

Biología y Sociedad

VIRUELA DEL SIMIO

MON
KEY
POX

Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario General

QFB. Emilia Edith Vásquez Farías
Secretario Académico

Dr. Celso José Garza Acuña
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
Biología Contemporánea

Dr. Sergio Arturo Galindo-Rodríguez
Dra. Martha Guerrero-Olazarán
Biotecnología

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

Dr. Reyes S. Tamez-Guerra
Dr. Iram P. Rodríguez-Sánchez
Salud

Jorge Ortega Villegas
Diseñador Gráfico

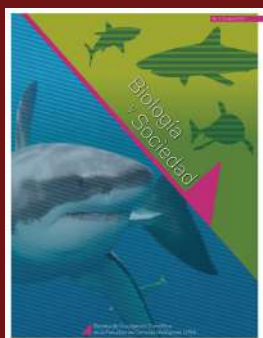
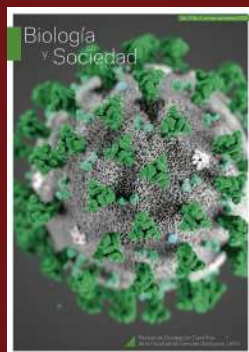
M. C. Alejandro Peña Rivera
Desarrollo y Diseño Gráfico, Web

Ing. Jorge Alberto Ibarra Rodríguez
Página web

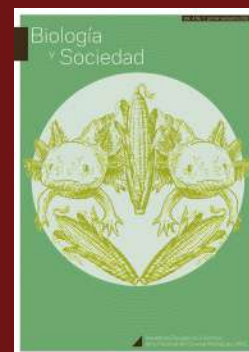
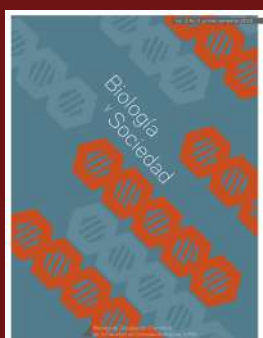
BIOLOGÍA Y SOCIEDAD, año 5, No. 10, segundo semestre de 2022, es una Publicación semestral editada por el Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León, www.uanl.mx, biologiaysociedad@uanl.mx Editor responsable: Dr. Jesús Ángel de León González. Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-060914413700-203, Ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: y fecha: Dr. Jesús Ángel de León González, de fecha 18 de septiembre de 2018. ISSN en trámite. 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

MONKEYPOX: VIRUELA DEL SIMIO	4
ANÁLISIS DE LA PERSPECTIVA DE LOS VENEDORES AMBULANTE SOBRE EL POSIBLE CONTAGIO DE COVID-19	10
UNA VISIÓN INSURGENTE AL STATU QUO DE LA INDUSTRIA BIOTECNOLÓGICA Y EL ESTABLECIMIENTO DE BIORREFINERÍAS	15
ACEITES ESENCIALES DE ORIGEN NATURAL: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN Y POTENCIAL APLICACIÓN BIOLÓGICA	20
UN LADO MENOS CONOCIDO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: LA ACIDIFICACIÓN DEL OCEANO. UN GRAN RETO PARA LA HUMANIDAD.	31
THE AMPHIBIANS AND REPTILES OF THE LOS CHIMALAPAS REGION, ISTHMUS OF TEHUANTEPEC, OAXACA, MEXICO: COMPOSITION, DISTRIBUTIONAL CATEGORIZATION, CONSERVATION STATUS, AND BIODIVERSITY SIGNIFICANCE	37



A cinco años del nacimiento de *Biología y Sociedad*, esto en abril del 2017, el compromiso del equipo editorial de esta revista digital de divulgación científica ha sido promover la apropiación social del conocimiento. Respetando este compromiso, en este décimo número de *Biología y Sociedad*, en primera instancia se divulga a la sociedad, sobre bases científicas, pero en un lenguaje accesible, un tema por demás actual e importante, la Viruela del Simio, con una narrativa entretenida pero llena de información, los autores nos hablan de la historia de esta enfermedad, que la produce, patogénesis y modos de transmisión. Así mismo, en este número se describe como ha impactado desde el punto de vista de salud y economía, la pandemia de COVID-19 a los vendedores ambulantes y trabajadores formales. En otra de las contribuciones, los autores nos hablan sobre biorrefinerías y como deberían ser promovidas para el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales y la protección de ecosistemas nativos. En el mismo contexto de apropiación social del conocimiento, en otra de las contribuciones se detallan las características químicas, técnicas de extracción y la posible aplicación de aceites esenciales de origen natural con propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas. En otra contribución, la autora nos habla sobre la acidificación del océano y algunas técnicas utilizadas para evaluar efectos del proceso de calcificación en organismos marinos. Por último, presentamos un artículo sobre anfibios y reptiles de la región de Los Chimalapas en el Istmo de Tehuantepec, en este, los autores externan la urgencia por documentar la ocurrencia y distribución de las especies y sus amenazas con la finalidad de asegurar su sobrevivencia. El trabajo desarrollado a través de estos primeros 5 años no sería posible sin el compromiso, esfuerzo y trabajo del comité editorial, del grupo de árbitros anónimos y de los autores de las contribuciones. Muchas gracias a todas y todos por el tiempo y esfuerzo dedicado a *Biología y Sociedad*, así como a la promoción de la apropiación del conocimiento.



DR. JESÚS ÁNGEL DE LEÓN-GONZÁLEZ
Editor en Jefe

VIRUELA DEL SIMIO

MONKEYPOX

/// JUAN FRANCISCO CONTRERAS CORDERO Y CLAUDIA BERNARDETTE PLATA HIPÓLITO

INTRODUCCIÓN

La viruela del simio es una enfermedad causada por un poxvirus (Figura 1) del mismo grupo que la viruela de la vaca, la viruela humana (erradicada) y el virus *Vaccinia*, este último utilizado para la producción de la vacuna contra la viruela (WHO, 2022^a). La viruela del simio, la viruela de la vaca y la viruela humana son tres síndromes distintos que comparten ciertas características. En la población humana, todas ellas pueden producir erupciones cutáneas acompañadas de fiebre y malestar general, no obstante, la severidad de la enfermedad es distinta, siendo la más grave la ya erradicada viruela humana, seguida de la viruela del simio y la viruela de la vaca. La viruela humana era responsable de la muerte de cerca del 30% de las personas enfermas (WHO, 2022^b), la viruela del simio presenta una mortalidad 1-6% dependiendo el linaje viral (Bunge et al., 2022; CDC, 2022^a) y la viruela de la vaca no registra letalidad entre las personas infectadas (Sadanand, 2020). La importancia de los tres virus que causan estas enfermedades es que comparten características antigénicas que han sido utilizadas para prevenir la gravedad de la enfermedad en el humano, por ejemplo, el poxvirus de la vaca se utilizó para prevenir la viruela humana, mientras que la vacuna de la viruela se ha utilizado para prevenir la viruela del simio (Moss, 2011).

El nombre de viruela del simio hace referencia a una afección a los monos, pero, en realidad este virus circula de manera natural en mamíferos como ratas de campo, ardillas y otros roedores (Doty et al., 2017). El simio y por supuesto la población humana son hospederos accidentales, los primeros compartiendo nichos ecológicos con los reservorios animales, y los humanos por invadir esos nichos (McFadden G, 2005). Aunque los factores de riesgo para contraer la viruela del simio han sido poco estudiados, se considera que cerca del 10% de los casos son contraídos por un contacto estrecho con reservorios animales (Ogoina et al., 2017).

La viruela del simio es considerada como una enfermedad esporádica y en los pocos brotes epidémicos que han ocurrido se ha observado la diseminación limitada entre la población humana. El requerimiento de un contacto estrecho con los fluidos de los pacientes ha sido un factor que ha limitado considerablemente la diseminación del virus. El contacto con las lesiones en la piel, través de la saliva o secreciones respiratorias, son las rutas que se consideran las más importantes en la transmisión de este virus (CDC, 2002^b). Sin embargo, en los últimos años este virus ha acaparado la atención global por la aparición de casos humanos en múltiples países no solo de África sino también de Europa, América, Asia y Oceanía (Otu et al., 2022).



Figura 1. Diagrama del virus de la viruela del simio

HISTORIA DEL VIRUS DEL SIMIO

El virus que causa la enfermedad de la viruela del simio fue descubierto en 1958 en monos cautivos en Dinamarca. La aparición de dos brotes epidémicos consecutivos de una enfermedad eruptiva parecida a una viruela leve en estos monos que habían sido importados de Singapur dio indicios de un síndrome nuevo. Aunque en esa ocasión no hubo mortalidad entre los monos infectados, en 1959 en una colonia de una población cautiva de 2,000 monos de diferentes especies llevadas a Filadelfia en los Estados Unidos, cerca del 10% adquirieron la infección y de ellos cerca del 0.5% murieron lo que constataba el riesgo de muerte en los monos por este virus (Prier, J. E., and R. M. Sauer. 1960, Prier et al. 1960, Sauer et al. 1960).

Posteriores brotes en monos cautivos en diferentes instituciones mostraron que diferentes especies de monos son altamente susceptibles a la infección. Dos aspectos de estos estudios fueron de interés, por un lado, se mostró evidencia serológica sin sintomatología en monos cautivos (McConnell et al. 1962), además, se constató que en monos enfermos la letalidad podía ser más alta que el 0.5% previamente reportado (Gispén et al. 1967). El primer caso humano se registró en un niño de nueve meses de edad en la República Democrática del Congo en 1970 y posteriormente fue detectado en otros 10 países principalmente de la región de África Central y el occidente de África. Los países endémicos a la infección eran Benin, Camerún, República Centroafricana, la República Democrática del Congo, Gabón, Ghana, Costa de Marfil, Liberia, Nigeria, la República del Congo y Sierra Leona (Figura 2).

Pronto, el virus fue considerado endémico en esas regiones de África y fuera de este territorio, el primer caso reportado fue en el 2003 en el estado de Wisconsin, USA donde una niña de tres años fue infectada a través de su mascota, un perrito de la pradera el cual fue comprado de un sitio de venta de animales exóticos donde este perrito de la pradera compartió espacio con roedores importados de Ghana. Dos semanas después, la madre de la niña desarrolló una enfermedad eruptiva similar confirmándose la infección con el virus de la viruela del simio (Reed et al. 2004) (Figura 3). En total, 47 casos fueron confirmados en este brote epidémico principalmente entre personas que tuvieron contacto con mascotas infectadas incluyendo niños, vendedores de mascotas exóticas, cuidadores etc. En este brote, no se reportaron decesos. Posteriormente, en un proceso lento, que incluyó los primeros casos detectados en el 2003, el virus se expandió a diferentes países.

Para el 2021, además de los Estados Unidos, el virus se diseminó al Reino Unido, Israel y Singapur. Para este año se contabilizaron dos casos adicionales a los reportados en el 2003 en los Estados Unidos de América, cinco casos en el Reino Unido y un caso en Israel y Singapur para un total de 58 casos desde el 2003 hasta el 2021. Para el 9 de junio de 2022 se registraron 1356 casos con presencia en 31 países y para este 28 de junio del 2022 la cifra de casos confirmados subió a 4,378 en 49 países lo que equivale a un aumento de 3 veces más en 19 días (Figura 4). Lo que implica una infección progresiva entre la población humana.



Figura 2. Países endémicos de África que reportaron casos positivos a la viruela del mono antes del 2003. Mapa elaborado en <https://www.mapchart.net/>.

EL VIRUS

La viruela del mono es causada por un poxvirus denominado *monkeypox*. De acuerdo con el Comité Internacional de Taxonomía Viral (<https://talk.ictvonline.org/>), el virus pertenece a la familia *Poxviridae*, subfamilia *Chordopoxvirinae*, género *Orthopoxvirus*, and especie *Monkeypox virus*. Estos virus son relativamente grandes ya que pueden medir hasta cerca de 200 nm de ancho por 250 nm de largo, por lo que es de dos a dos y media veces más grande que el coronavirus SARS-CoV-2. Al igual que todos los poxvirus, el virus del simio tiene forma de ladrillo con una estructura compleja. Son virus cuyo genoma es DNA lineal de doble cadena con la información necesaria para codificar las proteínas que requiere para su replicación. A diferencia de la mayoría de los virus de DNA que se replican en el núcleo de la célula, estos virus llevan todo el proceso de replicación en el citoplasma. El virus se puede liberar de la célula infectada a través de lisis celular o a través de un proceso de exocitosis (Moss, 2013).

Genéticamente, se han identificado dos cladas del virus del simio; la denominada clada de África Occidental y la clada de la cuenca del Congo o África Central. De las dos cladas, esta última ha mostrado mayor letalidad (Bunge et al., 2022).

Epizootia y zoonosis de la viruela del mono

El aislamiento inicial del virus del mono en diferentes especies de simios fue la base para llamar de esta forma al nuevo virus descubierto. Sin embargo, en un brote de esta enfermedad ocurrida en 1964 en el zoológico de Rotterdam, Holanda mostró que las especies animales susceptibles de infección podría ser más amplia (Peters, 1966). Posteriormente, el descubrimiento de la infección en humanos que habitan en pequeñas villas dentro de la selva tropical de África, así como la aparición de

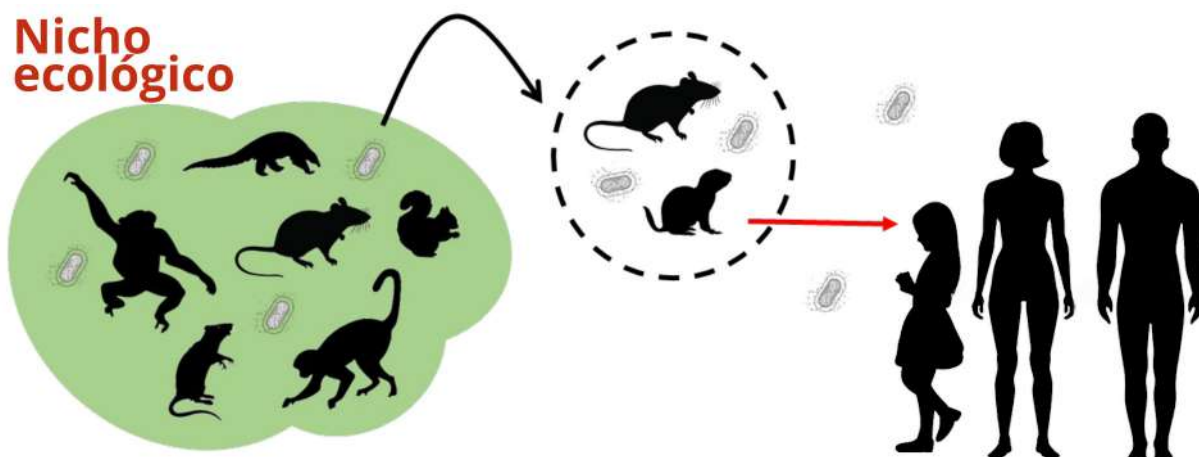


Figura 3. Transmisión del virus de la viruela del mono a la población humana. El virus prevalece en los animales silvestres, al salir de su hábitat pueden transmitir al virus a los animales domésticos que se convierten en mediadores de la zoonosis a la población humana.



Figura 4. Distribución actual del virus de la viruela del simio al 28 de junio del 2022. (Mapa elaborado en <https://www.mapchart.net/> utilizando información de Global Health: Tracking the 2022 monkeypox outbreak with epidemiological data in real-time <https://map.monkeypox.global.health/country>).

casos esporádicos dio indicios de que otros animales, diferentes a los monos podrían actuar como reservorios naturales. Para determinar lo anterior, se analizaron especímenes de diferentes mamíferos incluyendo monos, roedores y otros mamíferos como pangolines, puercoespín, antílopes entre otros. Si bien no fue posible demostrar la presencia del virus en los especímenes probados, si fue posible encontrar evidencia serológica de infección (Khodakevich et al. 1986). No obstante, hoy existe suficiente evidencia de que una gran cantidad de especies animales son susceptibles de infección. Aunque se ha demostrado que los roedores juegan un rol importante en la transmisión del virus, especies tan distintas como elefantes y antílopes entre otros han mostrado ser susceptibles de la enfermedad muchas veces con resultado fatal para los animales infectados. Por lo anterior, aun y cuando existe gran variedad de infecciones en animales silvestres, el reservorio natural sigue siendo un misterio para la comunidad científica (Franke et al. 2016; Wissler et al. 2001) (Figura 5).

