniformemente atacado en la literatura apocalíptica secular de hoy. Mientras que este dominio sobre la naturaleza alguna vez fue visto como el camino hacia una mayor felicidad y plenitud, ahora parece ser el camino hacia el fin del mundo...(p270)

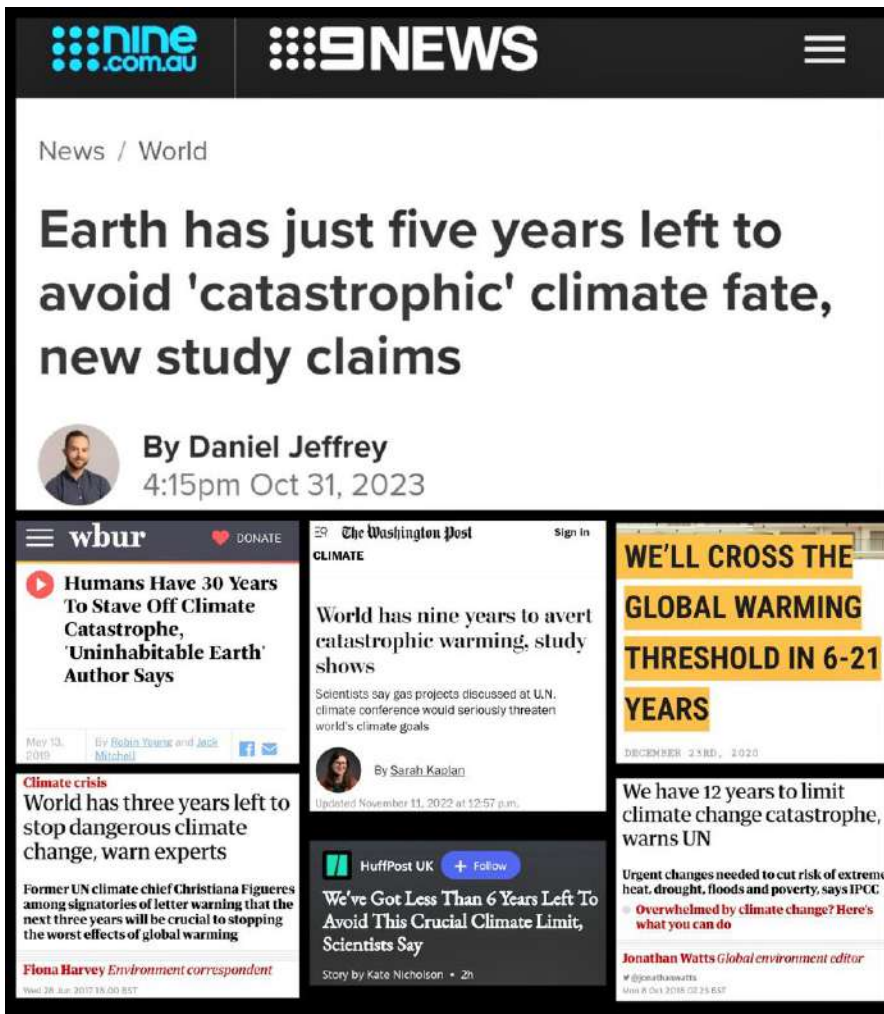


Figura 1. La bien sabida narrativa climática afirma que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEIs) son la causa de una emergencia, y que, sin una urgente y extraordinaria acción, lo que sea que esto signifique, las consecuencias sobre la humanidad serán catastróficas

LA CATASTRÓFE CLIMÁTICA COMO PROFECÍA SECULAR Y MILENARIA

Figura 2. Para muchos, la ciencia ha reemplazado a la religión en su capacidad percibida para identificar las causas fundamentales de nuestra crisis existencial y los científicos han reemplazado a los líderes religiosos al tener cierta capacidad *única* para orientar a las masas sobre cómo debemos transformarnos y evitar la catástrofe.



PERRY WORLD HOUSE
University of Pennsylvania

CLIMATE WEEK AT PENN

Urgency & Agency in the Battle to Avert a Climate Crisis

Thursday, September 23, 2021 | 5:00pm-6:00pm ET
Hybrid Event | World Forum and Zoom

Featuring
Michael E. Mann
Distinguished Professor of Atmospheric Science, Penn State

Figura 3. Cuando escuchamos a los científicos del clima, citados con frecuencia, advertir que nuestros calamitosos tiempos son consecuencia de nuestras pasadas y equivocadas acciones y que el camino hacia un futuro diferente es la transformación (por ejemplo, “urgencia y acción” en el eslogan del popular científico del clima Michael Mann), no es difícil asumir estos llamados como aquellos de los sacerdotes actuales del Apocalipsis secular explicando nuestra situación y ofreciendo la esperanza de salvación.

Para los milenaristas seculares, los eventos extremos que ahora acaparan los encabezados en todos los medios (e.g., inundaciones, huracanes, incendios, etc.) son más que meros presagios: Son evidencia de nuestros pecados del pasado y brindan oportunidades de redención en el futuro, si tan sólo escucháramos, aceptáramos nuestra culpa y nos redimiéramos:

Mientras que la visión religiosa considera los acontecimientos como signos, la posición secular es mucho más propensa a verlos como causas directas: el futuro ocurrirá debido a acciones hechas en el pasado y en el presente, pero el futuro puede cambiarse tomando diferentes decisiones ahora. A cierto nivel, esto desplaza la eficacia causal de una deidad externa a los seres humanos. En otro nivel, al abrir la posibilidad de que “El Fin” pueda evitarse mediante una acción oportuna, el cambio introduce una medida de indeterminación contrapuesta al énfasis fundamentalista de la inevitabilidad. La oportunidad de adoptar medidas preventivas hace que los escenarios seculares parezcan más esperanzadores porque, en principio, las acciones destructivas por parte de los seres humanos podrían evitarse: los actos intencionales podrían prevenirse señalando sus probables consecuencias, mientras que el error humano podría reducirse si se vigilara más de cerca la situación; es decir, la misma directiva de quienes ocupan puestos de responsabilidad. Sin embargo, este enfoque sólo puede albergar la esperanza de minimizar los riesgos, dejando aún alguna posibilidad indestructible de peligro, porque el comportamiento malvado, ignorante o inadvertido nunca puede eliminarse... (p271)

Quando escuchamos a los científicos del clima, citados con frecuencia, advertir que nuestros tiempos calamitosos son consecuencia de nuestras pasadas y equivocadas acciones, y que el camino hacia un futuro diferente es la transformación (por ejemplo, “urgencia y acción” en el lema del popular científico del clima Michael Mann, Figura 3), podemos entender estas dinámicas como las de los sacerdotes actuales del Apocalipsis secular explicando nuestra situación y ofreciendo la esperanza de salvación. Al respecto, Barkun sostuvo que las visiones apocalípticas seculares del mundo también son compatibles con una perspectiva maniquea sobre el bien y el mal:

Los apocalípticos seculares tienden a adoptar dos estrategias. Por un lado, pueden atribuir el sufrimiento a las maquinaciones de grupos pequeños pero poderosos, cuyo control de los recursos económicos, militares o de otro tipo les permite poner en peligro el destino de otros, lo cual tiene la ventaja de establecer un orden maniqueo que, lamentablemente también, es una estrategia que fácilmente conduce a la desesperación si las fuerzas del bien parecen débiles... (p273)

Todos hemos escuchado el sermón: son las compañías petroleras y nuestra adicción a los combustibles fósiles, son los conservadores, los mega-millonarios, los negacionistas y otras fuerzas oscuras quienes han conspirado para frustrar el movimiento climático durante muchas décadas (Figura 4). Si tan solo pudieran ser derrotados, se produciría una transformación y se evitaría el Apocalipsis, dicen.