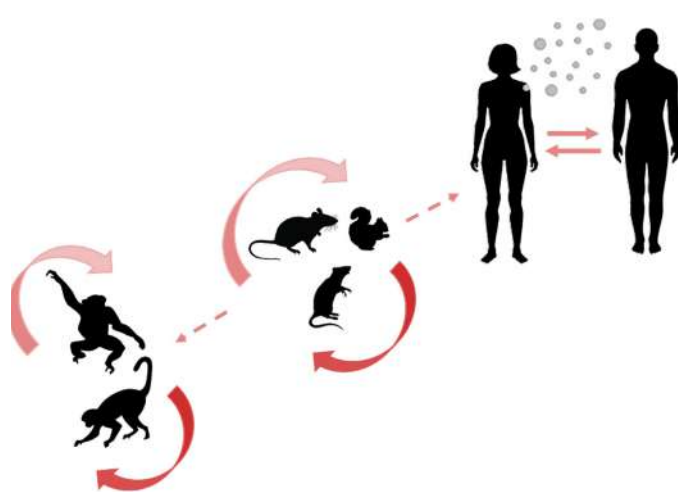


Figura 5. Entre los animales susceptibles a la infección por la viruela del mono se destacan diferentes especies de roedores, cuya ruta de transmisión son los fluidos infectados presentes en las garras y colmillos. Tanto simios como humanos son hospederos accidentales del virus.

PATOGÉNESIS

En la población humana se puede infectar un nuevo individuo al entrar el virus por la orofaringe, nasofaringe, o por contacto directo. El virus establece un foco de infección primaria en las células epiteliales en el sitio de entrada. Posteriormente se disemina a los ganglios linfático para después establecer una viremia que conlleva a la infección de diferentes órganos del individuo. El periodo de incubación dura de una a dos semanas, aunque en pocos casos los síntomas pueden aparecer a las tres semanas. Después de un periodo prodrómico de uno a dos días con fiebre e inflamación de ganglios linfáticos, aparece el exantema característico de esta enfermedad (Moore, M., Zahra, F, 2022). Las lesiones aparecen en primera instancia en la mucosa de la orofaringe seguidas por su aparición en la piel y las extremidades incluyendo las palmas de las manos y las plantas de los pies. Las lesiones son sincrónicas, es decir todas las lesiones del exantema se encuentran en el mismo estadio de mácula, pápula, vesícula, pústula o costra. La persona es infectiva durante todo este proceso. Las lesiones se resuelven en unas tres o cuatro semanas después de lo cual la persona deja de ser infectiva.

TRANSMISIÓN PERSONA – PERSONA

Un aspecto interesante para evitar la propagación del virus es conocer los sitios por los cuales se excreta la partícula viral. En este sentido, el hecho de que el virus se multiplica en la orofaringe implica que este virus se puede transmitir por gotitas con virus que se expelen al toser o hablar. Por otro lado, la viremia que establece el virus implica que puede alcanzar diferentes órganos donde se establece un nuevo foco de infección. Lo anterior implica que el virus puede establecer una viremia secundaria y presentarse en diferentes fluidos del cuerpo por lo que el contacto de una piel escoriada con estos fluidos sería un factor en su diseminación por esta ruta (Moore, M., Zahra, F., 2022). Una ruta adicional, es la exposición a las vesículas y pústulas de los enfermos, que son altamente ricas en partículas virales. El contacto directo con las lesiones en la piel puede conducir a la infección de un nuevo individuo, ya que el virus puede ser excretado por diferentes rutas durante el proceso prodrómico o exantemático (Ligon, 2004).

CONCLUSIÓN

La viruela del simio, hasta hoy considerada una enfermedad esporádica presente solo en algunos países de África se ha reportado en diversos países de América, Europa, Asia y Oceanía. Si bien este brote fuera de África se documentó inicialmente en el 2003 en los Estados Unidos con 47 casos, para el 28 de junio del 2022 se reportan 4,378 casos distribuidos en 49 países siendo el Reino Unido, Alemania, España, Portugal y Francia con el mayor número de casos (WHO, 2022). Cabe señalar que este virus circula en una gran cantidad de especies animales principalmente roedores del África Central y África del Occidente, y aunque se ha encontrado evidencia de infección en estos animales, no se ha podido descubrir el reservorio natural debido a que estas especies también sufren de la enfermedad. Por otro lado, la transmisión del virus a perritos de la pradera por roedores importados de Ghana muestra la susceptibilidad de infección de los mamíferos fuera del territorio africano. Por tal motivo, la invasión de los nichos ecológicos, así como la facilidad de traslado de personas y animales a diferentes regiones de nuestro planeta, ha sido y seguirá siendo un importante factor para la distribución del virus a los diferentes países del mundo. No obstante, el hecho de que en este momento la transmisión del virus está limitada a un contacto estrecho con personas infectadas, nos brinda la oportunidad de convertirnos en la primera línea de defensa contra el virus y no dar oportunidad para que tenga una mejor adaptación a la población humana y mejore su eficiencia de transmisión de persona a persona.





LITERATURA CITADA

- Bunge, A.M., Hoet, B., Chen, L., Lienert, F., Weidenthaler, H., Baer, L. R., Steffen, R. 2022. The changing epidemiology of human monkeypox – A potential threat? A systematic review. *PLOS*. 10.1371/journal.pntd.0010141.
- aCenters for Disease Control and Prevention - History of Smallpox. Last reviewed: February 20, 2021. (<https://www.cdc.gov/smallpox/history/history.html>)
- bCenters for Disease Control and Prevention – Monkeypox/Trasmission. May 2022. <https://www.cdc.gov/poxvirus/monkeypox/transmission.html>
- Doty J.B., Malekani J.M., Kalemba L.N., Stanley W.T., Monroe B.P., Nakazawa Y.U., Id M.R.M., Bakambana L., Liyandja T., Liyandja D. 2017. Assessing Monkeypox Virus Prevalence in Small Mammals at the Human—Animal Interface in the Democratic Republic of the Congo. *Viruses*. 9:1–13. 10.3390/v9100283.
- Franke A., Kershaw O., Jenckel M., König L., Beer M., Hoffmann B., Hoffmann D. 2016. Fatal cowpox virus infection in an aborted foal. *Vector-Borne Zoonotic Dis*. 16:431–433. 10.1089/vbz.2015.1932.
- Gispen, R., J. D. Verlinde, and P. Zwart. 1967. Histopathological and virological studies on monkeypox. *Arch. Virusforsch*. 21:205–216.
- Kraemer, M. U., Tegally, H., Pigott, D.M., Dasgupta, A., Sheldon, J., Wilkinson, E. 2022. Global Health: Tracking the 2022 monkeypox outbreak with epidemiological data in real-time. *The lancet. Infectious Diseases*. 10.1016/S1473-3099(22)00359-0. (<https://map.monkeypox.global.health/country>)
- International Committee on Taxonomy of Viruses ICTV. (Internet): <https://talk.ictvonline.org/>
- Khodakevich L., Ježek Z., Kinzanzka K. 1986. Isolation of monkeypox virus from wild squirrel infected in nature. *Lancet*. 1986:98–99. 10.1016/S0140-6736(86)90748-8.
- Ligon, B. L. 2004. Monkeypox: a review of the history and emergence in the Western hemisphere. *Seminars in pediatric infectious diseases*. 15(4): 280–287. 10.1053/j.spid.2004.09.001
- MapChart. <https://www.mapchart.net/>
- McConnell, S. J., Y. F. Herman, D. E. Mattson, and L. Erickson. 1962. Monkeypox disease in irradiated cynomolgus monkeys. *Nature* 195:1128–1129.
- McFadden G. 2005. Poxvirus tropism. *Nat Rev Microbiol*. 3(3):201–13. 10.1038/nrmicro1099.
- Moore, M., Zahra, F. 2022. Monkeypox. In: *StatPearls* (Internet). Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Moss, B. 2013. Poxvirus DNA replication. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 5(9): a010199. 10.1101/cshperspect.a010199
- Moss, B. 2011. Smallpox vaccines: targets of protective immunity. *Immunol Rev*. 239(1):8–26. 10.1111/j.1600-065X.2010.00975.x.
- Ogoina, D., Izibewule, J.H., Ogunleye, A., Ederiane, E., Anebonam, U. 2019. The 2017 human monkeypox outbreak in Nigeria. Report of outbreak experience and response in the Niger Delta University Teaching Hospital, Bayelsa State, Nigeria. *PLoS ONE*. 14(4):e0214229.
- Otu, A., Ebenso, B., Walley, J., Mercader Barceló, J., Ochu, C. 2022. Global human monkeypox outbreak: atypical presentation demanding urgent public health action. *The Lancet*. 10.1016/S2666-5247(22)00153-7.
- Peters, J. C., 1966. A monkeypox-enzooty in the Blijdorp zoo. *Tzjdschr.Diergeneesk*, 91:387–391.
- Prier, J. E., and R. M. Sauer. 1960. A pox disease of monkeys. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 85:951–959.
- Prier, J. E., R. M. Sauer, R. G. Malsberger, and J. M. Sillaman. 1960. Studies on a pox disease of monkeys. II. Isolation of the etiologic agent. *American Journal of Veterinary Research*. 21:381–384.
- Reed KD, Melski JW, Graham MB, et al: The detection of monkeypox in humans in the Western Hemisphere. *New England Journal of Medicine (NEJM)* 350:342– 350.
- Sadanand, S. 2020. Putting smallpox out to pasture. *Nature portafolio. Milestones*. Acceso: <https://www.nature.com/articles/d42859-020-00007-6>
- Sauer, R. M., J. E. Prier, R. S. Buchanan, A. A. Creamer, and H. C. Fegley. 1960. Studies on a pox disease of monkeys. I. Pathology. *American Journal of Veterinary Research*. 21:377–380.
- Wisser J., Pilaski J., Strauss G., Meyer H., Burck G., Truyen U., Rudolph M., Frölich K. Cowpox virus infection causing stillbirth in an Asian elephant (*Elphas maximus*) *Veterinary Record*. 149:244–246. 10.1136/vr.149.8.244.
- aWorld Health Organization – Monkeypox, 2022 (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/monkeypox>)
- bWorld Health Organization – Smallpox, 2022. (<https://www.who.int/teams/health-product-and-policy-standards/standards-and-specifications/vaccine-standardization/smallpox>)

ANÁLISIS

DE LA PERSPECTIVA DE LOS VENDEDORES AMBULANTE SOBRE EL POSIBLE CONTAGIO DE COVID-19



IVAN DELGADO-ENCISO^{1,2}, JESSICA C. ROMERO-MICHEL³,
JOSUEL DELGADO-ENCISO⁴, KARMINA SÁNCHEZ-MEZA¹,
THOMAS JOSEPH HODGERS-FERNANDEZ⁵, EVERARDO
GONZÁLEZ-GONZÁLEZ⁶, IRAM P RODRIGUEZ-SANCHEZ⁶,
MARGARITA DE LA LUZ MARTINEZ-FIERRO⁷

RESUMEN

La pandemia de COVID-19 ha impactado grandemente a la salud y economía de todas las sociedades a nivel global. Sin embargo, dentro de una comunidad, no todos sus sectores socioeconómicos se afectaron por igual. Analizaremos como esta pandemia fue percibida y manejada de manera diferente por dos sectores importantes de la población mexicana: vendedores ambulantes y trabajadores formales. En dos estudios científicos se demostró que el 82.6% de los vendedores ambulantes prefirieron exponerse a la enfermedad, en contraste con un 18.4% de los trabajadores formales. Además, los vendedores ambulantes mostraron tener 7 veces menos temor a morir por COVID-19, o tener hasta

16 veces menos preocupación por el incremento de las infecciones de la pandemia. Es importante contemplar este tipo de actitudes que determinan el comportamiento de la gente, que en consecuencia pueden incidir de forma negativa a las estrategias propuestas para el combate a la pandemia. Por ello, posiblemente las recomendaciones realizadas en países desarrollados no necesariamente serían efectivas en países subdesarrollados.

Es por eso que analizar el entorno socioeconómico y las necesidades de cada población es importante para así poder diseñar estrategias específicas ante crisis mundiales, como la pandemia de COVID-19.

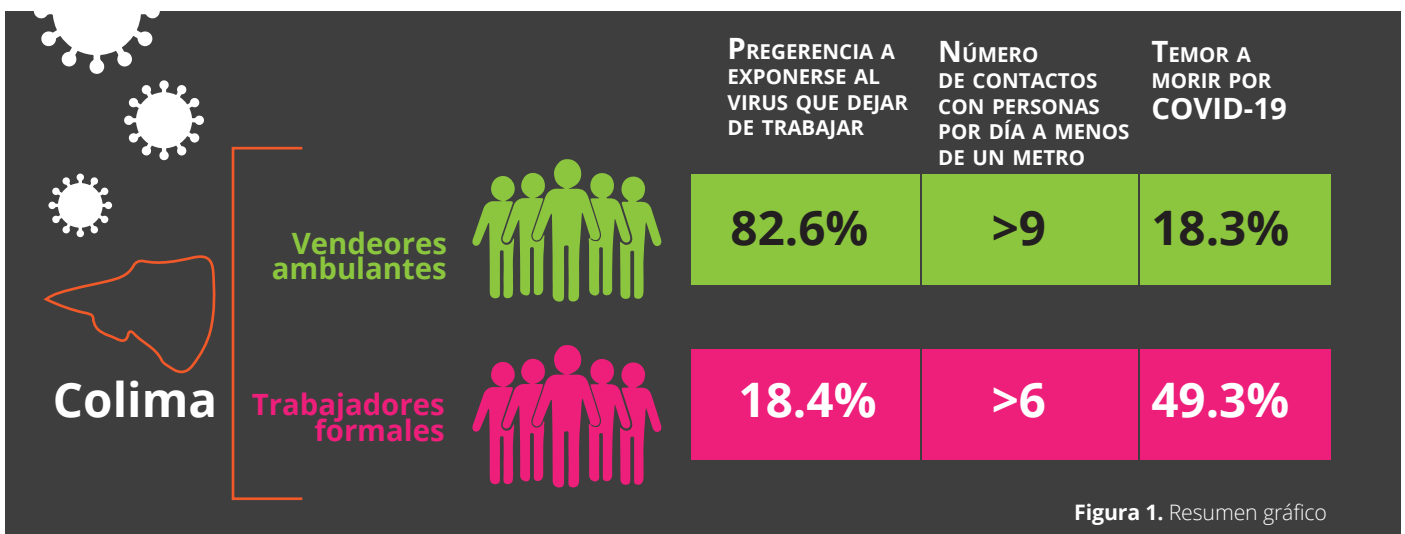
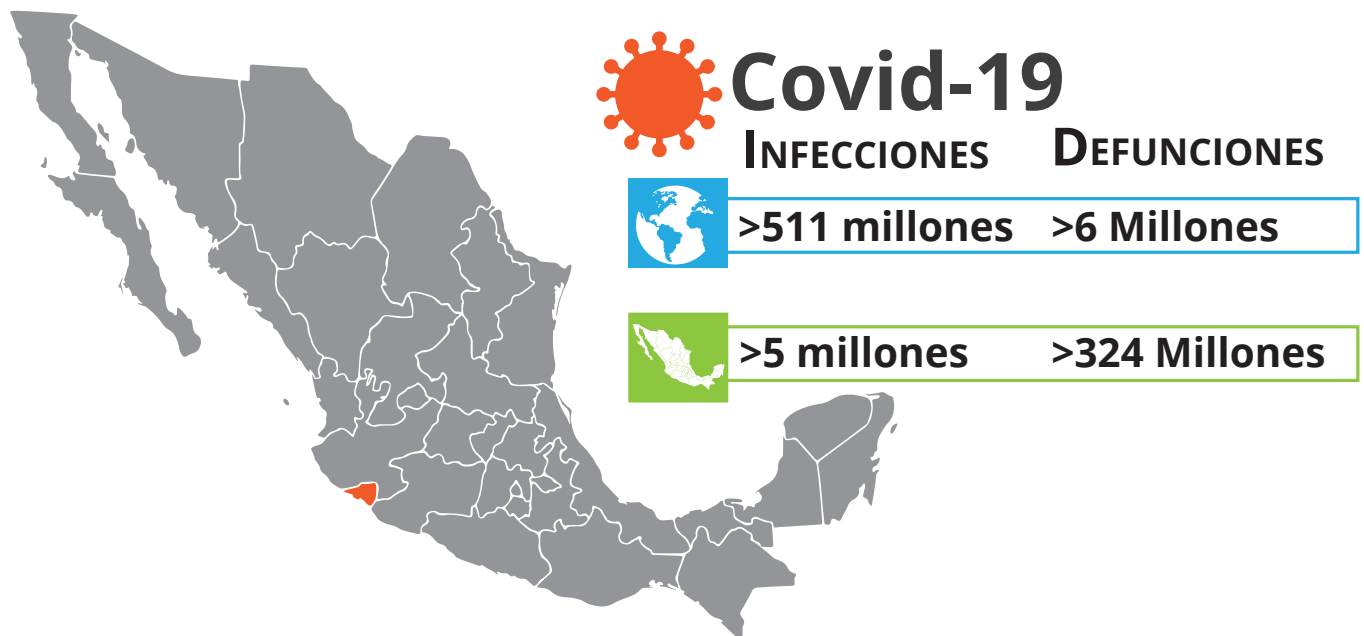