Por lo anterior, no es sorprendente que el Apocalipsis secular también se interprete como consecuencia de que ciertas personas, ignorantes o indiferentes, que no han prestado atención a las advertencias de los expertos, y que, a pesar de estas, siguen transportándose en aviones a propulsión, conduciendo automóviles utilitarios en las ciudades, comiendo hamburguesas, utilizando el aire acondicionado y negándose a cambiar:

Por otro lado, la destrucción del mundo puede verse como la consecuencia indeseada de acciones humanas mal informadas, inoportunas o ineptas. Según quienes sostienen esta opinión, las víctimas de la destrucción del mundo son, al menos en parte, culpables de su destino, ya que, si se hubieran comportado de otra manera, habrían podido evitarlo. La primera posición, la visión conspirativa, preserva la apariencia del orden moral al secularizar el mito del Armagedón, en el que el bien y el mal compiten, pero conserva un elemento de indeterminación que no se encuentra en la versión religiosa. La segunda posición, que atribuye insuficiencias a las víctimas, intenta restablecer el orden moral implicando que el sufrimiento puede no ser totalmente inmerecido: las víctimas pueden de alguna manera merecer su destino porque actuaron imprudentemente... (p273)

¿Cómo podría evolucionar en el futuro el Nuevo Apocalipticismo contemporáneo?, Barkun ofreció tres posibilidades:

Una posibilidad, por supuesto, es que los apocalípticos religiosos o los seculares tengan razón y que la historia termine efectivamente durante la vida de quienes ahora viven... (p276)

De hecho, podríamos estar ya en las últimas etapas de una crisis climática existencial, que no lograremos cambiar y tendremos que aceptar que el fin está cerca:

Una segunda posibilidad, confirmada en casos pasados de predicción religiosa, es que los vagos pronósticos den paso a predicciones más precisas a medida que los interesados en aumento busquen la reducción progresiva de la ambigüedad. Cuando esto ocurra, el escenario está preparado para el rechazo de la profecía, ese momento en el que una predicción específica se interrumpe públicamente y el movimiento asociado a ella rápidamente se contrae hasta un núcleo incondicional de creyentes más comprometidos... (p276)

En este sentido ¿qué sucederá cuando no logremos la meta de no elevar la temperatura planetaria promedio más allá de 1.5° C? ¿Serán entonces 2° C? Por otro lado, siempre habrá suficientes fenómenos meteorológicos



Figura 4. De entre los reclamos sociales más frecuentes para combatir la supuesta emergencia climática, destacan la cancelación a la explotación y el uso de combustibles fósiles desde su extracción hasta la producción de los bienes y servicios que han sostenido a la presente civilización durante más de 150 años.

extremos en todo el planeta como para sostener por mucho tiempo la idea de que la fatalidad está a la vuelta de la esquina. Barkun explicó que las creencias apocalípticas han estado presentes en las sociedades durante siglos y, por lo tanto, probablemente nunca desaparecerán:

Una tercera posibilidad es que el número de creyentes pueda llegar a ser tan grande que su propio número e influencia produzcan un cambio fundamental en el orden social. El ascenso del cristianismo durante el Imperio Romano tardío y la desilusión de la población rusa inmediatamente antes de su Revolución son ejemplos de ello. En este caso, las predicciones nefastas pueden convertirse en profecías autocumplidas, o pueden parecerse mucho a ellas... (p276-277)

Esta es, por supuesto, la estrategia "todo incluido" de muchos activistas climáticos: forzar a que se produzca la transformación global deseada y luego atribuirse el mérito del Armagedón evitado si bien yo sostengo que, aunque la crisis demográfica³ global de mitad del siglo pasado terminó con una declaración de éxito al pregonarse que hacer sonar la alarma a tiempo salvó a miles de millones de la hambruna, sólo se trata de una percepción contextual que en realidad no concuerda del todo con la historia.

En el presente, aún si descarbonizamos rápidamente nuestros procesos industriales, el Apocalipsis seguirá siendo una amenaza real, si bien simplemente no cumplida; de hecho esto es lo que está detrás de las discusiones sobre el futuro climático al seguirse aplicando el obsoleto y más radical escenario SSP5-8.5 del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), exhaustivamente promovido en sus reportes más recientes, y que se reproduce aquí en la Figura 5, entre otros⁴.

Las ideas y las creencias cambian, como el clima, y si la gente debe elegir entre la comida del día o encender la calefacción, o cuando los países más pobres se vean privados de energía asequible y desesperadamente necesaria para crecer, entonces el sentido práctico y la culpa seguramente provocarán un cambio eventual de tales ideas y creencias. El hecho de que aún no lo hayan hecho demuestra el poder de la cultura frente a la lógica, la moralidad, el interés propio y los hechos.

Después de 40 años, el ensayo de Barkun es notable cuando se lee en el contexto de la letanía climática contemporánea. Por supuesto, el cambio climático es real e importante, pero no es (según el IPCC) el fin del mundo. Es casi seguro que el futuro a corto plazo de la política climática será una lucha entre el pragmatismo y un nuevo apocalipticismo, cuyo resultado está aún por verse.

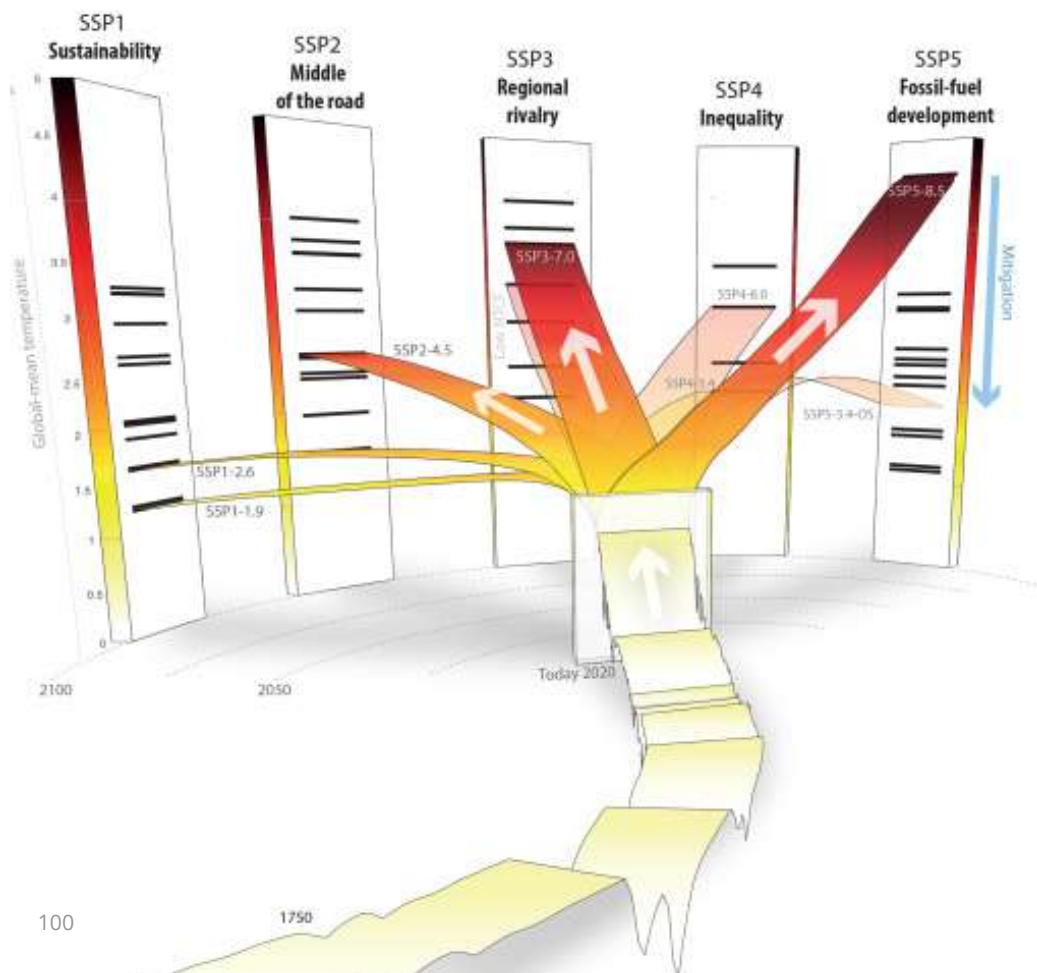
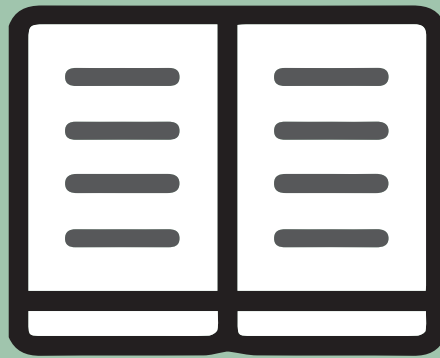