Figura 1. Resumen gráfico

¹Facultad de Medicina, Universidad de Colima, Colima, México

²Instituto estatal de Cancerología, Colima, México

³Facultad de Derecho, Universidad de Colima, Colima, México

⁴Fundación para la ética, Educación e Investigación del Cáncer del IECAC

⁵Alfa Medical Center, Laboratorio de Biología Molecular, Ave. Benito Juárez #314 pte Col. Centro, Guadalupe, Nuevo León CP 67100

⁶Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Nuevo León, México

⁷Molecular Medicine Laboratory, Academic Unit of Human Medicine and Health Sciences, Autonomous University of Zacatecas, Zacatecas, Mexico

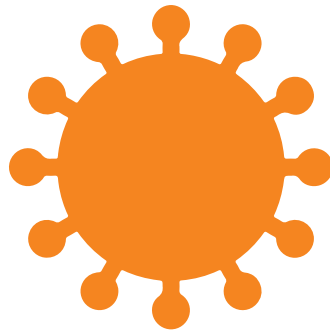
INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 provocada por el virus SARS-CoV-2 ha provocado la crisis de salud y económica de mayor impacto en las últimas décadas a nivel mundial. Las medidas de distanciamiento y confinamiento social implementadas para controlar la pandemia alrededor del mundo han afectado a la población en general, sin embargo, el sector más vulnerable es aquel que depende de salir a la calle y tener contacto directo con las personas. En países emergentes y subdesarrollados la presencia de trabajos informales es muy común. En este tipo de actividad económica el ingreso es variable, dependiente de la economía de otras personas y en consecuencia con una importante inestabilidad y variabilidad. Uno de los principales trabajos informales es la del vendedor ambulante, actividad que se ha aumentado en ciudades de todo el mundo, y que en la actualidad forman parte de la cultura y esencia de las ciudades. Por ejemplo, en la capital de Colombia, Bogotá, se tiene identificado la presencia de vendedores ambulantes en el 27% de los cruces de calles de la ciudad. El conocimiento de la óptica y del actuar de los vendedores ambulantes durante la pandemia, toma relevancia para aprender que medidas pudieran ser las más adecuadas para sectores de la población donde el confinamiento social no es opción por el estatus socioeconómico en el que viven. Con la información recaudada se puede diseñar mejores estrategias acorde al comportamiento de cada población ante problemas mundiales como el COVID-19.

Durante el primer semestre la pandemia (2020) dos estudios científicos analizaron las afectaciones económicas, las actitudes, percepciones y costumbres sanitarias de dos sectores de la población mexicana: vendedores ambulantes y trabajadores formales (Delgado-Enciso J. y cols. 2021; Romero-Michel JC. y cols. 2021). En estos estudios se entrevistaron aleatoriamente 251 personas, dividiéndose en dos grupos: 115 dedicados a la venta ambulante y 136 a un trabajo formal (salario fijo). La población estudiada fue en las ciudades de Colima y Villa de Álvarez (ciudades de tamaño medio del estado de Colima, México), durante un periodo en donde las campañas “quédate en casa” y de aislamiento social eran fuertes, pues no existían las vacunas ni tratamientos efectivos contra la COVID-19.

Los resultados obtenidos a partir de las entrevistas se analizaron con las pruebas científicas y estadísticamente correctas. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Colima, Facultad de Medicina, Colima, México y garantizando el anonimato de los participantes





RESULTADOS

La información generada evidenció que el 82.6% de los vendedores ambulantes prefieren estar expuestos al virus que dejar de trabajar para poder cubrir sus necesidades. En cambio, entre las personas con un trabajo formal, solo el 18.4% consideraron exponerse a la enfermedad para realizar su trabajo. Además, el 68.7% de los vendedores ambulantes respondieron que preferían infectarse de COVID-19 que dejar su trabajo, en contraste los trabajadores formales solamente el 14% respondió de la misma manera.

Los datos analizados en el estudio arrojaron que un vendedor ambulante tiene 7 veces menos miedo a morir por el COVID-19, además de darle 16 veces menos importancia al comportamiento de la pandemia en su comunidad comparado con una persona con un trabajo formal. Este comportamiento del vendedor ambulante probablemente se explica por el hecho de que el 94% apenas tiene ganancias para sobrevivir en el día a día, sin poder ahorrar, teniendo un panorama complicado para mantenerse aislado y sin trabajar. Por lo que solamente el 16.5% de los vendedores ambulantes respondió que se pudieron mantener aislados en casa, teniendo un comportamiento diferente en el caso de los trabajadores formales con el 69.1%. Es decir, el vendedor ambulante tiene menos miedo a infectarse y morir por COVID-19, le presta mucho menos atención al "semáforo" del nivel de contagios en su comunidad y no puede dejar de trabajar, pues ello implicaría dejar de obtener dinero para alimentarse o cubrir sus necesidades diarias, todo lo anterior en comparación con una persona con un trabajo y salario fijo.

En lo que respecta al espacio laboral, los vendedores ambulantes respondieron que el 9.6% tenían acceso a un fregadero o lavamanos, el 33.9% utilizaban desinfectante para manos, el 6.1% hacía uso de guantes, el 30.4% portaban mascarilla y el 7% desinfectaban superficies, comparado con el 77.8%, 76.2%, 23.8%, 46.8% y 60.3% de los trabajadores formales, respectivamente.

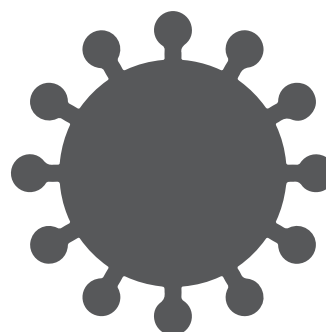
Por último, se les cuestionó con cuántas personas en una jornada laboral están en contacto a una distancia menor a un metro. Respondiendo por parte de los vendedores ambulantes tener contacto con al menos 9 personas, comparados con las 5 personas como máximo que presentan los trabajadores formales. Es importante señalar que los vendedores ambulantes tienen mayor proporción de diabetes, obesidad e hipertensión que los trabajadores fijos, aunado a que no tienen IMSS o ISSSTE u otra prestación médica permanente. Por ello son una población más vulnerable en caso de enfermarse.

ANÁLISIS

El presente trabajo expone la perspectiva y la forma en que viven dos sectores diferentes (vendedores ambulantes y trabajadores formales) de una población de México. La información obtenida detalla que los vendedores ambulantes fueron de los grupos que menos acataron las medidas de contingencia, teniendo un mayor número de contacto con personas a una distancia menor a un metro, siendo un riesgo importante de propagación del virus por la alta movilidad que representan en la ciudad. Asimismo, prefieren (hasta 19 veces más) contagiarse de COVID-19 que perder su trabajo; y tienen hasta 7 veces menos miedo de morir por la enfermedad, en comparación con un trabajador formal. Uno de los factores importantes que impulsaban a los vendedores ambulantes a estas decisiones es debido a que más del 90% requerían conseguir un ingreso para subsistir en el día, no cuentan con un ahorro o apoyo para solventar las necesidades mínimas que tienen.

También se observó que los vendedores ambulantes tienen más comorbilidades asociadas a COVID-19 y la mayoría no cuenta con asistencia médica preestablecida, a pesar de estar desprotegidos en este tema tienen 16 veces menos preocupación por el incremento de casos de contagios de COVID-19 comparado con los trabajadores formales.

La información presentada en este trabajo puede ser trasladada a países que comparten similitudes con la cultura mexicana o un nivel socioeconómico similar al mexicano. Esto es importante para analizar el compartimiento de la población en una pandemia con la finalidad de poder diseñar y ejecutar mejores estrategias de acuerdo con la población y así enfrentar de mejor manera este tipo de problemas mundiales.

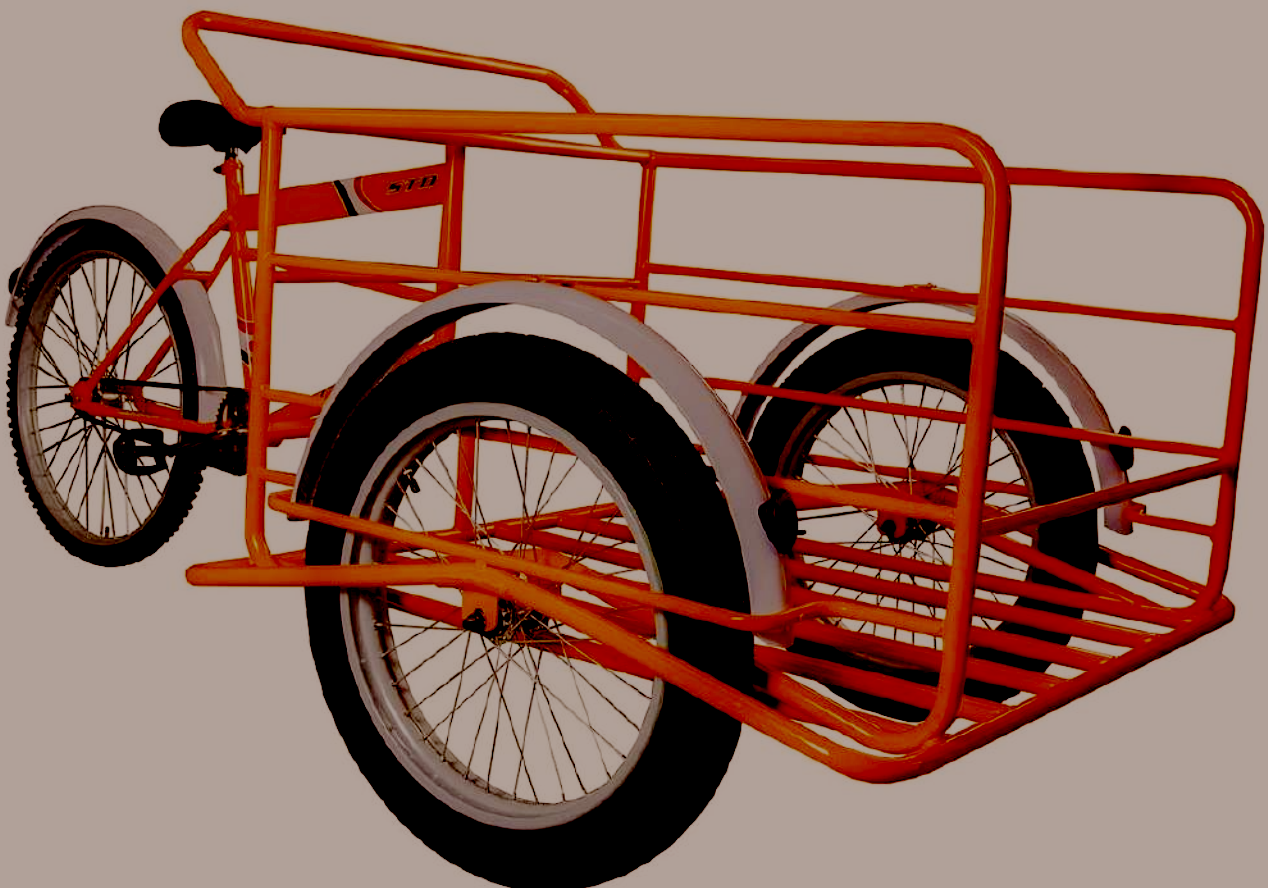




LITERATURA CITADA

Delgado-Enciso, J., Delgado-Machuca, M., Mokay-Ramírez, K. A., Barajas-Saucedo, C. E., Romero-Michel, J. C., Fuentes-Murguía, M., Aurelien-Cabezas, N. S., Tiburcio-Jimenez, D., Toscano-Velazquez, J. A., Meza-Robles, C., Hernandez-Rangel, A. E., Walle-Guillen, M., Delgado-Enciso, O. G., Guzman-Esquivel, J., Rojas-Larios, F., Zaizar-Fregoso, S. A., Martinez-Fierro, M. L., Rodriguez-Sanchez, I. P., Melnikov, V., ... Delgado-Enciso, I. (2021). "I prefer to get coronavirus than to stop working": the street vendor's perspective. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 15(11), 1603–1606. <https://doi.org/10.3855/jidc.13276>

Romero-Michel, J. C., Mokay-Ramírez, K. A., Delgado-Machuca, M., Delgado-Enciso, J., Aurelien-Cabezas, N. S., Tiburcio-Jimenez, D., Meza-Robles, C., Delgado-Enciso, O. G., Guzman-Esquivel, J., Zaizar-Fregoso, S. A., Martinez-Fierro, M. L., Rodriguez-Sanchez, I. P., Melnikov, V., Barajas-Saucedo, C. E., Lara-Esqueda, A., & Delgado-Enciso, I. (2021). Health and economic measures in response to the COVID-19 pandemic- Effect on street vendors. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 15(02), 198–203. <https://doi.org/10.3855/jidc.13465>





UNA VISIÓN INSURGENTE
AL *STATU QUO*
DE LA INDUSTRIA
BIOTECNOLÓGICA Y EL
ESTABLECIMIENTO DE
BIORREFINERÍAS

RAUL E. MARTÍNEZ-HERRERA^{A*} Y MARÍA E. ALEMÁN-HUERTA^B

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

^b Universidad 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.

*Autor para correspondencia: raul.
martinezhrr@tec.mx

RESUMEN

El concepto de biorrefinería fue creado con la intención de promover el uso sustentable de los recursos naturales para su conversión en productos biotecnológicos con valor comercial. Sin embargo, la problemática mundial de contaminación ambiental y la falta de acceso a productos de origen biotecnológico tales como vacunas, medicamentos e inclusive alimentos en poblaciones vulnerables, ponen de manifiesto la insuficiente visión de beneficio social, justicia y equidad por parte de dicho gremio industrial. Bajo este contexto, es necesario desafiar el estado actual promoviendo una insurgencia multidisciplinaria que vea prioritariamente por el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales y la protección de los ecosistemas nativos. Es por ello, que el presente escrito enfatiza una serie de puntos críticos que deben ser abordados antes de la instalación de cualquier biorrefinería, teniendo como base un clúster académico, gubernamental y empresarial que opere de manera íntegra.

ABSTRACT

The biorefinery concept was created with the intention to promote the sustainable use of natural resources and their conversion into biotechnological products with commercial value. However, the problem of environmental pollution and the low access to products of biotechnological origin such as vaccines, medicines and even food in vulnerable populations, show that the vision of social benefit, justice and equity has not been enough. For this, it is necessary to challenge the current state by promoting a multidisciplinary insurgency that primarily sees the socio-economic development of the several rural communities and the protection of native ecosystems. For this reason, this paper emphasizes a series of critical points that must be addressed before the installation of any biorefinery, based on an academic, governmental, and business cluster that operates in an integral way.



Palabras clave: bioeconomía; biosocialidad; insurgencia biotecnológica; Marxismo

Keywords: bioeconomy; biosociality; biotechnological insurgency; Marxism

INTRODUCCIÓN

Quizás en cualquiera de tus clases de biotecnología hallas escuchado el término “biorrefinería”, el cual define a una planta industrial que transforma la biomasa en productos biotecnológicos de valor comercial; tales como los biocombustibles, biomateriales, bioenergéticos, extractos farmacéuticos y de grado nutricional, entre otros productos útiles para la vida humana (Leong *et al.* 2021; Morales Zamora *et al.* 2021). Este concepto nace en la década de los 90 cuando la población comenzó a reflexionar sobre el cuidado de los recursos naturales, la emancipación de los energéticos derivados de fuentes no renovables y la creciente contaminación ambiental, que hasta el día de hoy es un tema complicado (Kumar *et al.* 2020; Sacramento-Rivero *et al.* 2010). Actualmente, se apuesta por las biorrefinerías debido a que son consideradas como una alternativa ante los estragos socioeconómicos que ha traído la pandemia del COVID-19 (Galanakis *et al.* 2022; Martínez *et al.* 2021; González, 2020). No obstante, es necesario observar la justicia social y los marcos legislativos que promueven la preservación de los conocimientos ancestrales y el cuidado de los recursos naturales para la correcta instalación de estas industrias biotecnológicas.