Figura 5. Aquí los escenarios basados en Vías Socioeconómicas Compartidas (SSPs, por sus siglas en inglés) en los que se muestran los intervalos de temperatura ilustrativos con respecto a aquellos preindustriales: las temperaturas históricas (banda frontal), las temperaturas recientes (pequeño bloque en el medio) y la ramificación de los respectivos escenarios durante el siglo XXI a lo largo de cinco familias socioeconómicas. Las pequeñas barras horizontales negras en los pilares a 2100 para cada SSP, indican niveles de temperatura ilustrativos para la variedad de escenarios de SSP. Las bandas más opacas a lo largo del siglo XXI indican los cinco escenarios considerados prioritarios por el IPCC. Las bandas más transparentes indican otros escenarios. También se muestra una barra indicativa azul en el lado derecho, que indica el efecto de las acciones de mitigación para reducir los niveles de temperatura hacia el 2100 y durante todo el siglo XXI, dependiendo del escenario de referencia respectivo y el nivel de mitigación⁵.



NOTAS

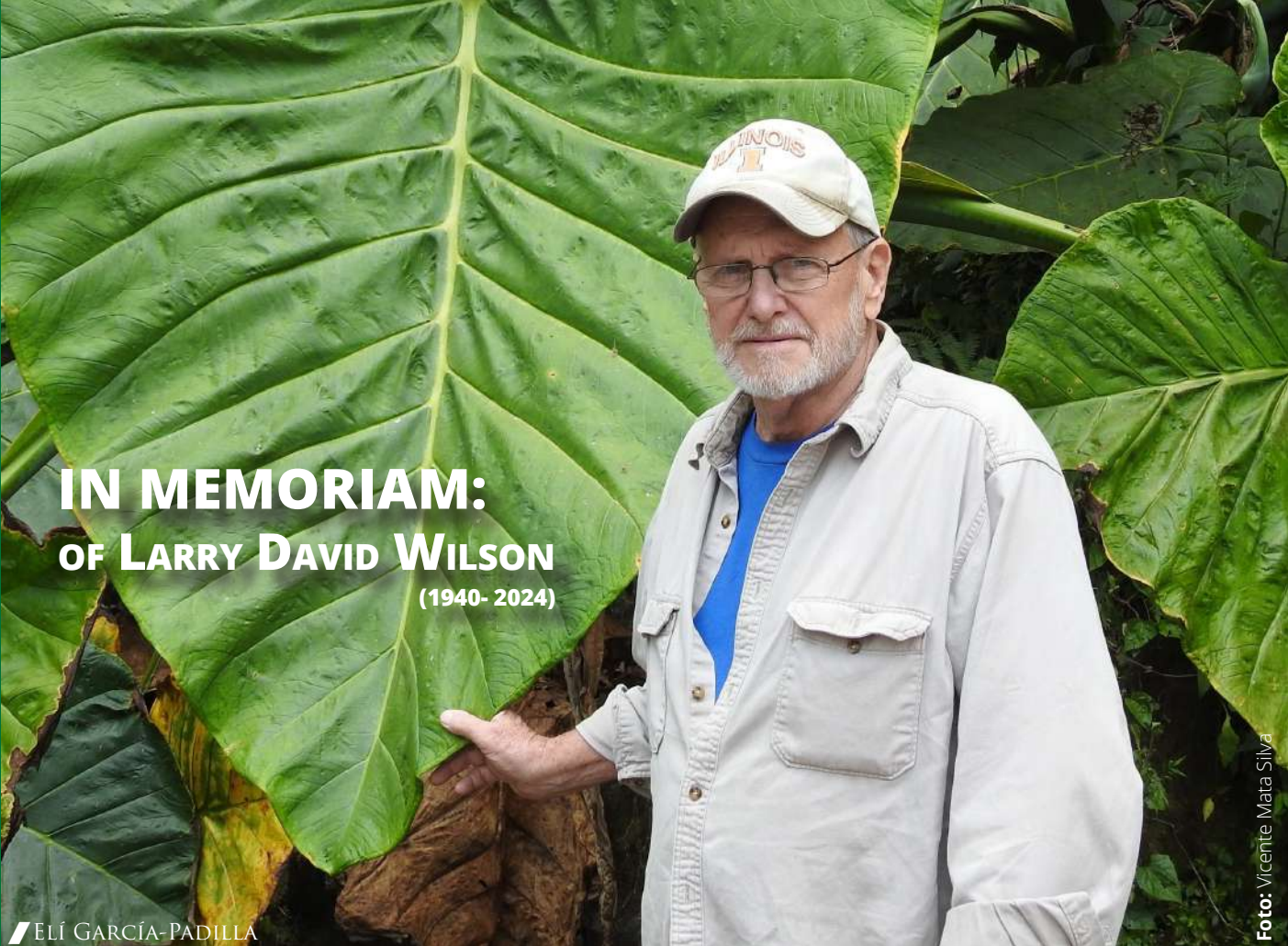
¹ Barkun, M, 1983. Divided apocalypse: *Thinking about the end in contemporary America. Soundings: An Interdisciplinary Journal* 6: 257-280. <https://www.jstor.org/stable/41178260>

²“Todo intelectual tiene una responsabilidad muy especial. Tiene el privilegio y la oportunidad de estudiar. A cambio, le debe a sus semejantes (o “a la sociedad”) representar los resultados de su estudio de la manera más simple, clara y modesta que pueda. Lo peor que pueden hacer los intelectuales –el pecado capital– es tratar de erigirse en grandes profetas frente a sus semejantes e impresionarlos con filosofías desconcertantes. Quien no pueda hablar con sencillez y claridad, no debe decir nada y seguir trabajando hasta que pueda hacerlo”. —Karl Popper
<https://www.goodreads.com/quotes/9810170-every-intellectual-has-a-very-special-responsibility-he-has-the>

³Ehrlich,PR, 1968. *The Population Bomb*. Ballantine Books, Chicago. 201p.

⁴El escenario SSP5-8.5 se ha convertido en un argumento político con beneficios tanto para quienes buscan alarmar a la gente como para quienes con él han señalado los resultados arreglados en la investigación climática pertinente por lo que, dados estos beneficios duales, se espera que su politización se intensifique: Pielke Jr, R & J, Ritchie, 2021. Distorting the view of our climate future: The misuse and abuse of climate pathways and scenarios. *Energy Research and Social Science* 72: 101890.

⁵Meinshausen, M *et al*, 2020. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development* 13: 3571–3605.



IN MEMORIAM: OF LARRY DAVID WILSON (1940- 2024)

ELÍ GARCÍA-PADILLA

Larry was the mentor, colleague, and friend of many herpetologists around the globe. With his near 500 written contributions to science, he is considered one of the most important researchers and contributors to the formal knowledge and conservation of the Mesoamerican Herpetofauna. I personally met him in Oaxaca during several field expeditions led by Vicente Mata-Silva and two of his students at UTEP. Together we explored the Sierra Madre de Oaxaca and Sierra Madre del Sur. In 2015, we published the paper entitled, "The Herpetofauna of Oaxaca: Composition, Distribution and Conservation Status" in the popular journal *Mesoamerican Herpetology* run by Louis W. Porras. In 2022, we published the actualization of the formal knowledge of the herpetofauna of this diverse Mexican state with the paper entitled: "A Reexamination of the Herpetofauna of Oaxaca, Mexico: Composition Update, Physiographic Distribution, and Conservation Commentary" in the journal *Zootaxa*. Also in 2022, we collaborated on a couple of important papers, one entitled: "The Amphibians and Reptiles of the Los Chimalapas Region, Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico: Composition, Distributional Categorization, Conservation Status, and Biodiversity Significance" and the second: "Biological and Cultural Diversity in the state of Oaxaca, Mexico: Strategies for Conservation among Indigenous Communities." Both were published in the journal *Revista Biología y Sociedad*. My last collaboration with him was the paper currently in press (*Revista Biología y Sociedad*) entitled: "Natural History and Conservation Status of *Crotalus pyrrhus* Cope, 1866 (Squamata: Viperidae) From Isla El Muerto, Gulf of California, México". To me it was a real undeserved honor to be a coauthor, a close friend, and student

of his. Larry was always happy to share his proven experience, knowledge, and friendship with his colleagues and collaborators. He always highlighted the necessity of producing more ethical and collaborative research. I still clearly remember one time when he told me in the field this epic phrase: "In science we must learn to build bridges and not walls."

According with his own biosketch, Dr. Wilson was born in Taylorville, Illinois, United States, and received his professional education at the University of Illinois at Champaign-Urbana (B.S. degree, 1962) and at Louisiana State University in Baton Rouge (M.S. and Ph.D. degrees, 1965 and 1968, respectively). He spent a considerable time of his prolific career in Honduras, where he met his wife with whom he had two daughters. Larry was the senior editor of *Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles* (2010) and the co-author of seven of its chapters. His other books, all co-authored, include *The Snakes of Honduras* (two editions, 1982 and 1985), *Middle American Herpetology* (1988), *The Amphibians of Honduras* (2002), *Amphibians & Reptiles of the Bay Islands and Cayos Cochinos, Honduras* (2005), *The Amphibians and Reptiles of the Honduran Mosquitia* (2006), and *Guide to the Amphibians & Reptiles of Cusuco National Park, Honduras* (2008). He was also the co-author of 16 published entries in the Mexican Conservation Series dealing with the herpetofauna of the states of Michoacán, Oaxaca, Chiapas, Tamaulipas, Nayarit, Nuevo León, Jalisco, Puebla, Coahuila, Hidalgo, Veracruz, Querétaro, Tabasco, Guanajuato, Baja California Peninsula, as well as the tri-state Mexican Yucatan Peninsula. In addition, Larry was a co-author of several significant publications on the development

Foto: Vicente Mata Silva

and extensive application of the EVS (Environmental Vulnerability Score) measure and on conservation issues related to the Mexican herpetofauna at the national level. He authored or co-authored the descriptions of 76 currently-recognized herpetofaunal species, and six species have been named in his honor, including the anuran *Craugastor lauraster*, the lizard *Norops wilsoni*, and the snakes *Oxybelis wilsoni*, *Myriopholis wilsoni*, and *Cerrophidion wilsoni*, as well as the coccidian parasite *Isospora wilsoni*. In 2005, he was designated a Distinguished Scholar in the Field of Herpetology at the Kendall Campus of Miami-Dade College by the then-campus president, Dr. Wasim Shomar. More recently, Larry became a Co-chair of the Taxonomic Board for the website Mesoamerican Herpetology.

but also due to his humane and ethical proceedings in his long life. He is still alive in our memories, through his vast work, and high quality contributions to the science of the study of life. We now have the commitment to reproduce his ethics, example of life, and philosophy of always prioritizing teamwork over individualism.

We will always remember Dr. Wilson, not only for his strong commitment and passion about the comprehension of the Mesoamerican herpetology,



Foto: Vicente Mata Silva



Foto: Vicente Mata Silva



Foto: Elí García-Padilla



Foto: Elí García-Padilla

ALDO GAEL LUNA-ALMARAZ. Es un joven de 20 años que se desempeña como asistente docente impartiendo clases teórico-prácticas sobre microbiología a alumnos de las carreras LBG, QBP y LCA en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Al mismo tiempo, se desenvuelve en la investigación en producción de biopolímeros (PHA's) a partir de bacterias halófilas en el L-3 del Instituto de Biotecnología de la UANL en el cual está adscrito. Actualmente, se encuentra cursando el 5to semestre de la carrera Lic. en Biotecnología Genómica en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, ha publicado con anterioridad tres artículos de divulgación científica (un cuarto en camino), y ha recibido diversas distinciones, siendo el galardón Premio de la Juventud Santa Catarina 2023 el más reciente por sus contribuciones a la Ciencia e Innovación dado por el gobierno de su municipio.

ORCID: 0009-0004-5551-1745
aldo.lunalmrz@uanl.edu.mx

ARMANDO JESUS CONTRERAS-BALDERAS. Received his bachelor as biologist in 1978, Biological Sciences Master's degree in 1984, and Ph.D. in 1998, all of them from the Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. He was a Professor in Bachelor, Master and Ph. D. with Biogeography, Wildlife Ecology, Wildlife Management, Field Biology, Ecology, Philosophy and Ethics, and others related with wildlife and conservation. His research interests include taxonomy, ecology, zoogeography, and Wildlife, mainly vertebrates.

ORCID: 0000-0002-7116-8244
ajcb1951@gmail.com

ANTONIO ESAÚ VALDENEGRO BRITO. Maestro en Ciencias. Laboratorio de Sistemática Molecular, Unidad de Investigación Experimental Zaragoza, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

ORCID: 0000-0003-3796-8819.
avaldenegrob@gmail.com.