Ahora, ¿qué pasaría si te dijera que en realidad el desarrollo de diversos productos biotecnológicos nunca ha sido justo o equitativo? Para esto se puede indagar sobre los diversos casos de biopiratería que ocurren en Latinoamérica; donde México no está exento de sufrir estas prácticas extractivistas (Castillo, 2009; García *et al.* 2004; Soria-López y Fuentes-Páramo, 2016). También, se pueden señalar la geopolítica de las vacunas contra el SARS-CoV-2, principalmente entre Rusia, China y Estados Unidos, cuyo acceso y distribución generaron un problema de equidad (Barría, 2020; Wibama, 2020), el limitado acceso a los alimentos funcionales y a la carne cultivada debido a su alto costo el cual repercute directamente sobre la canasta básica del consumidor (Bhat *et al.* 2019; Schroeder, 2007), incluso los productos y biomateriales comercializados que no cumplen con los marcos regulatorios y estándares de calidad (Bhagwat *et al.* 2020).

Debido a este tipo de situaciones donde se observa una clara búsqueda de un “biopoder” hegemónico por parte de entes privados bajo la bandera del “desarrollo tecnológico” y la “instauración de biorrefinerías para el desarrollo sostenible” es necesario replantear un esquema político, social y económico donde toda la población pueda beneficiarse.

¿CÓMO FUNCIONA UNA BIORREFINERÍA?

De acuerdo con de Armas-Martínez *et al.* (2019) una biorrefinería puede funcionar mediante la obtención de recursos de primera generación (cultivos de soya, maíz, agave, sorgo, etc.), segunda generación (rastrajos de maíz, cáscaras, hojas, residuos forestales, basura, etc.) o tercera generación (biomasa proveniente de algas). La materia prima obtenida puede ser pretratada mediante protocolos físicos, químicos o biológicos con el objetivo de fraccionar su composición química en sustratos más simples como los carbohidratos o aceites. Posteriormente, estos serán tratados mediante procesos de fermentación para la obtención de biocombustibles, biomateriales, fertilizantes y/o extractos farmacéuticos y nutritivos (Figura 1).

En México las biorrefinerías surgen como una posible solución para generar múltiples productos de manera rentable y sustentable a partir de los residuos orgánicos (Molina-Guerrero *et al.* 2020; Baez, 2017). Algunas de las más destacables son proyectos que aún están en crecimiento, tales como: la planta de biodiesel del Grupo Energético ITESM-Nuevo León, el proyecto de bioenergía S. A. del Sistema de Energía Internacional S. A. de C. V. y el sistema de calefacción a partir de biomasa forestal del grupo Energías Renovables del Bierzo S. L (Sacramento-Rivero *et al.* 2010). Además, es imperante

indicar al Biocluster Nuevo León, el cual es una asociación industrial enfocada en impulsar y promover a las industrias relacionadas al sector biotecnológico mediante un modelo de triple hélice, en el cual se vincula la iniciativa privada, pública y académica. De acuerdo con Villasana (2011), esta agrupación tiene como objetivo motivar a los investigadores a generar una interacción con la industria, la cual a futuro pueda generar políticas que impulsen el desarrollo regional y nacional. Sin embargo, aún sigue siendo un reto atender los diversos aspectos tecno-económicos (inversión, sostenibilidad y optimización de procesos), ecológicos (sustentabilidad y reducción de residuos) y sociales (evitar el lavado de dinero, la malversación de fondos y el robo a comunidades ancestrales; preservar la justicia social) que aborda el establecimiento de estas plantas biotecnológicas (Vance *et al.* 2022).

INSURGENCIA BIOTECNOLÓGICA.

En el Marxismo se argumenta que la “biosocialidad” (la fusión entre lo biológico y lo social a través de tendencias tecnológicas ascendentes; en este caso la biotecnología), puede remodelar la articulación de las jerarquías a través de nuevos conceptos políticos, sociales y éticos (Palsson, 2015). Considerando que actualmente los desarrollos científico-tecnológicos parecen estar abonando solo para un sistema de globalización y libre mercado, aunado a la falta del cumplimiento de las leyes de regulación de la explotación ilimitada de los recursos naturales (Fernández Arner y Kohan, 2017; García *et al.* 2004), habrá que despertar hacia una insurgencia biotecnológica con una faceta social cumplida.

La insurgencia biotecnológica y su aplicación en las biorrefinerías mexicanas debe abordar diversos puntos críticos basados en aspectos de economía circular y desarrollo sustentable (Vance *et al.* 2022; Martínez-Herrera *et al.* 2021; Sacramento-Rivero *et al.* (2010): (1) Proponer el diseño de una estrategia nacional para el desarrollo de biorrefinerías desde el aspecto económico, ecológico y social. (2) Vincular a la academia, gobierno e industria en la planeación de los criterios de sostenibilidad. (3) Eliminar la corrupción

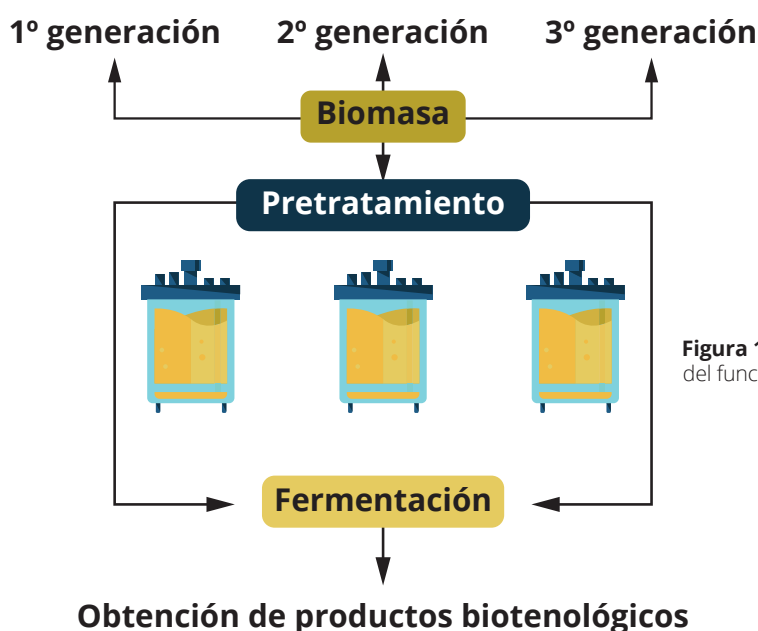


Figura 1. Esquemático del funcionamiento de una biorrefinería.

y castigar la biopiratería mediante el establecimiento de marcos jurídicos regulatorios que beneficien a las comunidades indígenas y/o rurales ante estas prácticas. (4) Eliminar la desinformación mediante campañas de concientización sobre el aprovechamiento de los residuos y subproductos obtenidos a partir de procesos agroindustriales y resaltar que estos deben ser aprovechados como sustratos prioritarios por las biorrefinerías para la generación de productos biotecnológicos de manera económicamente factible, energéticamente rentable y ecológicamente beneficiosa. (5) En caso de que las biorrefinerías aprovechen recursos de primera generación para sus procesos biotecnológicos, se deberá promover el cuidado de estos y la preservación de los conocimientos ancestrales que los rodean. (6) Los beneficios económicos derivados de las biorrefinerías deben dirigirse principalmente al desarrollo comunitario de donde los recursos son extraídos, estableciendo una bioeconomía que promueva el desarrollo sostenible de manera justa y equitativa (Figura 2).

DISCUSIÓN

El siglo XXI y sus problemas económicos, ecológicos y sociales derivados de un capitalismo sin restricciones ha desencadenado la búsqueda de soluciones potenciales en todos los frentes posibles (Huerta González, 2013). En este caso, la biotecnología moderna como una tendencia tecnológica emergente parece ser uno de los caminos que podría replantear y solucionar los diversos

problemas que acontecen a la sociedad (Bellver-Capella, 2012; Cantley, 2004). Sin embargo, cuando los intereses de entes privados y políticos parasitan el desarrollo tecnológico alejan el camino hacia una ciencia con justicia social. Por lo que, la propuesta es abordar la instalación de biorrefinerías dirigidas al procesamiento de biomasa residual (principalmente), la obtención y el comercio de productos biotecnológicos con valor agregado y estimular el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales de nuestro país bajo un esquema que implique una faceta biosocial con una visión social responsable, ética y justa.

De acuerdo con Núñez Jover y Figueroa Alfonso (2014), la ciencia debe abordar un panorama en el que se apueste por proyectos auténticos que defiendan la relación entre los entes públicos, privados y académicos. Por esta razón, la instalación de las biorrefinerías debe verse como proyectos que vinculan multidisciplinariamente la participación de diversos profesionistas, los cuales vean a beneficio de las comunidades más necesitadas. Asimismo, los proyectos que se aborden en este rubro deben enfocarse en ser modelos productivos y sustentables que trabajen bajo un esquema legal claro que incite a inversiones confiables (Sosa-Rodríguez y Vázquez Arenas, 2021). A pesar de que en México ya existen iniciativas que apuestan por la instalación de biorrefinerías, sigue siendo necesario inspirar una visión ética y revolucionaria a las nuevas generaciones de biotecnólogos. Por lo que después de leer esto, ¿crees tener un corazón rebelde que revolucione el *statu quo* de la biotecnología y vea por las necesidades sociales de nuestro país?



Figura 2. Insurgencia biotecnológica y su aplicación en las biorrefinerías.



LITERATURA CITADA

- Baez, C. 2017. Retos y oportunidades de la biorrefinería en México. En: <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/energia/15937-retos-oportunidades-biorrefineria-mexico> (consultado 30/01/2022).
- Barría, C. 2020. Vacuna contra la COVID-19 | “Hay un juego político, económico y estratégico detrás de las vacunas que es una receta para el desastre” En: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-53618082> (consultado 29/01/2022).
- Bhagwat, G., K. Gray, S. P. Wilson, S. Muniyasamy, S. G. T. Vincent, R. Bush, T. Palanisami. 2020. Benchmarking Bioplastics: A Natural Step Towards a Sustainable Future. *Journal of Polymers and the Environment*. 28: 3055–3075.
- Bhat, Z. F., J. D. Morton, S. L. Mason, A. E. A. Bekhit, H. F. Bhat. 2019. Technological, Regulatory, and Ethical Aspects of In Vitro Meat: A Future Slaughter-Free Harvest. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 18(4): 1192–1208.
- Bellver-Capella, V. 2012. Biotecnología 2.0: las nuevas relaciones entre la biotecnología aplicada al ser humano y la sociedad. *Persona y bioética*. 16 (2): 87–107.
- Cantley, M. 2004. How should public policy respond to the challenges of modern biotechnology? *Current Opinion in Biotechnology*. 15(3): 258–263.
- Castillo, R. M. 2009. Biopiratería y pueblos indígenas: crítica y realidad. *Revista Latinoamericana de Derechos Humanos*. 20 (1): 27–38.
- de Armas-Martínez, A. C., M. Morales Zamora, Y. Albornas Carvajal, E. González Suárez. 2019. Proyección de una industria azucarera para transformarse en una biorrefinería a partir de biocombustibles de segunda y tercera generación. *Tecnología Química*. 39 (3): 489–507.
- Fernández Arner, A., A. G. Kohan. 2017. Marxismo y crisis ecológica. *Economía y Desarrollo*. 158 (1): 26–40.
- Galanakis, C. M., G. Brunori, D. Chiaramonti, R. Matthews, C. Panoutsou, U. R. Fritsche. 2022. Bioeconomy and green recovery in a post-COVID-19 era. *Science of The Total Environment*. 808: 152180.
- García, M. T., L. C. Bórquez, S. C. Salinas. 2004. La biopiratería en Chiapas: un análisis sobre los nuevos caminos de la conquista biológica. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 12 (24): 56–89.
- González, F. M. 2020. Resignificar la praxis educativa en tiempos de incertidumbre: un desafío para las organizaciones sociales. *Revista de Ciencias Sociales*. 26: 9–13.
- Huerta González, A. 2013. Los problemas actuales del capitalismo son reflejo de su decadencia. *Economía UNAM*. 10 (30): 93–109.
- Kumar, B., N. Bhardwaj, K. Agrawal, V. Chaturvedi, P. Verma. 2020. Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept. *Fuel Processing Technology*. 199: 106244.
- Leong, H. Y., C. K. Chang, K. S. Khoo, K. W. Chew, S. R. Chia, J. W. Lim, J. S. Chang, P. L. Show. 2021. Waste biorefinery towards a sustainable circular bioeconomy: a solution to global issues. *Biotechnology for Biofuels*, 14 (1): 87.
- Martínez, K. C., M. E. Benitez, A. L. Ibarra, G. O. Castro, N. Ortega-Méndez, E. V. Martínez, A. S. Muñoz. 2021. Propuestas de Tecnologías de Innovación para Ciudades Sustentables: Más allá del COVID-19. *Jóvenes en la Ciencia*, 10.
- Martínez-Herrera, R. E., O. M. Rutiaga-Quiñones, M. E. Alemán-Huerta. 2021. Integration of Agave plants into the polyhydroxybutyrate (PHB) production: A gift of the ancient Aztecs to the current bioworld. *Industrial Crops and Products*. 174: 114188.
- Molina-Guerrero, C.E., A. Sánchez, E. Vázquez-Núñez. 2020. Energy potential of agricultural residues generated in Mexico and their use for butanol and electricity production under a biorefinery configuration. *Environmental Science and Pollution Research*. 27: 28607–28622.
- Morales Zamora, M., A. C. de Armas Martínez, E. González Suárez, N. Ley Chong, G. Villanueva Ramos. 2021. La sinergia entre las biorrefinerías de azúcar y el desarrollo de la industria química en Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*. 13 (5): 81–91.
- Núñez Jover, J., G. Figueroa Alfonso. 2014. Biotecnología y sociedad en Cuba: el caso del Centro de Inmunología Molecular. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*. 6(10).
- Palsson, G. 2015. Relaciones Biosociales de producción. *Nómadas*. (42): 89–109.
- Sacramento-Rivero, J. C., G. Romero, E. Cortés-Rodríguez, E. Pech, S. Blanco-Rosete. 2010. Diagnóstico del desarrollo de biorrefinerías en México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 9 (3): 261–283.
- Schroeder, D. 2007. Public Health, Ethics, and Functional Foods. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 20(3): 247–259.
- Soria-López, M., I. Fuentes-Páramo. 2016. The identification of biopiracy in patents. *World Patent Information*. 47: 67–74.
- Sosa-Rodríguez, F. S., J. Vazquez-Arenas. 2021. The biodiesel market in Mexico: Challenges and perspectives to overcome in Latin-American countries. *Energy Conversion and Management*: X. 12: 100149.
- Vance, C., J. Sweeney, F. Murphey. 2022. Space, time, and sustainability: The status and future of life cycle assessment frameworks for novel biorefinery systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 159: 112259.
- Villasana, M. 2011. Fostering university–industry interactions under a triple helix model: the case of Nuevo Leon, Mexico. *Science and Public Policy*. 38(1): 43–53.
- Wibawa, T. 2020. COVID-19 vaccine research and development: ethical issues. *Tropical Medicine & International Health*. 26(1): 14–19.

ACEITES ESENCIALES DE ORIGEN NATURAL:

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN

POTENCIAL APLICACIÓN BIOLÓGICA

/// BÁRBARA J. GONZÁLEZ-MORENO¹, ANDRÉS M. PIÑA BARRERA², LUIS A. PÉREZ LÓPEZ¹, SERGIO A. GALINDO-RODRÍGUEZ³, ROCÍO ÁLVAREZ-ROMAN¹.



RESUMEN

Los aceites esenciales son una mezcla compleja de más de 100 componentes, cuya función es crucial en la supervivencia de las plantas, ya que, por un lado, atraen a determinados insectos que participan en su polinización y, por el otro lado, debido a su olor, ahuyentan a otros animales depredadores. Gracias a su variedad química, se les han atribuido un gran número de actividades biológicas que han sido aprovechadas en la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica. El presente trabajo aborda los aceites esenciales como productos naturales bioactivos, las técnicas más comunes para su extracción y sus principales aplicaciones en el área biológica.

INTRODUCCIÓN

¿QUÉ SON LOS ACEITES ESENCIALES Y CÓMO HA SIDO SU USO EN LA HISTORIA DEL HOMBRE?

Los aceites esenciales (AE's) son líquidos aceitosos que presentan un aroma característico que es percibido fácilmente por el sentido del olfato. Estos son producidos en pequeñas cantidades, en determinadas partes de las plantas, tales como flores, tallos, raíces, hojas, frutos y semillas (Figura 1) (Reyes-Jurado *et al.*, 2016; Argote-Vega *et al.*, 2017). Adicionalmente, la FDA (Food & Drug Administration, agencia de los Estados Unidos de América) considera a los AE's, como sustancias del tipo Generalmente Reconocido Como Seguro (GRAS, por sus siglas en inglés: *Generally Recognized As Safe*) que pueden ser adicionado a productos cosméticos, farmacéuticos y alimentarios (Farrar y Farrar, 2020).



Palabras clave: aceite esencial, extracción, actividad biológica, antimicrobiano, antioxidante.

¹ Depto. de Química Analítica, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, CP 64460, Monterrey, Nuevo León, México.

² Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Montemorelos, CP 67515, Montemorelos, Nuevo León, México.

³ Laboratorio de Nanotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, CP 66451, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.



Figura 1. Aceites esenciales obtenidos de diferentes plantas como: (A) *Lavandula dentata*; (B) *Thymus vulgaris*; (C) *Oreganum vulgare*; (D) *Laurus nobilis*. (Adaptado del sitio electrónico de Botanicals: <https://www.botanicals.es/6-aceites>)

Los AE's han sido utilizados durante siglos por muchas culturas en todo el mundo para diferentes propósitos, según cada cultura (Watabane *et al.*, 2015). Los antiguos egipcios han utilizado los AE's desde el 4500 a.C. en cosméticos y ungüentos (Figura 2A). Solían hacer una mezcla de diferentes fuentes de preparaciones a base de hierbas como anís, cedro, mirra y uvas en perfumes o medicinas.

Por otro lado, el uso de AE's se registró por primera vez en la medicina tradicional china e india entre el 3000 y el 2000 a.C. En particular, en la historia registrada sobre China e India, se enumeró más de 700 sustancias, entre las que se incluyen canela, jengibre, mirra y sándalo (Figura 2B). Además, la historia griega documentó el uso de diferentes AE's por primera vez entre el 500 y el 400 a.C., incluidos el tomillo, el azafrán, la mejorana, el comino y la menta (Figura 2C) (Baser y Buchbauer, 2010; Pauli y Schilche, 2009). En los siglos XVIII y XIX, los químicos documentaron los componentes activos de las plantas medicinales e identificaron muchas sustancias que desempeñaban un papel importante en sus efectos biológicos (Ali *et al.*, 2015).



PRODUCCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES EN LAS PLANTAS

Los AE's constituyen la clase más grande de metabolitos secundarios o especializados de las plantas. Desempeñan papeles ecológicos cruciales como atrayentes polinizadores, ya que atraen a determinados insectos que ayudan a la fertilización de las plantas con su desplazamiento de una flor a otra. También, los AE's son agentes defensivos, con su olor, ayudan a protegerse de los depredadores, al disuadir la aproximación de insectos y otros animales (Requejo, 2020), así mismo, los AE's tienen importantes funciones fisiológicas como hormonas vegetales y pigmentos fotosintéticos (Tetali, 2018). Además, los AE's suelen ser producidos y liberados por algunas plantas, para actuar como agentes antifúngicos y antibacterianos contra una amplia gama de organismos que pueden poner en peligro su supervivencia (Requejo, 2020).

Los AE's son producidos por diversas estructuras diferenciadas que se encuentran en uno o más órganos de la planta y se localizan en el citoplasma de células vegetales tales como: tricomas secretores, células epidérmicas, células secretoras basales y las bolsas o cavidades de almacenamiento (Arumugan *et al.*, 2016) (Figura 3).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES

La composición química de los AE's depende de diferentes factores como la fisiología de la planta, las características climáticas o, incluso, las condiciones del suelo donde crece la planta. Según esto, dentro de una misma especie vegetal, o incluso en sus diferentes órganos, la composición química puede

Figura 2. Uso de los aceites esenciales obtenidos a partir de las plantas por diferentes culturas a través de la historia; (A) cultura egipcia; (B) cultura china e india; (C) cultura griega. (Adaptado del sitio electrónico de la Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla: <https://biblioteca.ucm.es/historica/materia-medicalina> y del Museo Nacional de Historia Natural, Chile: https://publicaciones.mnhn.gob.cl/668/articulos-87521_archivo_01.pdf)

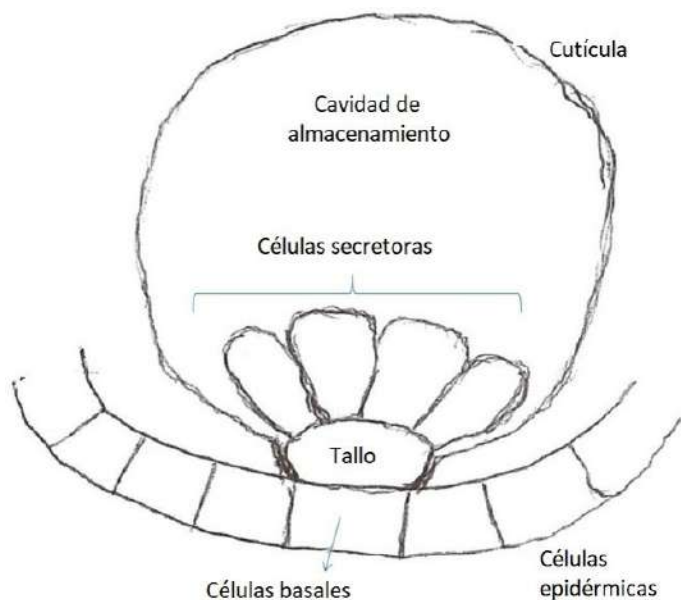


Figura 3. Representación esquemática del tricoma secretor encontrado en plantas productoras de aceites esenciales. (Adaptado de *Frontiers Plant Science*, 19 Jul 2021; <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699157>).

variar, además también puede verse influenciada por la salud de la planta o el momento de la cosecha. También se ha observado que, los componentes que presentan una relación estructural dentro del mismo grupo químico, suelen convertirse sin dificultad entre sí mediante procesos químicos específicos (Alonso-Gato *et al.*, 2021).

Los AE's son una mezcla compleja de más de 100 componentes, producto del metabolismo secundario de las plantas, cuya composición se encuentran los terpenos y terpenoides. Estos componentes, a su vez contienen diferentes grupos de hidrocarburos, ácidos, alcoholes, aldehídos, ésteres, éteres y cetonas que les confieren características físicas específicas (Zhang y Lu, 2017).

Así, los terpenos representan el grupo más diverso de compuestos volátiles, los cuales se clasifican de acuerdo con el número de carbonos en su cadena, incluidos hemiterpenos (C5), monoterpenos (C10) (Figura 4), sesquiterpenos (C15), homoterpenos (C11 y C16), algunos diterpenos (C20) y triterpenos (C30), también están los compuestos de azufre orgánicos volátiles como el dimetilsulfuro y el metanotiol (Vivaldo *et al.*, 2017). Por otro lado, los terpenoides, llamados también isoprenoides, son una amplia familia de compuestos naturales derivados del isopreno (Bergman *et al.*, 2019). Estos compuestos son el resultado de la modificación química (oxidación o reorganización del esqueleto hidrocarbonado) de los terpenos. Aproximadamente el 60% de los productos naturales conocidos son terpenoides (Zhang y Lu, 2017).

Los AE's tienen presente en su composición química diferentes terpenoides, los cuales contienen dos unidades de isopreno (lineales o cíclicas). Un ejemplo de estos, son el mirceno, mentol, limoneno o linalol (Figura 4). Otros componentes importantes de los AE's son los sesquiterpenos (Figura 5), que constan de tres unidades de isopreno (C15) (Leyva-López *et al.*, 2017).

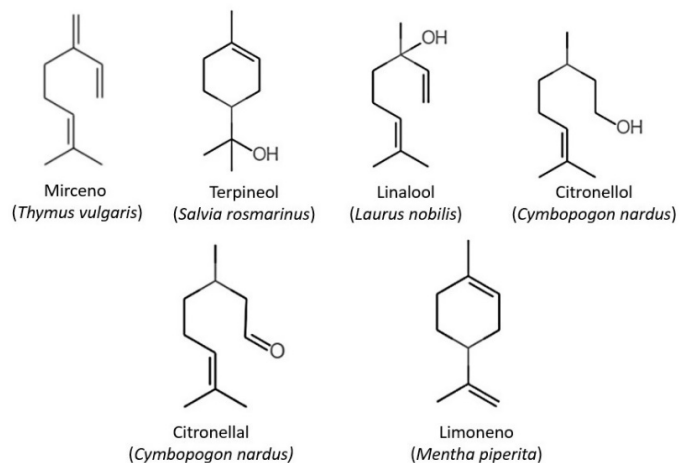


Figura 4. Estructura química de algunos monoterpenos encontrados en las plantas.

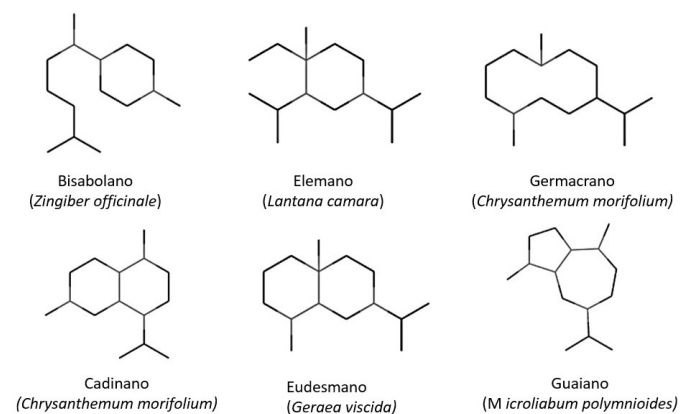


Figura 5. Estructura química de algunos sesquiterpenos encontrados en las plantas.

OBTENCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

Para la obtención de los AE's, se ha empleado diversas técnicas de extracción convencional (Figura 6 A-C) tales como: hidrodestilación, hidrodifusión y extracción con disolventes, así como técnicas modernas (Figura 6 D-F): extracción con fluido supercrítico, con líquido subcrítico y por microondas sin disolventes. Las técnicas modernas se consideran las técnicas de extracción más prometedoras debido al bajo consumo de energía, menor tiempo de extracción, bajo uso de solventes y menor emisión de dióxido de carbono al medio ambiente (Justyna *et al.*, 2017). A continuación, se mencionarán las principales características de cada técnica de extracción:

EXTRACCIÓN CONVENCIONAL:

HIDRODESTILACIÓN

Este método es el más simple y antiguo que se utiliza para la extracción del aceite esencial (AE). En esta técnica, el material vegetal se sumerge directamente en

el agua del interior de un matraz y se lleva a ebullición (Waseem *et al.*, 2015). El dispositivo de extracción incluye una fuente de calentamiento, un condensador y un decantador para recoger el condensado y separar el AE del agua, respectivamente (Jurevičiūtė *et al.*, 2019). A escala industrial, este método todavía se utiliza debido a la simplicidad de las instalaciones (no requiere equipos costosos), facilidad de implementación del método y selectividad (Teixeira *et al.*, 2019).

HIDRODESTILACIÓN DE VAPOR

La extracción se realiza dentro de un matraz con calentamiento, que tiene un sistema de placa perforada o rejilla que mantiene la planta suspendida sobre la base del destilador, el cual contiene agua que evita su contacto directo (Teixeira *et al.*, 2019). La extracción se realiza mediante la inyección de vapores de agua, que atraviesan la materia vegetal de abajo hacia arriba y transportan los materiales volátiles. Con esta técnica, se reduce el tiempo de extracción así como la pérdida de compuestos polares (Gavahian *et al.*, 2020).

EXTRACCIÓN CON DISOLVENTE ORGÁNICO

En esta técnica, el material vegetal se macera en un disolvente orgánico como metanol; después, el extracto se concentra eliminando el disolvente a presión reducida. Esta técnica evita alteraciones y artefactos químicos por extracción en frío frente a la hidrodestilación. Sin embargo, los AE's podrían contener residuos que limitarían su aplicación en alimentos y medicamentos. Esta desventaja, podría evitarse mediante el uso de una tecnología combinada de disolvente orgánico con un punto de ebullición bajo (por ejemplo, n-pentano) y un proceso de destilación al vapor (Ghahramanloo *et al.*, 2017).

EXTRACCIÓN CON TÉCNICAS MODERNAS:

EXTRACCIÓN CON FLUIDO SUPERCRÍTICO

Se ha utilizado la extracción con fluido supercrítico para la extracción de varios AE's. El dióxido de carbono (CO₂) es generalmente el disolvente más utilizado para la extracción del AE, (Mahdi *et al.*, 2014) debido a que es químicamente inerte, su punto crítico se alcanza fácilmente (presión crítica baja: 72.9 atm, y temperatura: 31.2°C) es no tóxico, no inflamable (McHugh *et al.*, 2013), con alta pureza a un costo relativamente bajo y es no agresivo para las moléculas termolábiles del AE y de fácil eliminación de sus trazas (Justyna *et al.*, 2017).

El único obstáculo para el desarrollo de esta técnica es el alto costo de los equipos, sus instalaciones y sus operaciones de mantenimiento. Los AE's obtenidos con esta técnica demostraron ser de calidad superior, con mejores actividades funcionales y biológicas (Capuzzo *et al.*, 2013; Yahya *et al.*, 2018) en comparación con los AE's producidos por hidrodestilación o con disolventes (Lucinewton *et al.*, 2013). Además, algunos estudios mostraron mejores propiedades antibacterianas y antifúngicas para el producto supercrítico (Li *et al.*, 2021; Herrero *et al.*, 2015)

EXTRACCIÓN DE LÍQUIDO SUBCRÍTICO

Algunos trabajos de investigación, ilustraron el uso de agua en su estado subcrítico para la extracción de los AE's. El estado subcrítico se alcanza cuando la presión es más alta que la presión crítica (Pc), pero la temperatura es más baja que la temperatura crítica (Tc), o viceversa (Cheng *et al.*, 2021). En este estado, el agua y el CO₂ son los fluidos más utilizados para la extracción de los AE's. Los fluidos obtenidos tienen propiedades muy interesantes: baja viscosidad, densidad cercana a la de los líquidos y difusividad entre la del gas y los líquidos (Kapalavavi *et al.*, 2021). Esta técnica permite una extracción rápida y el uso de bajas temperaturas de trabajo. Esto evita la pérdida y degradación de compuestos volátiles y termolábiles (Zhao *et al.*, 2019). Los aspectos positivos adicionales del uso de la extracción de líquido subcrítico son su simplicidad, bajo costo e impacto ambiental favorable. Se generan pequeños residuos con gran eficiencia y calidad del AE (Gu *et al.*, 2017).

EXTRACCIÓN POR MICROONDAS SIN DISOLVENTES

Esta técnica, consiste en la destilación en seco de una planta fresca con microondas a presión atmosférica sin agregar agua ni ningún disolvente orgánico (Filly *et al.*, 2014). El calentamiento selectivo del contenido de agua *in situ* del material vegetal hace que los tejidos se hinchen y "exploten" las glándulas y los receptáculos oleíferos. Así, este proceso libera el AE, que se evapora espontáneamente con el agua presente en el material vegetal (Li *et al.*, 2013; Boukhatem *et al.*, 2020). Esta técnica permite el aislamiento y concentración de compuestos volátiles en solo 30 min, mientras que, la hidrodestilación convencional requiere hasta 2 h. Arafat y cols. (2020) demostraron que el método de extracción por microondas sin disolvente asistido por vacío es beneficioso para la extracción del AE de la cáscara de lima dulce, el cual tuvo un alto rendimiento en la extracción.

APLICACIÓN BIOLÓGICA DE LOS ACEITES ESENCIALES

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

El uso de los AE's de origen natural ha demostrado varios beneficios para la salud, incluidos efectos sobre enfermedades infecciosas, crónicas y agudas.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA

Los AE's como metabolitos secundarios de origen natural, desempeñan un papel importante frente a bacterias potencialmente patógenas, ya que muchas de ellas han presentado resistencia bacteriana ante productos tradicionales (Sharifi-Rad *et al.*, 2017). Debido a que los AE's contienen una amplia gama de compuestos, es posible que su acción implique diferentes objetivos en la célula bacteriana. En general, se menciona que los AE's provocan alteración en la estructura de las membranas, modificando su permeabilidad y por tanto sus funciones celulares (Langeveld *et al.*, 2014).