CARLOS ÁNGEL-JIJÓN. Se graduó como Ingeniero Bioquímico en el Instituto Tecnológico de Acapulco, obteniendo el reconocimiento y medalla por el más alto promedio de la generación 2010-2015. Realizó sus estudios de Maestría en Química y Doctorado en Química en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), obteniendo la medalla garza por el más alto promedio de la generación 2016-2018 y 2018-2022. Ha realizado estancias académicas en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Hospital Infantil de México Federico Gómez (HIMFG) y la Universidad de Guanajuato (UG). Ha participado en 5 Congresos nacionales e internacionales. Sus artículos publicados comprenden la síntesis química, caracterización y evaluación de propiedades ópticas de moléculas fluorescentes y potencial aplicación como marcadores moleculares, síntesis y evaluación catalítica de complejos carbénicos de metales de transición. Ha impartido cursos a nivel Licenciatura de Cálculo, Termodinámica, Mecánica, Cálculo diferencial e integral. Actualmente es Técnico docente de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Además de su destacada

SOBRE LOS AUTORES



trayectoria académica y científica, el Dr. Ángel-Jijón muestra un interés particular en la revalorización de subproductos agroindustriales, una área crucial para la sostenibilidad y la innovación en la industria alimentaria y química. Su dedicación a la investigación y la educación promete contribuciones significativas en el campo de la Química y la Ingeniería Bioquímica, así como en la promoción de prácticas más sostenibles en la industria.

carlos_angel@uaeh.edu.mx

CATALINA LEOS RIVAS. Profesora-Investigadora del Departamento de Química (Laboratorio de Química Analítica) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. La Dra. Leos Rivas es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, cuenta con perfil PRODEP y forma parte del Cuerpo Académico Química Biológica (UANL-CA-180 Consolidado), trabajando en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de "Aislamiento e identificación de productos naturales con actividad biológica" desde el 2011. Sus investigaciones se han enfocado en el Aislamiento e identificación de metabolitos bioactivos en plantas de interés económico. Ha sido investigadora responsable de 5 proyectos financiados por PROMEP-SEP y PAICYT-UANL. Cuenta con más de 10 publicaciones en revistas, 3 títulos de patentes, 1 libro y 3 capítulos de libro. Ha sido directora de 3 tesis a nivel doctorado y 5 de licenciatura.

ORCID: 0000-0002-3626-7263
catalina.leosrv@uanl.edu.mx

CATALINA RIVAS MORALES. Profesora-Investigadora del Departamento de Química (Laboratorio de Química Analítica) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. La Dra. Rivas Morales es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, cuenta con perfil PRODEP y forma parte del Cuerpo Académico Química Biológica (UANL-CA-180 Consolidado), trabajando en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de "Aislamiento e identificación de productos naturales con actividad biológica" y "Diseño de medios de cultivo para la propagación de organismos de importancia biotecnológica" desde el 2003. Sus investigaciones se han enfocado en la formulación de medios de cultivo de importancia biotecnológica y en el aislamiento e identificación de metabolitos bioactivos en plantas de interés económico. Ha sido investigadora responsable de 15 proyectos financiados por el CONACYT (SALUD-2003-CO1-33B1, Fundación Educación Superior-Empresa (FESE) 2012), PAICYT-UANL. Cuenta con más de 50 publicaciones en revistas, 8 títulos de patentes y 1 libro editado, 4 libros co-autor, 4 capítulos de libro. Ha sido directora de 12 tesis doctorales, 1 a nivel maestría y 10 de licenciatura.

ORCID: 0000-0001-9786-4953
catalina.rivasmr@uanl.edu.mx

DANIELA ESPARZA-VITAL. Es una destacada estudiante de noveno semestre de la Licenciatura en Química de Alimentos en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAEH desde 2019. Su pasión y área de interés se centra en la revalorización de subproductos agroindustriales, especialmente en

el contexto de la industria maltera y cervecera. Adicionalmente, cuenta con una sólida formación como Técnica en Laboratorista Químico. Gracias a eso y la Licenciatura, Daniela ha adquirido experiencia en diversas áreas, incluyendo la curación de anfibios y reptiles, análisis fisicoquímicos y microbiológicos de alimentos, redacción de textos científicos y reportes técnicos. Su habilidad en el análisis de datos estadísticos utilizando R y Python, así como su capacidad para interpretar gráficos de curvas de secado y la implementación de gráficos de control (SIC), la destacan como una persona versátil en el ámbito de la investigación. Además de su compromiso académico, Daniela ha demostrado su capacidad emprendedora al participar en el Foro Estatal de Emprendedores, ExpoCiencias Hidalgo. Su contribución en la implementación de un alimento para gatos a base de residuos de pescado, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generados durante la descomposición, refleja su compromiso con la sostenibilidad y la innovación en el campo de la alimentación. Daniela Esparza-Vital es una estudiante apasionada por la investigación y la revalorización de recursos agroindustriales, cuyo talento y dedicación prometen contribuciones significativas al campo de la Química de Alimentos y de la sostenibilidad ambiental.

esparzavitaldaniela@gmail.com

DAVID LAZCANO. Is a herpetologist who earned a bachelor's degree in chemical science in 1980, and a bachelor's degree in biology in 1982. In 1999 he earned a master's degree in wildlife management and later a PhD degree in biological sciences with a specialty in wildlife management (2005), all gained from the Facultad de Ciencias Biológicas of the Universidad Autónoma de Nuevo León (FCB/UANL), Mexico. Currently, has retired from this institution after 42 years of teaching courses in soil sciences, general ecology, herpetology, herpetological ecology, animal behavior, biogeography, biology in English, diversity and biology of chordates, and wildlife management. He had been the head of the Laboratorio de Herpetología from 1993-2022, teaching and providing assistance in both undergraduate and graduate programs. In 2006 he was honored to receive the Joseph Lazlo award for his herpetological trajectory, from the IHS. In October 2017 he was awarded national recognition by the Asociación para la Investigación y Conservación de Anfibios y Reptiles (AICAR), due to his contribution to the study of ecology and conservation of herpetofauna in northeastern Mexico (Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila). He participated in the development of the Program of Action for the Conservation of the Species (PACE) Rattlesnakes (*Crotalus* spp.). His research interests include the study of the herpetofaunal diversity of northeastern Mexico, as well as the ecology, herpetology, biology of the chordates, biogeography, animal behavior, and population maintenance techniques of montane herps. He had been thesis advisor for many Bachelor's, Master's, and PhD degrees dealing with the study of the herpetofauna of the region as well as nationally. David has published more 270 scientific

notes and articles in indexed and general diffusion journals, concerning the herpetofauna of the northeastern portion of Mexico. His students named a species in honor of his work, *Gerrhonotus lazcanoii*. David is still an active herpetologist.

ORCID: 0000-0002-6292-5979
imantodes52@hotmail.com

ELÍ GARCÍA-PADILLA. Is a social biologist and professional photographer with more than 15 years of experience in the formal study and photodocumentation of the biological and cultural diversity of Mexico. He has published as author and co-author 3 books: "Mexican biodiversity: the snake, the jaguar and the quetzal", "Visual guide to common frogs, toads, salamanders and sirens of Tamaulipas, Mexico" and "Visual guide to the biodiversity of Santa Martha Luvianí, Pueblos Mancomunados, Oaxaca, México" and more than 150 formal contributions – with more than a thousand citations – on the knowledge, science communication, and conservation of Mesoamerican biodiversity. Since 2006 he has invested effort in the exploration of Oaxaca and Chiapas, which are the most biodiverse and multicultural entities in Mexico. In 2017 he began to enter the mythical region of Los Chimalapas, in the Isthmus of Tehuantepec, which is the most biologically rich in all of Mexico under a community-based social conservation scheme. At present, he is immersed in the La Chinantla region in the Sierra Madre of Oaxaca, which is the most important, most biodiverse and best preserved remnant of mountain cloud forest in Mexico. He has taught several workshops on nature photography and the biocultural heritage of Mexico. He is a Red Tox expert and has taught several workshops on the identification and management of venomous snakes and the pre-hospital action protocol for snake accidents in community contexts. His photographic work has been published in prestigious magazines such as National Geographic in Spanish and Cuartoscuro. From 2020 to date, he co-founded the "Mesoamerican Biodiversity" initiative with the objective of collectively building a community around the dissemination of Mexico's most important wealth, which is its biodiversity and its native cultures. His opinion columns on socio-environmental issues, native peoples and biodiversity in general are published regularly in Oaxaca Media, Jornada Ecológica, Jornada Maya and the Ojarasca Supplement of La Jornada.

ORCID: 0000-0003-1081-8458
eligarciapadilla86@gmail.com

ELIZABETH CONTRERAS-LÓPEZ. Obtuvo el doctorado en Ciencias de la Alimentación en la *Université de Bourgogne en Dijon*, Francia, Actualmente se encuentra adscrita al Área Académica de Química perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo como donde se desempeña desde hace más de veinte años como profesora-investigadora de tiempo completo. En dicha institución, ha impartido diferentes asignaturas tales como: Fundamentos de química, Biología celular, Nutrición, entre otras. Ha sido responsable de diferentes proyectos de investigación en donde ha incorporado alumnos de licenciatura. Ha dirigido tesis

a nivel licenciatura y posgrado. Fue coordinadora de la licenciatura en Química de Alimentos y actualmente apoya como adjunta la coordinación del Doctorado en química. Es miembro del SNII Nivel 1. Sus líneas de investigación están relacionadas a la presencia de antioxidantes en plantas medicinales y al estudio de los factores de deterioro en alimentos y que influyen en su vida útil.

elizac@uaeh.edu.mx

EMMANUEL PÉREZ-ESCALANTE. El Dr. Emmanuel Pérez-Escalante obtuvo dicho grado de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, específicamente del programa del Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana. Actualmente, es miembro del SNII en el área interdisciplinaria con nombramiento vigente en el Nivel I. Tiene experiencia en líneas de investigación relacionadas a microbiología y biotecnología alimentaria, síntesis y caracterización de compuestos bioactivos, desarrollo de métodos analíticos y análisis *in silico*.

emmanuel.perez@uaeh.edu.mx

ENRIQUE J. OLLOQUI. El Dr. Enrique J. Olloqui es Médico Veterinario y Zootecnista y tiene una Maestría en Ciencias enfocada en Endocrinología y Reproducción animal por parte de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia en la UNAM. Tiene un Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana por parte del Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías de la UAEH. Además, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-CONACYT). Actualmente, está cursando su Estancia Posdoctoral en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Sus líneas de investigación se enfocan en la "Evaluación del potencial de subproductos agropecuarios en la alimentación", "Síntesis de péptidos bioactivos en productos agropecuarios", "Formulación de alimentos y bebidas funcionales" e "Innovación y aplicación de técnicas reproductivas en animales domésticos"; generando artículos científicos en revistas internacionales de alto prestigio. Al mismo tiempo, fue catedrático de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, en la carrera de Ingeniería en Producción Animal. Dentro de su experiencia, ha participado en cursos, congresos y estancias nacionales e internacionales, además de establecer redes de trabajo, con la UNAM, el Centro de Productos Bióticos del IPN, el Colegio de Postgraduados, la UAEH, la UAEM, el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa y la Universidad de Burgos, en España.

mvzolloqui@gmail.com

FELIPE MERA-REYES. Es un distinguido académico con una amplia formación académica. Obtuvo su Doctorado en Historia en la Universidad de Guanajuato, además de contar con una Maestría en Comunicación y una Licenciatura en Historia de la Universidad Nacional Autónoma de México. En la actualidad, se desempeña como posdoctorante en el departamento de Filosofía de la Universidad de Guanajuato, al mismo tiempo que ejerce como catedrático de asignatura en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Su destacada carrera académica se refleja en sus contribuciones a la investigación y la difusión del conocimiento. Ha publicado

numerosos artículos sobre la historia del cine mexicano en diversas revistas especializadas y de divulgación. Asimismo, ha participado como ponente en numerosas ocasiones, tanto en México como en el extranjero, compartiendo su experiencia y conocimiento en áreas de gran relevancia, como la historia del cine mexicano, la historia cultural del siglo XX mexicano, y la lengua y cultura *hñähñu* (otomí del Valle del Mezquital, Hidalgo). Su compromiso con la investigación y su contribución a diversas disciplinas lo destacan como un académico de gran valía en el ámbito académico y cultural.

felipemerareyes@gmail.com

FERNANDO GARCÍA-LUNA. Pasante de Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

ORCID: 0000-0001-6193-1579
fernandob.luna@gmail.com.

GUSTAVO ARNAUD-FRANCO. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Gustavo has a Doctor of Sciences degree from the University of Paris XIII, in France. His Master's degree is from the National Autonomous University of Mexico and his Bachelor's degree in Biology from the UANL. He is a senior researcher at the Northwest Biological Research Center (CIBNOR) (1986-current), assigned to the Environmental Planning and Conservation Program, and a member of the Strategic Line on Biodiversity of Mexico. He is responsible for the Animal Ecology Laboratory and a member of the faculty of the CIBNOR Graduate Program. He has published more than 60 scientific articles and book chapters and has supervised three doctoral students, 15 master's students and 15 bachelor's students. He is a member of the Advisory Councils of the Bahía de Loreto National Park and the Flora and Fauna Protection Area of the Gulf of California Islands, of the CONANP. He has worked on the islands of the Gulf of California in aspects of natural history and conservation of the native fauna. He currently focuses his studies on the ecology and venoms of rattlesnakes of the genus *Crotalus* of northwestern Mexico.

ORCID: 0000-0002-5317-2303
garnaud04@cibnor.mx

GUSTAVO DE JESÚS SAN MIGUEL-GONZÁLEZ. Químico Farmacobiólogo por la Universidad Autónoma de Coahuila. Estudiante del Doctorado en Ciencias orientación en Biotecnología en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Forma parte del Laboratorio 3 del Instituto de Biotecnología FCB-UANL. Su línea de Investigación es el estudio de biopolímeros microbianos tipo polihidroxicarboxilatos. Ha participado como autor de un capítulo de libro, ponente de diversos trabajos de investigación en congresos nacionales e internacionales, así como co-director de tres tesis de licenciatura.

ORCID: 0000-0002-1570-2959
gustavo.sanmiguelg@uanl.edu.mx

IVÁN VILLALOBOS-JUÁREZ. Is an independent researcher at Los Hijos del Desierto. Ivan obtained his undergraduate degree in Biology at the Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). Ivan was an Associate Professor of Biology at UAA and a professor at Universidad Autónoma de Durango. He was also a Research Technical Assistant at the Zoological

Collection in UAA. Ivan was the last Program Manager of the Viper Specialist Group of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) and was a curator of the taxonomic platform Reptile Database. He has worked on the natural history of the Isla Coronado Rattlesnake (*Crotalus helleri caliginis*), the habitat use of rattlesnakes in Central Mexico, the trade of Mexican rattlesnakes, and the popular knowledge of reptiles. His primary interests include natural history, diversity, and conservation of amphibians and reptiles in Mexico.