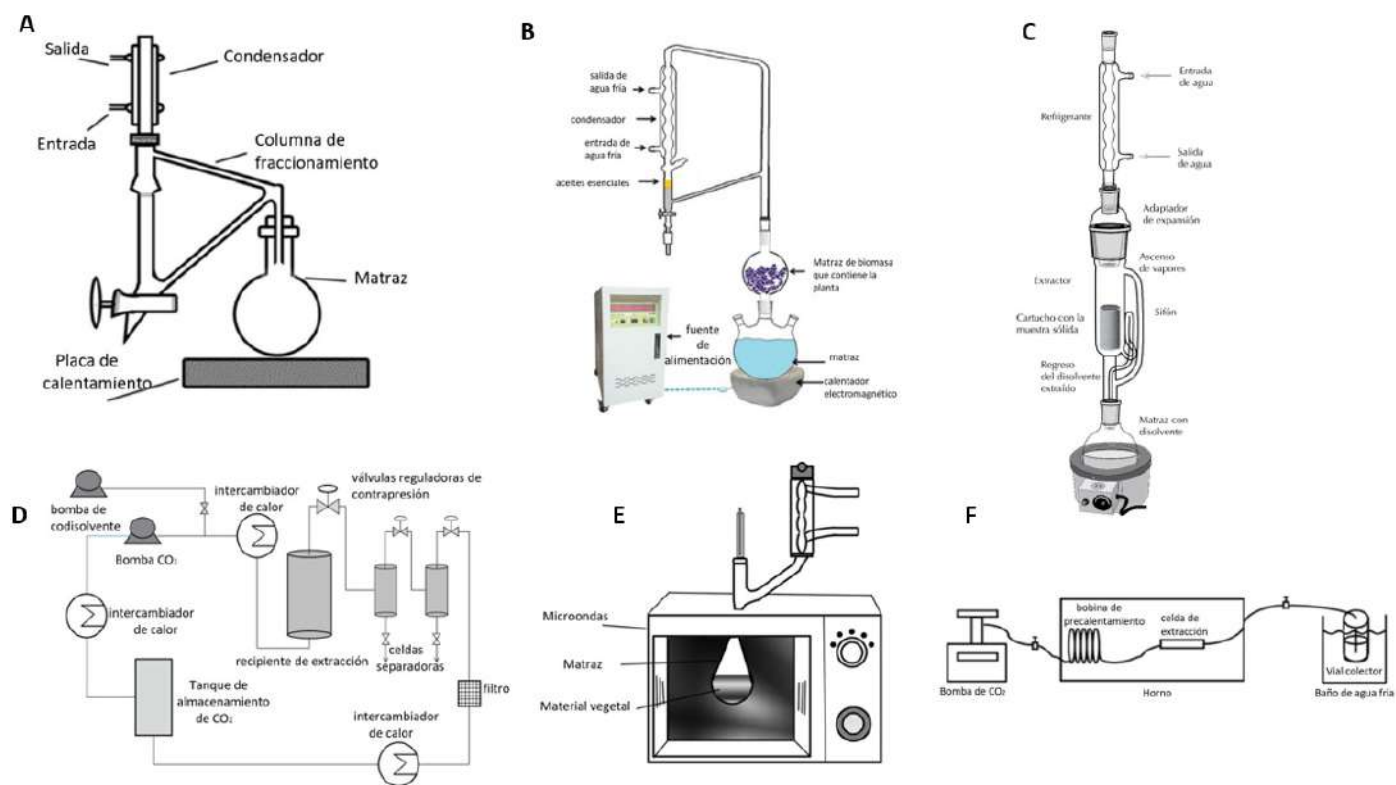


Figura 6. Representaciones esquemáticas de la extracción de AE con técnicas convencionales; (A) Hidrodestilación, (B) Hidrodestilación de vapor, (C) Extracción con solventes y con técnicas modernas; (D) Extracción con fluido supercrítico, (E) Extracción por microondas sin solventes (F) Extracción de líquido subcrítico. (Adaptado de: Journal of Separation Science, Feb 2015; <http://doi:10.1002/jssc.201400724>; Advances in Food and Nutrition Research, 2020; <http://doi:10.1016/bs.afnr.2019.09.001>; Journal of Chromatography A, 2012 <http://doi:10.1016/j.chroma.2012.04.051>; Journal of Separation Science, 2015 <http://doi:10.1002/jssc.201400724>; Molecules, 2021 <http://doi:10.3390/molecules2613400>).

Se ha informado que los AE's que contienen compuestos fenólicos como carvacrol, eugenol o timol, presentan una mayor actividad antibacteriana (Adame-Gallegos *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2017). En la Tabla 1, se muestran diferentes plantas que presentan AE's con propiedades antibacterianas.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA

Se ha informado que numerosos AE's de origen natural y sus constituyentes individuales, inhiben los hongos *in vitro* e *in vivo* (Arraiza *et al.*, 2018). A ciencia cierta, se desconoce el mecanismo de acción involucrado, sin embargo, se menciona que, los AE's tienen la capacidad de alterar la integridad de las membranas y paredes celulares de los hongos, disolviendo algunos de sus componentes estructurales (Langeveld *et al.*, 2014).

Varios investigadores informaron que algunos AE's se pueden utilizar potencialmente para controlar algunos hongos patógenos graves como *Botrytis cinerea*, *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. y *Colletotrichum gloeosporioides* (Nazzaro *et al.*, 2017). Por otro lado, Elshafie y col. (2016) reportaron que los AE's obtenidos de *Thymus vulgaris* y *Valeriana officinalis* fueron eficaces para el control de la infección por pudrición parda en frutos de durazno causada por *Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola* y *Monilinia fructigena*.

Así mismo, Velázquez-Dávila y cols. (2017) evaluaron la actividad antifúngica del aceite esencial del tomillo

(*Thymus vulgaris*) contra cuatro hongos que crecen en la piel humana: *Microsporum canis*, *Microsporum gypseum*, *Trichophyton mentagrophytes* y *Trichophyton rubrum* y determinaron que el AE inhibió totalmente el crecimiento de los cuatro dermatofitos.

En la tabla 2, se muestran diferentes plantas que presentan AE con propiedades antifúngicas.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El potencial antioxidante de los AE's ha sido atribuido a la presencia de compuestos fenólicos (i.e., timol y carvacrol), alcoholes (linalol), cetonas (isomentona, mentona), aldehídos (geranial, citronelal) y monoterpenos (α -terpineno, β -terpineno y α -terpinoleno), los cuales presentan propiedades de óxido-reducción, es decir intervienen en la neutralización de radicales libres y descomposición de peróxidos (Leyva-López *et al.*, 2016).

Cabe mencionar que, la importante capacidad de los AE's de eliminar los radicales libres, podría prevenir algunas enfermedades, como disfunción cerebral, enfermedades cardíacas, deterioro del sistema inmunológico y cáncer (Siti *et al.*, 2015; Gupta *et al.*, 2014). Recientemente, se demostró la buena capacidad antioxidante de los AE's de romero y lavanda (Figura 7) como una alternativa para reducir los daños en la piel, provocados por radicales libres generados por los rayos UV (Silva-Flores, 2019). De igual forma, Espinosa Carranza puso en evidencia que el carvacrol, principal

componente del tomillo y el orégano, presentaba un elevado poder antioxidante representando un potencial como agente dermoprotector (Espinosa Carranza, 2021). También, los AE's de canela, nuez moscada, clavo, albahaca y perejil se caracterizan por tener propiedades antioxidantes importantes.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA

La inflamación es una respuesta protectora normal inducida por una lesión o infección tisular y funciona para combatir los invasores en el cuerpo (microorganismos y células no propias) y eliminar las células huésped muertas o dañadas. La respuesta inflamatoria estimula la actividad de varias enzimas (i.e., oxigenasas, óxido nítrico sintasas, peroxidasas) así como el metabolismo del ácido araquidónico (Silva *et al.*, 2015). Recientemente, los AE's se han utilizado en entornos clínicos para tratar enfermedades inflamatorias, como el reumatismo, las alergias o la artritis. Se ha reportado que el AE del árbol del té (*Zataria multiflora* Boiss), tiene una actividad antiinflamatoria considerable atribuida a la presencia del α -terpineol. Se menciona que este compuesto inhibe la liberación de histamina o reduce la producción de mediadores de inflamación. También, la actividad antiinflamatoria de los AE's se atribuye a posibles interacciones con cascadas de señalización que involucran citocinas y factores de transcripción reguladores (Sharififar *et al.*, 2012).

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTICANCERÍGENA

Es bien sabido que ciertos alimentos, como el ajo y la cúrcuma, son buenas fuentes de agentes anticancerígenos. El AE de ajo es una fuente de compuestos de azufre reconocidos por su efecto preventivo contra el cáncer (por ejemplo: dialilsulfuro, dialildisulfuro y dialiltrisulfuro) (Zhang *et al.*, 2020). Por otro lado, también se ha demostrado la actividad

anticancerígena del d-limoneno, componente principal del AE de cítricos, en estómago e hígado (Andrade *et al.*, 2018).

Finalmente, cabe mencionar que los AE's de tomillo y orégano, así como algunos de sus componentes, han sido evaluados con el objetivo de aumentar la vida de anaquel de productos hortofrutícolas tales como uva (Piña-Barrera *et al.*, 2019), jitomate (Piña-Barrera *et al.*, 2021), fresa y guayaba (González-Moreno, 2020-en proceso). Además, dentro del campo de bioinsecticidas, se han evaluado los AE's del pirul (Salas Cedillo, 2016) y de albahaca (Lugo Estrada, 2018) para el control de vectores transmisores de enfermedades al hombre tal como el mosquito (*Aedes aegypti*).

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales, como fuente natural de componentes activos, han ganado una creciente atención en diferentes ámbitos tales como alimentario, farmacéutico y cosmético. Con base a la información en la presente revisión, se ha puesto en evidencia las propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas de los aceites esenciales y algunos de sus componentes, por lo que es necesario continuar con investigaciones que permitan enriquecer su potencial terapéutico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al PAICyT-UANL (IT1919-21) y BJGM agradece al CONACYT por la beca con el no. 725423 dentro del PNPC de Doctorado en Ciencias con orientación en Química Biomédica, Facultad de Medicina, UANL.

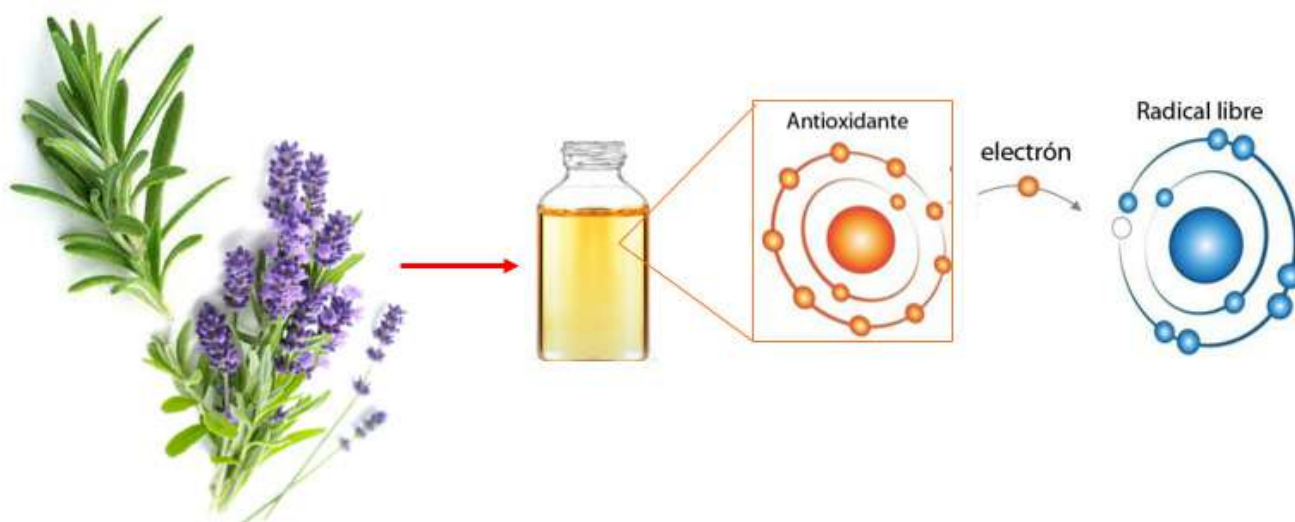


Figura 7. Representación esquemática de la actividad antioxidante de los AE de romero y lavanda para prevenir daños en la piel generados por la radiación UV. (Adaptado de: Silva Flores, tesis de Doctorado en Ciencias 2019).

Tabla 1. Plantas que contienen aceites esenciales con propiedades antibacterianas.

Nombre común	Nombre científico	Bacteria que inhibe	Referencia
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Streptococcus pyogenes</i>	Guerra-Boone <i>et al.</i> , 2015.
Sándalo	<i>Amyris balsamifera</i>	<i>Xylella fastidiosa</i>	Santiago <i>et al.</i> , 2018.
Canela	<i>Cinnamomum verum</i>	<i>Acidovorax citrulli</i> <i>Ralstonia solanacearum</i>	Choi <i>et al.</i> , 2016. Tu <i>et al.</i> , 2020.
Enebro común	<i>Juniperus communis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Enterococcus faecalis</i>	Najar <i>et al.</i> , 2020.
Enebro cade	<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i> <i>Staphylococcus aureus</i>	
Lantana común	<i>Lantana camara</i>	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Mohamed <i>et al.</i> , 2019.
Menta	<i>Mentha piperita</i>	<i>Acidovorax citrulli</i>	Choi <i>et al.</i> , 2016.
Menta	<i>Mentha spicata</i>	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Erwinia carotovora</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Xanthomonas campestris</i>	Githaiga <i>et al.</i> , 2018.
Pachulí	<i>Pogostemon pachulí</i>	<i>Xylella fastidiosa</i>	Santiago <i>et al.</i> , 2018.
Brote de clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	<i>Acidovorax citrulli</i>	Choi <i>et al.</i> , 2016.
Orégano	<i>Origanum onites</i>	<i>Streptomyces scabies</i>	Arici <i>et al.</i> , 2014.

Tabla 2. Plantas que contienen aceites esenciales con propiedades antifúngicas.