ORCID: 0000-0002-2133-6617
epidushunter@gmail.com

JESÚS GUADALUPE PÉREZ-FLORES. Obtuvo su título de Doctora en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana en la prestigiosa Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) y es miembro en el SNII nivel 1. Ha ejercido como profesor en el Área Académica de Química desde 2018 y en el Área Académica de Enfermería desde 2019 en la UAEH. Actualmente, lidera una línea de investigación especializada en Ciencia de Datos aplicada al estudio de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos y la valorización de subproductos agroalimentarios como fuentes de compuestos bioactivos ya que es un entusiasta y apasionado de la inteligencia artificial. También colabora con un grupo de biotecnología de Alimentos de la UAEH. Además, posee experiencia en la elaboración de productos de confitería a base de azúcar y cacao, lo que le ha permitido participar en proyectos tecnológicos, establecer relaciones valiosas con productores y ofrecer cursos especializados. Sus competencias abarcan el dominio de software de ofimática, paquetes estadísticos, programación en R y Python, así como la capacidad de maquetar documentos científicos en LaTeX. Tiene una pasión especial por impulsar y difundir el uso del software libre, ya que esto contribuye a reducir la brecha digital. Sus objetivos fundamentales son aplicar sus habilidades como investigador y docente para elevar la calidad de su investigación científica, contribuir al desarrollo de profesionales altamente capacitados y promover el avance de su línea de investigación y tecnología. Su trabajo no sólo tiene un impacto a nivel académico, sino que también busca impulsar la innovación a nivel estatal y nacional, contribuyendo al crecimiento económico y al desarrollo de México.

jesus.perez@uaeh.edu.mx

JESÚS MARTÍN TAPIA GONZÁLEZ. Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

ORCID: 0000-0002-7985-8151
jg4970701@gmail.com

JORGE ARMANDO CONTRERAS-LOZANO. received his bachelor as biologist in 2006, and PhD. degree in 2012 from the Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. He is currently a professor and research with animal vertebrates at the Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia at the same university. His research interests include ecology, taxonomy, wildlife ecology, conservation, parasitology, infectious diseases.

ORCID: 0000-0002-1674-7489
jorge.contreraslzn@uanl.edu.mx

JORGE VILLAGÓMEZ GUIJÓN. Pasante de Biología. Laboratorio de Sistemática Molecular, Unidad de Investigación Experimental Zaragoza, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

ORCID: 0000-0001-5051-5254
jorge.villagomez.guijon@gmail.com.

JUAN G. BÁEZ GONZÁLEZ. Profesor-Investigador del Departamento de Alimentos (Laboratorio de Reología) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. El Dr. Báez es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, cuenta con perfil PRODEP y forma parte del Cuerpo Académico Recursos Alimenticios (UANL-CA-183 Consolidado), trabajando en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Química y Tecnología de alimentos desde el 2008. Sus investigaciones se han enfocado en la estabilidad de sistemas dispersos alimenticios como emulsiones, espumas, microcápsulas y reología de alimentos. Ha sido investigador responsable de 14 proyectos financiados por el CONACYT (Ciencia básica), PROMEP-SEP, PAICYT-UANL. Cuenta con más de 33 publicaciones en revistas. Ha sido director de 6 tesis doctorales, 2 a nivel maestría y 15 de licenciatura. Cuenta con más de 1090 citas de sus publicaciones.

ORCID: 0000-0003-0509-4678
juan.baezgn@uanl.edu.mx

LARRY DAVID WILSON. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Larry David Wilson is a herpetologist with extensive experience in Mesoamerica. He was born in Taylorville, Illinois, USA, and received his university education at the University of Illinois at Champaign-Urbana (B.S. degree) and at Louisiana State University in Baton Rouge (M.S. and Ph.D. degrees). He has authored or co-authored more than 485 peer-reviewed papers and books on herpetology. Larry is the senior editor of *Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles* and the co-author of seven of its chapters. His other books include *The Snakes of Honduras*, *Middle American Herpetology*, *The Amphibians of Honduras*, *Amphibians & Reptiles of the Bay Islands and Cayos Cochinos, Honduras*, *The Amphibians and Reptiles of the Honduran Mosquitia*, and *Guide to the Amphibians & Reptiles of Cusuco National Park, Honduras*. To date, he has authored or co-authored the descriptions of 76 currently-recognized herpetofaunal species, and six species have been named in his honor, including the anuran *Craugastor lauraster*, the lizard *Norops wilsoni*, and the snakes *Oxybelis wilsoni*, *Myriopholis wilsoni*, and *Cerrophidion wilsoni*; also the coccidian parasite *Isochora wilsoni* is another patronym. In 2005, he was designated a Distinguished Scholar in the Field of Herpetology at the Kendall Campus of Miami-Dade College. Currently, Larry is a Co-chair of the Taxonomic Board for the website Mesoamerican Herpetology.

ORCID: 0000-0003-4969-0789

LAURA GARCÍA-CURIEL. La Dra. Laura García-Curiel es graduada con un doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), México. Actualmente, forma parte del Área Académica de Enfermería de la UAEH, donde ha desempeñado

el cargo de docente por asignatura Nivel A desde el año 2020. En la actualidad, su enfoque de investigación se centra en la Biotecnología de Alimentos, colaborando activamente en el desarrollo de una línea de investigación de Ciencia de Datos aplicada al estudio de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos y en la revalorización de subproductos agroalimentarios como valiosas fuentes de compuestos bioactivos. Además, Laura García-Curiel participa en colaboración con algunos de los profesores de la Licenciatura en Química de Alimentos del Área Académica de Química de la UAEH, contribuyendo al desarrollo de dulces confitados elaborados a partir de hortalizas.

ORCID: 0000-0001-8961-2852
laura.garcia@uaeh.edu.mx

LAURA FERNANDA RAMÍREZ VIEYRA. Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. Ciudad Universitaria, UNAM.

ORCID: 0000-0002-0483-7540
laurar.vieyra@ciencias.unam.mx.

LUIS GERARDO LÓPEZ LEMUS. es ex-becario Fulbright/ García Robles del Colegio de Ciencias Ambientales y Forestales de la Universidad Estatal de Nueva York (SUNY-ESF, 1994-98), donde obtuvo su doctorado en ecología de sistemas y análisis de energía. Entre 1997 y 1999, fue asesor de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía y de la Subsecretaría de Política y Desarrollo de Energéticos –en la Secretaría de Energía (SEner), y del Presidente del Instituto Nacional de la Pesca –en la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (INP-SeMARNaP). Fue profesor adjunto del Programa Interdisciplinario de Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente en la Universidad Iberoamericana (UIA), y del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional (CIEMAD-IPN). Entre 1999 y 2003, fue director del Centro Regional de Investigación Pesquera en La Paz, Baja California Sur, del Instituto Nacional de la Pesca, y profesor adjunto de los posgrados en “Ciencias Marinas y Costeras” y en “Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales” de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). Desde 1982, su producción científica incluye más de 60 presentaciones en congresos, simposios, conferencias y/o seminarios, numerosos reportes de investigación y unas 40 publicaciones en revistas científicas con arbitraje, nacionales e internacionales. Miembro de varias sociedades científicas y profesionales, con intereses y experiencia en las áreas de ecología de sistemas, análisis de energía, modelación matemática/dinámica de procesos ambientales y económicos interdependientes para la gestión y conservación de recursos naturales, análisis de series de tiempo, evaluación del impacto ambiental en obras de infraestructura, servicios o políticas públicas, sistemas de información ambiental, cambio climático, economía ambiental, y sustentabilidad. Fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-SEP-CoNaCyT: Investigador Nacional Nivel 1, 1991-1994), y a partir de 2003, se desempeña como consultor independiente en el desarrollo de

políticas estratégicas basadas en ciencia sobre medio ambiente, recursos naturales y pesca, para diversas instituciones y organizaciones tanto del sector público como del privado.

LUIS JAVIER VEGA RIVAS. Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

ORCID: 0000-0003-2567-5584
javier.vega.biol@gmail.com.