Nombre común	Nombre científico	Hongo que inhibe	Referencia
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Tricophyton rubrum</i> <i>Tricophyton mentagrophytes</i> <i>Tricophyton tonsurans</i> <i>Microsporum canis</i> <i>Microsporum gypseum</i> <i>Epidermophyton floccosum</i>	Guerra-Boone <i>et al.</i> , 2015.
Canela	<i>Cinnamomum cassia</i>	<i>Villosiclava virens</i>	Zheng <i>et al.</i> , 2019.
Jengibre	<i>Cymbopogon martinii</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	Kalagatur <i>et al.</i> , 2018.
Eucalipto	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium proliferatum</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Fusarium subglutinans</i>	Gakuubi <i>et al.</i> , 2017.
Prontoalivio	<i>Lippia alba</i>	<i>Alternaria solani</i>	Tomazoni <i>et al.</i> , 2016
Pimienta	<i>Piper aduncum</i>	<i>Fusarium solani</i> <i>Phytophthora sp.</i>	Scalvenzi <i>et al.</i> , 2016
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Fusarium moniliforme</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium solani</i>	Santana <i>et al.</i> , 2012



LITERATURA CITADA

- Adame-Gallegos, J. R., Andrade-Ochoa, S., & Nevarez-Moorillon, G. V. 2016. Potential use of mexican oregano essential oil against parasite, fungal and bacterial pathogens. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(3), 553–567. <http://doi.org/10.1080/0972060x.2015.1116413>
- Ali, B., Al-Wabel, N. A., Shams, S., Ahamad, A., Khan, S. A., & Anwar, F. 2015. Essential oils used in aromatherapy: a systemic review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(8), 601–611. <http://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.05.007>
- Alonso-Gato, M., Astray, G., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. 2021. Essential oils as antimicrobials in crop protection. *Antibiotics* (Basel, Switzerland), 10(1), 34. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10010034>
- Andrade, M.A., Braga, M.A., Cesar, P.H.S., Trento, M.V.C., Espósito, M.A., Silva, L.F., Marcussi, S. 2018. Anticancer properties of essential oils: an overview. *Current Cancer Drug Targets*, 18(10): 957-966. <http://doi.org/10.2174/1568009618666180102105843>
- Arafat, Y., Altemimi, A., Ibrahim, S. A., & Badwaik, L. S. 2020. Valorization of sweet lime peel for the extraction of essential oil by solvent free microwave extraction enhanced with ultrasound pretreatment. *Molecules*, 25(18), 4072. <http://doi.org/10.3390/molecules25184072>
- Argote-Vega F.E., Suarez-Montenegro Z.J., Tobar-Delgado M.E., Pérez-Álvarez J.A., Hurtado-Benavides A.M., Delgado-Ospina J. 2017. Evaluación de la capacidad inhibitoria de aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, (2). [https://doi.org/10.18684/bsaa\(v15\)ediciónespecialn2.578](https://doi.org/10.18684/bsaa(v15)ediciónespecialn2.578)
- Arici, S.E., Sanli, A. 2014. Effect of some essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies* on potato plants in field conditions. *Annual Research & Review in Biology*, 4(12): 2027-2036. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/8526>
- Arraiza M.P., Gonzalez-Coloma A., Andres M.F., Berrocal-Lobo M., Dominguez-Nuñez J.A., Da Costa A.C., Jr., Navarro-Rocha J., Calderon-Guerrero C. 2018. Antifungal effect of essential oils. In: El-Shemy H., editor. *Potential of Essential Oils*. IntechOpen; Londos, UK.
- Arumugam G., Swamy M. K., Sinniah U. R. 2016. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng: botanical, phytochemical, pharmacological and nutritional significance. *Molecules*, 21(4):p. 369. <http://doi.org/10.3390/molecules21040369>
- Baser K. H. C., Buchbauer G. *Handbook of Essential Oils: Science, Technology and Applications*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2010.
- Bergman, M. E., Davis, B., & Phillips, M. A. 2019. Medically useful plant terpenoids: biosynthesis, occurrence, and mechanism of action. *Molecules* (Basel, Switzerland), 24(21), 3961. <https://doi.org/10.3390/molecules24213961>
- Boukhatem, M. N., Ferhat, M. A., Rajabi, M., & Mousa, S. A. 2020. Solvent-free microwave extraction: an eco-friendly and rapid process for green isolation of essential oil from lemongrass. *Natural Product Research*, 1–4. <http://doi.org/10.1080/14786419.2020.1795852>
- Capuzzo, A., Maffei, M., & Occhipinti, A. 2013. Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances. *Molecules*, 18(6), 7194–7238. <http://doi.org/10.3390/molecules18067194>
- Cheng, Y., Xue, F., Yu, S., Du, S., Yang, Y. 2021. Subcritical water extraction of natural products. *Molecules*, 30; 26(13): 4004. <http://doi.org/10.3390/molecules26134004>
- Choi, O., Cho, S.K., Kim, J. 2016. Biological evaluation of 32 different essential oils against *Acidovorax citrulli*, with a focus on *Cinnamomum verum* essential oil. *African Journal of Biotechnology*, 15:68–76. <http://doi.org/10.5897/AJB2015.15049>
- Elshafie, H. S., Ghanney, N., Mang, S. M., Ferchichi, A., & Camele, I. 2016. An in vitro attempt for controlling severe phytopathogens and human pathogens using essential oils from mediterranean plants of genus *Schinus*. *Journal of Medicinal Food*, 19(3), 266–273. <http://doi.org/10.1089/jmf.2015.0093>
- Espinosa Carranza, N.N. 2021. Valoración biofísica del carvacrol nanoencapsulado para su uso como dermoprotector. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León. 72pp.
- Farrar, A. J., & Farrar, F. C. 2020. Clinical aromatherapy. *The Nursing clinics of North America*, 55(4), 489–504. <https://doi.org/10.1016/j.cnur.2020.06.015>
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., & Chemat, F. 2014. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale. *Food Chemistry*, 150, 193–198. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.13>
- Gakuubi, M. M., Maina, A. W., & Wagacha, J. M. 2017. Antifungal activity of essential oil of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn

- against selected *Fusarium* spp. *International Journal of Microbiology*, 1–7. <http://doi.org/10.1155/2017/8761610>
- Gavahian, M., Sastry, S., Farhoosh, R., Farahnaky, A. 2020. Ohmic heating as a promising technique for extraction of herbal essential oils: understanding mechanisms, recent findings, and associated challenges. *Advances in Food and Nutrition Research*, (91), 227–273. <http://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.09.001>
- Ghahramanloo, K., & Hanachi, P. 2017. Comparative analysis of essential oil composition of Iranian and Indian *Nigella sativa* L. extracted by using supercritical fluid extraction (SFE) and solvent extraction. *Clinical Biochemistry*, 44(13), S20. <http://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2011.08>
- Githaiga, B.M., Gathuru, E.M., Waithaka, P.N., Kiarie L.W. 2018. Determination of antibacterial activity of essential oils from mint (*Mentha spicata*) leaves on selected pathogenic bacteria. *Journal of Drugs and Pharmaceutical Science*, 2:8–14. <http://doi.org/10.31248/JDPS2018.015>
- González-Moreno, B.J. 2021. Efecto conservador de cubiertas biopoliméricas a base de nanoingredientes con aceite esencial de *Origanum vulgare* en la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. Tesis doctorado (en proceso), Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Gu, L.-B., Pang, H.-L., Lu, K.-K., Liu, H.-M., Wang, X.-D., & Qin, G.-Y. 2017. Process optimization and characterization of fragrant oil from red pepper (*Capsicum annuum* L.) seed extracted by subcritical butane extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6), 1894–1903. <http://doi.org/10.1002/jsfa.7992>
- Guerra-Boone L., Álvarez-Román R., Salazar-Aranda R., Torres-Cirio A., Rivas-Galindo V.M., Waksman-de-Torres N., Pérez-López L.A. 2015. Antimicrobial and antioxidant activities and chemical characterization of essential oils of *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, and *Origanum majorana* from northeastern México. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 28(1): 363–369
- Gupta, R.K., Patel, A.K., Shah, N., Chaudhary, A., Jha, U., Yadav, U.C. 2014. Oxidative stress and antioxidants in disease and cancer: a review. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15: 4405–4409. <http://doi.org/10.7314/apjcp.2014.15.11.4405>
- Hernández, H., Fraňková, A., Sýkora, T., Klouček, P., Kouřimská, L., Kučerová, I., & Banout, J. 2017. The effect of oregano essential oil on microbial load and sensory attributes of dried meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 82–87. <http://doi.org/10.1002/jsfa.7685>
- Herrero, M., Sánchez-Camargo, A. del P., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. 2015. Plants, seaweeds, microalgae and food by-products as natural sources of functional ingredients obtained using pressurized liquid extraction and supercritical fluid extraction. *Trends in Analytical Chemistry*, 71, 26–38. <http://doi.org/10.1016/j.trac.2015.01.018>
- Jurevičiūtė, R., Ložienė, K., Bruno, M., Maggio, A., & Rosselli, S. 2019. Composition of essential oil of lemon thyme (*Thymus × citriodorus*) at different hydrodistillation times. *Natural Product Research*, 1–9. <http://doi.org/10.1080/14786419.2018.1434642>
- Justyna P., Owczarek K., Tobiszewski M., Namie J. 2017. Trends in analytical chemistry extraction with environmentally friendly solvents. *Analytical Chemistry*, 91, 12–25.
- Kalagatur, N. K., Nirmal Ghosh, O. S., Sundararaj, N., & Mudili, V. 2018. Antifungal activity of chitosan nanoparticles encapsulated with *Cymbopogon martinii* essential oil on plant pathogenic Fungi *Fusarium graminearum*. *Frontiers in Pharmacology*, 9: 610. <http://doi.org/10.3389/fphar.2018.00610>
- Kapalavavi, B., Doctor, N., Zhang, B., & Yang, Y. 2021. Subcritical water extraction of *Salvia miltiorrhiza*. *Molecules*, 26(6), 1634. <https://doi.org/10.3390/molecules26061634>
- Langeveld, W.T., Veldhuizen, E.J., Burt, S.A. 2014. Synergy between essential oil components and antibiotics: a review. *Critical Reviews in Microbiology*, 40(1): 76–94. <http://doi.org/10.3109/1040841X.2013.763219>
- Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. 2017. Essential oils of oregano: biological activity beyond their antimicrobial properties. *Molecules*, 22(6), 989. <http://doi.org/10.3390/molecules22060989>
- Leyva-López, N., Nair, V., Bang, W. Y., Cisneros-Zevallos, L., & Heredia, J. B. 2016. Protective role of terpenes and polyphenols from three species of Oregano (*Lippia graveolens*, *Lippia palmeri* and *Hedeoma patens*) on the suppression of lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW 264.7 macrophage cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 187, 302–312. <http://doi.org/10.1016/j.jep.2016.04.051>
- Li, R., Xia, Z., Li, B., Tian, Y., Zhang, G., Li, M., & Dong, J. 2021. Advances in supercritical carbon dioxide extraction of bioactive substances from different parts of *Ginkgo biloba* L. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(13), 4011. <https://doi.org/10.3390/molecules26134011>
- Li, Y., Fabiano-Tixier, A. S., Vian, M. A., & Chemat, F. 2013. Solvent-free microwave extraction of bioactive compounds provides a tool for green analytical chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*, 47, 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.trac.2013.02.007>
- Lucinewton, S., Moura, L. S., Carvalho Jr., R. N., Stefanini, M. B., Ming, L. C., & Meireles, M. A. A. 2013. Supercritical fluid extraction from fennel (*Foeniculum vulgare*): global yield, composition and kinetic data. *The Journal of Supercritical Fluids*, 35(3), 212–219. <http://doi.org/10.1016/j.supflu.2005.01.006>
- Lugo Estrada L. 2018. Nanoencapsulación de aceites esenciales para el control de *Aedes aegypti*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 120pp.
- Mahdi, S., Rahimi-Nasrabadi, M., & Hajimirsadeghic, S. 2014. Supercritical fluid technology in analytical chemistry - review. *Current Analytical Chemistry*, 10(1), 3–28. <http://doi.org/10.2174/1573411011410010004>
- McHugh M., Krukonis V. *Supercritical Fluid Extraction: Principles and Practice*, 2 ed., Elsevier, Butterworth-Heinemann 80, Montvale Avenue Stoneham, 2013.
- Mohamed, A. A., Behiry, S. I., Younes, H. A., Ashmawy, N. A., Salem, M. Z. M., Márquez-Molina, O., & Barbabosa-Pilego, A. 2019. Antibacterial activity of three essential oils and five monoterpenes against *Ralstonia solanacearum* phylotype II isolated from potato. *Microbial Pathogenesis*, 103604. <http://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103604>
- Najar, B., Pistelli, L., Mancini, S., & Fratini, F. 2020. Chemical composition and in vitro antibacterial activity of essential oils from different species of *Juniperus* (section *Juniperus*). *Flavour and Fragrance Journal*. <http://doi.org/10.1002/ffj.3602>
- Nazzaro, F., Fratianni, F., Coppola, R., & Feo, V. 2017. Essential oils and antifungal activity. *Pharmaceuticals*, 10(4), 86. <https://doi.org/10.3390/ph10040086>
- Pauli, A., Schilche, H. In *Vitro* Antimicrobial activities of essential oils monographed in the European pharmacopoeia. In: Hüsnü K., Baser C., Buchbauer G., editors. *Handbook of essential oils; Science, Technology, and Applications*. Chapter 12. CRC Press; 2009. pp. 353–547.
- Piña-Barrera, A.M., Álvarez-Román, R., Báez-González, J.G., Amaya-Guerra, C.A., Rivas-Morales, C., Gallardo-Rivera, C.T. and Galindo-Rodríguez, S.A. 2019. Application of a multisystem coating based on polymeric nanocapsules containing essential oil of *Thymus vulgaris* L. to increase the shelf life of table grapes (*Vitis vinifera* L.). *IEEE Transactions on NanoBioscience*, 18(4): 549–557. <http://doi.org/10.1109/tnb.2019.2941931>

- Piña-Barrera, A.M., Ramírez-Pérez, M.S., Báez-González, J.G., Amaya-Guerra, C.A., Álvarez-Román, R., Galindo-Rodríguez, S.A. 2021. Recubrimiento comestible con eugenol nanoencapsulado y su efecto conservador en la vida útil de jitomate (*Solanum lycopersicum*). *Biotecnia*, 23(3): 133-141. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i3.1477>
- Requejo, A. 2020. Aceites esenciales en sinergia. Exlibric, Antequera, Málaga.
- Reyes-Jurado, F., López-Malo, A., & Palou, E. 2016. Antimicrobial activity of individual and combined essential oils against foodborne pathogenic bacteria. *Journal of Food Protection*, 79(2), 309–315. <http://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-15-392>
- Salas Cedillo, H.I. 2016. Desarrollo de un potencial insecticida nanoparticulado de *Schinus molle* para el control de *Aedes aegypti*. Tesis de Maestría, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 101pp.
- Santana O., Cabrera R., Gonzalez-Coloma A., Sanchez-Vioque R., De los Mozos-Pascual M., Rodriguez-Conde M.F., Laserna-Ruiz I., Usano-Aleman J., Herraiz D. 2012. Perfil químico y biológico de aceites esenciales de plantas aromáticas de interés agro-industrial en Castilla-La Mancha (España). *Grasas y Aceites*, 63: 214–222. <http://doi.org/10.3989/gya.129611>
- Santiago, M. B., Moraes, T. da S., Massuco, J. E., Silva, L. O., Lucarini, R., da Silva, D. F., Martins, C. H. G. 2018. In vitro evaluation of essential oils for potential antibacterial effects against *Xylella fastidiosa*. *Journal of Phytopathology*. <http://doi.org/10.1111/jph.12762>
- Scalvenzi L., Yaguache-Camacho B., Cabrera-Martínez P., Guerrini A. 2016. Actividad antifúngica in vitro de aceites esenciales de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm. y *Piper aduncum* L. *Bioagro*, 28: 39–46. Disponible en <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612016000100005&lng=es&nrm=iso>
- Sharififar F., Mirtajadini M., Azampour MJ, Zamani E. Aceite esencial y extracto metanólico de *Zataria multiflora* Boiss con efecto anticolinesterasa. 2012. *Pakistan Journal of Biological Sciences*; 15: 49–53.
- Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Iriti, M. 2017. Biological activities of essential oils: from plant chemoecology to traditional healing systems. *Molecules*, 22(1), 70. <http://doi.org/10.3390/molecules22010070>
- Silva, G.L., Luft, C., Lunardelli, A., Amaral, R.H., Melo, D.A., Donadio, M.V., Nunes, F.B., de Azambuja, M.S., Santana, J.C., Moraes, C.M., Mello, R.O., Cassel, E., Pereira, M.A., de Oliveira, J.R. 2015. Antioxidant, analgesic and anti-inflammatory effects of lavender essential oil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2): 1397-408. <http://doi.org/10.1590/0001-3765201520150056>
- Silva-Flores, P.G. 2019. Desarrollo y evaluación dermatocinética de nanopartículas con aceites esenciales para su aplicación en piel. Tesis Doctorado, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 187pp.
- Siti, H. N., Kamisah, Y., & Kamsiah, J. 2015. The role of oxidative stress, antioxidants and vascular inflammation in cardiovascular disease (a review). *Vascular Pharmacology*, 71, 40–56. <http://doi.org/10.1016/j.vph.2015.03.005>
- Teixeira, M.L., Marcussi, S., de C. S. Rezende, D.A., Magalhães, M.L., Nelson, D.L., das G. Cardoso, M. 2019. Essential oil from *Lippia origanoides* (Verbenaceae): haemostasis and enzymes activity alterations. *Medicinal Chemistry*, 15 (2): 207-214. <http://doi.org/10.2174/1573406414666180829150515>
- Tetali S. D. 2018. Terpenes and isoprenoids: a wealth of compounds for global use. *Planta* 249, 1–8. <http://doi.org/10.1007/s00425-018-3056-x>
- Tomazoni, E. Z., Pansera, M. R., Pauletti, G. F., Moura, S., Ribeiro, R. T. S., & Schwambach, J. 2016. In vitro antifungal activity of four chemotypes of *Lippia alba* (Verbenaceae) essential oils against *Alternaria solani* (Pleosporaceae) isolates. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 88(2), 999–1010. <http://doi.org/10.1590/0001-3765201620150019>
- Tu, Q.-B., Wang, P.-Y., Sheng, S., Xu, Y., Wang, J.-Z., You, S., Wu, F.-A. 2020. Microencapsulation and antimicrobial activity of plant essential oil against *Ralstonia solanacearum*. *Waste and Biomass Valorization*. <http://doi.org/10.1007/s12649-020-00987-6>
- Velázquez-Dávila, L. A., Galindo-Rodríguez, S. A., Pérez-López, L. A., González-González, M. G., & Álvarez-Román, R. 2017. In vitro and in vivo methods for the evaluation of natural products against dermatophytes. *Natural Product Communications*, 12(2), <http://doi.org/doi:10.1177/1934578x1701200239>
- Vivaldo, G., Masi, E., Taiti, C., Caldarelli, G. and Mancuso, S. 2017. The network of plants volatile organic compounds. *Scientific Reports*. 7:1-18.
- Waseem, R., Low, K.H. 2015. Advanced analytical techniques for the extraction and characterization of plant-derived essential oils by gas chromatography with mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 38(3): 483-501. <http://doi.org/10.1002/jssc.201400724>
- Watanabe, E., Kuchta, K., Kimura, M., Rauwald, H. W., Kamei, T., & Imanishi, J. 2015. Effects of bergamot (*Citrus bergamia* (Risso) Wright & Arn.) essential oil aromatherapy on mood states, parasympathetic nervous system activity, and salivary cortisol levels in 41 healthy females. *Complementary Medicine Research*, 22(1), 43–49. <http://doi.org/10.1159/000380989>
- Yahya, N. A., Attan, N., & Wahab, R. A. 2018. An overview of cosmeceutically relevant plant extracts and strategies for extraction of plant-based bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 2, 69- 85. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.09.002>
- Zhang, L., Lu, S. 2017. Overview of medicinally important diterpenoids derived from plastids. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 17:988–1001. <http://doi.org/10.2174/1389557516666160614005244>
- Zhang, Y., Liu, X., Ruan, J., Zhuang, X., Zhang, X., Li, Z. 2020. Phytochemicals of garlic: promising candidates for cancer therapy. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 123:109730. <http://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109730>
- Zhao, Y., Fan, Y.-Y., Yu, W.-G., Wang, J., Lu, W., & Song, X.-Q. 2019. Ultrasound-enhanced subcritical fluid extraction of essential oil from *Nymphaea alba* var and its antioxidant activity. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1448–1454. <http://doi.org/10.1093/jaoac/102.5.1448>
- Zheng, J., Liu, T., Guo, Z., Zhang, L., Mao, L., Zhang, Y., & Jiang, H. 2019. Fumigation and contact activities of 18 plant essential oils on *Villosiclava virens*, the pathogenic fungus of rice false smut. *Scientific Reports*, 9(1). <http://doi.org/10.1038/s41598-019-43433>

UN LADO MENOS CONOCIDO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: LA ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO UN GRAN RETO PARA LA HUMANIDAD

ATMOSPHERIC

CO₂

VICTORIA DÍAZ CASTAÑEDA
CICESE, Departamento de Ecología Marina, Carretera Que
maneada-Tijuana 3918, Ensenada, Baja California, CP 22860
vidiaz@cicese.mx

MAY 2022 420.99
MAY 2021 419.13
MAY 2020 417.31
Data: June 3, 2022

RESUMEN

El océano es una parte integral del sistema climático global, absorbe calor y CO_2 , ayudando a moderar el cambio climático y la acidificación de los océanos. El exceso de CO_2 producido por actividades antropogénicas ha afectado la química del océano y provocado lo que conocemos como acidificación. Los ambientes marinos albergan una gran diversidad biológica que puede verse afectada negativamente por estas alteraciones. Entre los afectados están los organismos calcificadores como moluscos, corales, crustáceos entre otros. Se mencionan efectos del proceso de acidificación. Diversos grupos de investigación han desarrollado técnicas para evaluar efectos en la calcificación, aquí enumeramos algunas de ellas. Debido a que la disminución de pH altera el funcionamiento de enzimas y proteínas y los procesos de desarrollo larvario han surgido grupos de investigación trabajando en estos aspectos. Las investigaciones sobre los efectos de la acidificación nos permitirán hacer proyecciones de lo que puede suceder en un futuro cercano. Generar información sobre cuáles serán los grupos animales y vegetales más afectados y los más resistentes, puede ser de gran utilidad para tratar de preservar los ecosistemas marinos y las especies que sirven de alimento para los seres humanos. Las naciones deben hacer esfuerzos importantes y coordinados para tratar de mantener el incremento de temperatura debajo de $2\text{ }^\circ\text{C}$ y evitar aumentar la concentración de CO_2 en la atmósfera.



Figura. 1 Observatorio de mediciones atmosféricas de NOAA ubicado en Hawaii, este año alcanzó un máximo de 421 ppm.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes retos de la humanidad será entender los alcances de otro aspecto del cambio climático: la tendencia a la acidificación del océano. Observamos cambios en el océano y estos pueden afectar la vida y su sustentabilidad en la Tierra.

Cuando pensamos en cambio climático se piensa generalmente en el incremento de la temperatura; sin embargo, un aspecto menos conocido del cambio climático es la tendencia a la Acidificación del océano. En la era preindustrial había un equilibrio en el intercambio de dióxido de carbono (CO_2) del océano a la atmósfera y viceversa de alrededor de 70 Gt de carbono/año, pero a partir de la Revolución Industrial se incrementó el flujo de CO_2 a la atmósfera (Gattuso & Hansson, 2012). Esto debido a diversas actividades de origen antropogénico como la quema de combustibles fósiles, la producción de cemento, emisiones de diversas fábricas y la deforestación, entre otras (Canadell et al., 2007; Le Queré et al., 2009). La atmósfera interactúa con los océanos para regular el clima del planeta, esta interacción se está alterando debido al flujo de CO_2 sobreimpuesto por el ser humano.

En nuestro planeta la concentración de CO_2 se mantuvo entre 170-300 ppm en los últimos 800,000 años (Luthi et al., 2008), pero se ha incrementado progresivamente y actualmente ha rebasado los 420 ppm. Esta liberación masiva del carbono previamente almacenado incrementa el efecto invernadero y pone en peligro la estabilidad del clima terrestre (Orr, 2012).

En la comunidad científica hay preocupación de que estos cambios y la acidificación del océano impacten la

biodiversidad de los ecosistemas marinos y los bienes y servicios que brindan a los seres humanos.

Los océanos nos brindan grandes servicios al moderar el cambio climático absorbiendo calor y CO_2 , pero al hacerlo surgen alteraciones como la acidificación, calentamiento y disminución de la concentración de oxígeno. Una parte del dióxido de carbono (29%) es absorbido por la biosfera terrestre (árboles, bosques, vegetación), mientras que otra parte (26%) es absorbida por el océano y el resto queda en la atmósfera.

Cuando se empezó a detectar la acumulación del CO_2 en la atmósfera, se consideró que esto no generaría problemas debido a que los océanos son muy extensos, pero posteriormente se detectaron cambios en la química del agua marina. El Observatorio de Mauna Loa (Fig.1), ubicado en Hawaii a 3,400 m de altitud, inició mediciones de la concentración de CO_2 en la atmósfera en 1958 por lo que tienen una serie de tiempo de 64 años. Estas mediciones de largo plazo del CO_2 son fundamentales para entender qué está pasando y cómo ese aumento progresivo puede afectar a nuestro planeta.

Los científicos saben que el océano absorbe cada día 24 millones de toneladas de CO_2 . Para ellos éste es un indicador preocupante porque diversas especies animales y vegetales, así como ecosistemas, pueden estar en riesgo por el exceso de emisiones de este gas. Sabemos que la acidificación de los océanos está causada por las emisiones de CO_2 atmosférico derivado de actividades humanas.

Entre 1750 y 2000 los océanos absorbieron una tercera parte del CO_2 de origen antropogénico; en este período el pH disminuyó ~ 0.1 unidades. Si no se hace nada, es

posible que en el año 2300 el pH disminuya 0.7 unidades (Zeebe *et al.*, 2008).

El pH es la medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Los cambios en el pH tienen efectos importantes ya que afectan diversos procesos fisiológicos en los animales y plantas, principalmente los organismos calcificadores que producen estructuras de carbonato de calcio como los moluscos (ostiones, mejillones), equinodermos (erizos, estrellas de mar), crustáceos (camarones, langostas), corales, se verán muy afectados al tener dificultad para fabricar sus estructuras calcáreas.

La disminución de pH altera el funcionamiento de enzimas y proteínas, así como los procesos de desarrollo larval. Se ha observado que también disminuye la sobrevivencia de peces al modificar su sentido del olfato, por lo que pierden la capacidad de detectar a sus depredadores (Munday *et al.* 2010). El bajo pH debilita los esqueletos de diversas especies dejándolos más expuestos a la depredación.

Cuando el océano capta el CO_2 hay una disminución del pH (se aumenta la acidez), se produce ácido carbónico y esto hace que se incremente la concentración de iones bicarbonato, y disminuya la disponibilidad de iones carbonato (Fig. 2). Estos últimos son necesarios para que los organismos marinos puedan fabricar esqueletos y conchas de carbonato de calcio. Muchos estudios han mostrado que, al aumentar la acidificación, la calcificación disminuye en varios grupos animales.

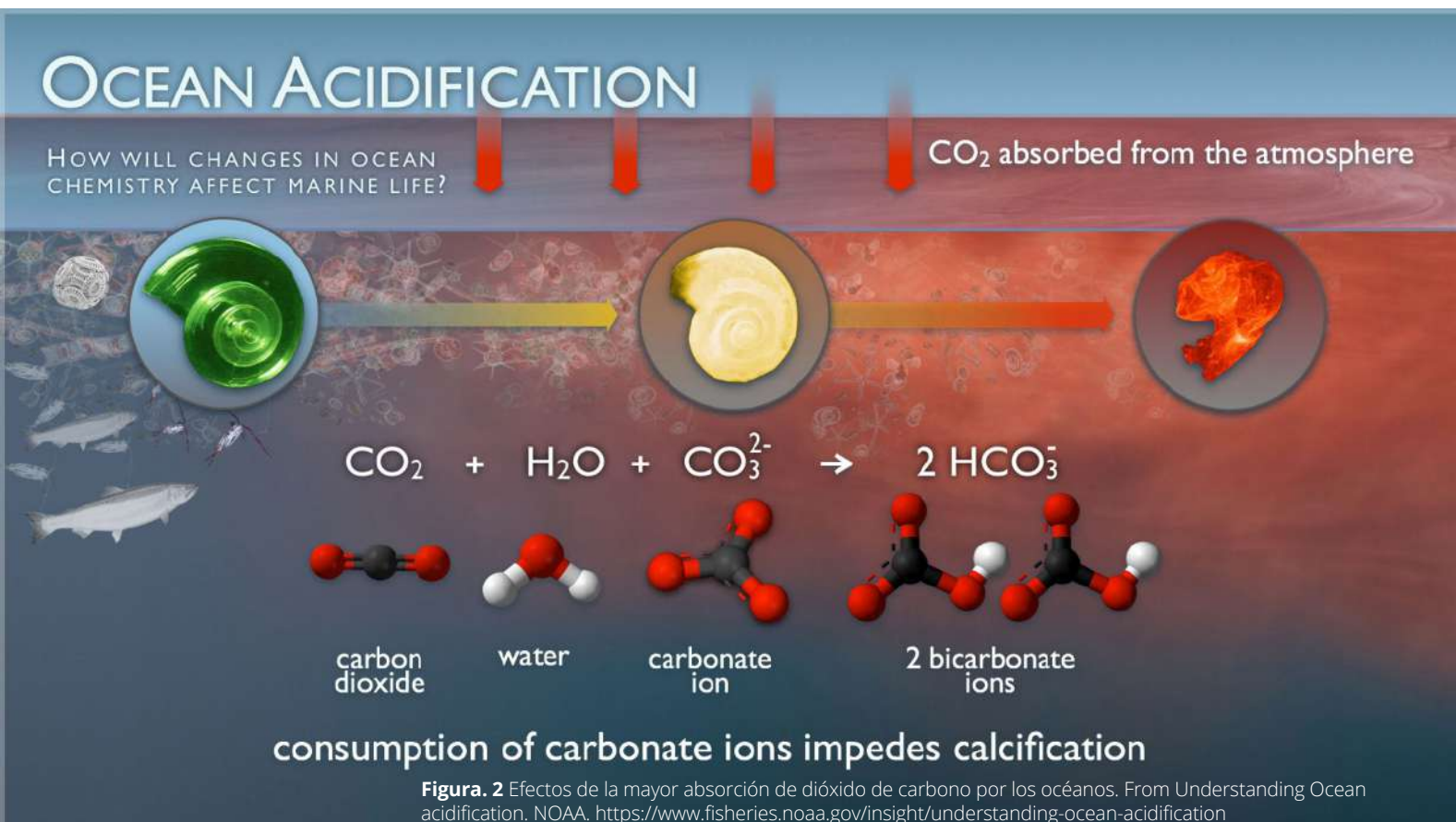
La calcificación es un proceso biológico activamente controlado, por el cual organismos como los corales, equinodermos, crustáceos y los moluscos producen estructuras de carbonato de calcio, bajo la forma de

calcita o aragonita. Estos son polimorfos de carbonato de calcio, es decir su fórmula química es igual, solo difieren en la forma de los cristales.

La acidificación resta capacidad a los animales y algas para producir sus estructuras calcáreas e incrementa el gasto energético. Algunos organismos como el anélido marino *Hydroides elegans*, cuando son juveniles, producen su primer tubo de aragonita (que se disuelve fácilmente en condiciones de acidificación) y luego fabrican uno de calcita. Esto los hace muy vulnerables a la acidificación del océano (Kroeker *et al.*, 2013, Chan *et al.*, 2012).

ALGUNAS TÉCNICAS QUE SE USAN PARA MEDIR LA CALCIFICACIÓN:

La técnica de Anomalía de alcalinidad se basa en que el valor de la alcalinidad total disminuye en dos unidades por cada mol de carbonato de calcio producido. La calcificación se mide antes y después de un período de incubación corto. Otra técnica consiste en marcar los animales con calceína, que es un colorante fluorescente que no los daña. Posteriormente, se colocan en el ambiente acidificado y por medio de fotografía y programas informáticos como Image J, se determina cuántos milímetros cuadrados (mm^2) han calcificado en un cierto tiempo. La técnica de radio isótopos, se basa en el calcio se absorbe en los componentes de la estructura calcárea del organismo, la absorción de calcio se mide usando elementos radio marcados como ^{45}Ca o ^{14}C para estimar la calcificación. En la técnica con Rayos X, se mide la densidad y la masa del esqueleto, lo que nos da una medida directa de la calcificación. Por último están las técnicas moleculares que se basan en que la genética controla el proceso de calcificación por lo que se mide la actividad de genes que sabemos están involucrados en la calcificación o biomineralización.



En el CICESE (Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada) recientemente se creó el Laboratorio de Estudios Multidisciplinarios de Organismos Acuáticos (LEMOA), que une los conocimientos y las capacidades de investigadores de la División de Oceanología y la División de Biología Experimental y Aplicada. Este Laboratorio nos permite llevar a cabo estudios sobre el efecto de la temperatura y la acidificación en animales y plantas acuáticas. La temperatura y el pH han sido reconocidos como factores capaces de afectar los sistemas biológicos a diferentes niveles de organización por lo que es importante su estudio (Kroeker *et al.*, 2013). El proceso de calcificación de diversos organismos es muy sensible a la concentración de iones carbonato. El doble de la presión parcial de CO₂ causa 9 a 29% de reducción de la calcificación (Pelejero *et al.*, 2010). Este tipo de instalaciones experimentales nos permitirán determinar que grupos presentarán mayores afectaciones, cuales son los efectos de la sinergia incremento de temperatura y acidificación y poder hacer predicciones para diversas especies.

Se ha encontrado que, para muchos organismos marinos, sus gametos, fases larvianas, juveniles y adultos pueden verse afectados de manera diferente por la acidificación del océano (Byrne *et al.* 2011 a, b; Chan *et al.*, 2012, Díaz-Castañeda *et al.*, 2019); por tanto, es crucial considerar los impactos sobre la supervivencia y la reproducción a lo largo de su ciclo de vida. En general, los estudios sugieren que las fases tempranas podrían ser más sensibles a la acidificación oceánica (Kroeker *et al.*, 2013).

Para efectuar este tipo de estudios es importante manejar los niveles de pH con una buena precisión, esto podemos hacerlo en el LEMOA.

Derivado de diversos estudios, entre ellos Magnan *et al.* (2015) sabemos con certeza que la acidificación de los océanos está causada por las emisiones de dióxido de carbono atmosférico derivado de actividades humanas. Ahora ya es tiempo de actuar para limitar las consecuencias.

Las condiciones futuras del océano dependerán de la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera en los próximos años por las