LYDIA ALLISON FUCSKO. Swinburne University of Technology. Lydia Allison Fucsko is an amphibian conservationist and environmental activist. She is also a gifted photographer who has taken countless pictures of amphibians, including photo galleries of mostly southeastern Australian frogs. Dr. Fucsko has postgraduate degrees in computer education and in vocational education and training from The University of Melbourne, Parkville, Melbourne, Australia. Lydia also holds a Master's Degree in Counseling from Monash University, Clayton, Melbourne, Australia. She received her Ph.D. in Environmental Education, which promoted habitat conservation, species perpetuation, and global sustainable management from Swinburne University of Technology, Hawthorn, Melbourne, Australia. In addition, Dr. Fucsko is a sought-after educational consultant. Recently, the species *Tantilla lydia* was named in her honor.

ORCID: 0000-0002-2133-6617
lydiafucsko@gmail.com

MARÍA DE LOURDES LOZANO VILANO. received as master's and doctoral studies in biological sciences, specializing in Aquatic Ecology and Fisheries. For years has been part of the Sistema Nacional de Investigadores, developing important studies in ichthyology and ecology, particularly in northern México. Since 2002, as a collaborator in various research projects, she has been involved in determining the biological integrity indices of the fish species that inhabit this binational basin.

ORCID: 0000-0001-9545-3659
marlozan2006@gmail.com

MARYSOL TRUJANO-ORTEGA. Doctor por el Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. Estudio de la Sistemática, Ecología y Biogeografía de Lepidoptera con énfasis en mariposas. Investigadora Nacional nivel I. Profesora desde hace 16 años en la licenciatura de Biología de la Facultad de Ciencias y el Posgrado de Ciencias Biológicas de la UNAM.

ORCID: 0000-0001-8911-8504
marysol_trujano@yahoo.com.mx.

NANCY NALLELY ESPINOSA CARRANZA. Química Bacterióloga Parasitóloga y Maestra en Ciencias en Manejo y Aprovechamiento Integral de Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Actualmente, es estudiante de sexto semestre del Doctorado en Ciencias en Manejo y Aprovechamiento Integral de Recursos Bióticos por la misma universidad. Lleva a cabo su proyecto de investigación en el Laboratorio de Nanotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas en colaboración con el Departamento de Química Analítica de la Facultad

de Medicina de la UANL, en donde trabaja en la obtención de aceites esenciales de diferentes plantas y su incorporación en nanopartículas poliméricas para su aplicación contra el virus del herpes labial.

ORCID: 0009-0008-0256-536X
nancy.espinosacrr@uanl.edu.mx

OMAR ÁVALOS-HERNÁNDEZ. Doctor por el Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. Especialización en Sistemática y Ecología de moscas polinizadoras y abejas. Investigador Nacional nivel I. Profesor desde hace 15 años en la licenciatura de Biología de la Facultad de Ciencias y el Posgrado de Ciencias Biológicas, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM.

ORCID: 0000-0002-5476-9400
omaravalosh@ciencias.unam.mx.

RAFAEL CALDERÓN-PARRA. Maestro en Biología por parte de la UAM. Conservación y ecología de aves, monitoreo comunitario, ciencia participativa y educación ambiental. Investigador y consultor independiente.

ORCID: 0000-0003-1668-1368
tlehuitzil@yahoo.com.mx.

RAUL E. MARTÍNEZ-HERRERA. Es profesor investigador adjunto al Grupo de Investigación con Enfoque Estratégico en Bioprocesos de la Escuela de Ingeniería y Ciencias (EIC) del Tecnológico de Monterrey. Además, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores como SNI nivel I. Cabe señalar que su investigación está enfocada en optimizar la producción de biopolímeros bacterianos de tipo polihidroxibutirato (PHB), dando especial énfasis en aplicar la economía circular a dicho proceso biotecnológico. Asimismo, ha participado como co-director de diversas tesis de licenciatura y cuenta con publicaciones en revistas de carácter nacional e internacional indexadas al JCR (Q1), una solicitud de patente ante el IMPI y diversas participaciones como ponente y moderador en congresos de carácter nacional e internacional.

ORCID: 0000-0002-7233-3598
raul.martinezhr@tec.mx

ROCÍO ÁLVAREZ ROMÁN. Realizó su Doctorado en Ciencias Farmacéuticas en las Universidades de Ginebra (Suiza) y Lyon 1 (Francia). Es profesora-Investigadora del Departamento de Química Analítica de la Facultad de Medicina de la UANL. La Dra. Álvarez Román es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II, cuenta con perfil PRODEP y forma parte del Cuerpo Académico Productos Naturales (UANL-CA-434 Consolidado) en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: "Evaluación de la actividad biológica y formulación de productos naturales activos". Su línea de investigación se ha enfocado en la formulación de compuestos biológicamente activos (i.e. fármacos, antioxidantes, antifúngicos, productos naturales). Ha sido investigadora responsable de 10 proyectos financiados por el CONACYT (Ciencia Básica, Problemas Nacionales), PROMEP-SEP, L'Oreal-UNESCO-AMC, PAICyT-UANL. Cuenta con más de

23 publicaciones en revistas, 4 títulos de patentes y 1 libro editado. Ha sido directora de 12 tesis a nivel Doctorado, 10 de Maestría y 21 de Licenciatura. Cuenta con más de 1300 citas de sus publicaciones.

ORCID: 0000-0002-7459-4150
rocio.alvarezrm@uanl.edu.mx

RODRIGO GABRIEL MARTÍNEZ FUENTES. Licenciatura en Biología. Laboratorio de Sistemática Molecular, Unidad de Investigación Experimental Zaragoza, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM..

ORCID: 0000-0003-3612-3291
rodgabhesp@gmail.com

RUBÉN ORTEGA-ÁLVAREZ. Doctor por el Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. Ecología de poblaciones y comunidades, monitoreo comunitario, ciencia participativa y ornitología. Investigador Nacional nivel I. Investigador por México del CONAHCYT en el Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud (CIAD-CEIBAAS Colima).

ORCID: 0000-0002-2121-0678
rubenortega.al@gmail.com

SERGIO A. GALINDO RODRÍGUEZ. Profesor-Investigador del Departamento de Química (Laboratorio de Nanotecnología) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. El Dr. Galindo Rodríguez es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II, cuenta con perfil PRODEP y forma parte del Cuerpo Académico Química Biológica (UANL-CA-180 Consolidado), trabajando en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Nanotecnología Aplicada a las Ciencias Biológicas y de la Salud desde el 2006. Sus investigaciones se han enfocado en la nanoformulación de compuestos biológicamente activos (i.e. fármacos, bioinsecticidas, antioxidantes, productos naturales). Ha sido investigador responsable de 10 proyectos financiados

por el CONACYT (Salud, Fondos Mixtos, FIT), PROMEP-SEP, IRD (Francia), PAICyT-UANL. Cuenta con más de 30 publicaciones en revistas indexadas, 6 títulos de patentes y un modelo de utilidad. Ha sido director de 10 tesis doctorales, 15 a nivel maestría y 20 de licenciatura. Cuenta con más de 1000 citas de sus publicaciones.

ORCID: 0000-0002-5734-7246
sergio.galindord@uanl.edu.mx

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

ORCID: 0000-0002-6931-0694
ssalazar@ecosur.mx

URI OMAR GARCÍA-VÁZQUEZ. Doctor por el Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. Especialización en Sistemática y Biogeografía de Anfibios y Reptiles. Investigador Nacional nivel I. Profesor de Carrera titular B, y responsable del laboratorio de Sistemática Molecular de FES Zaragoza UNAM.

ORCID: 0000-0003-2963-0981
urigarci@gmail.com.



Biología y Sociedad



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FCB

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS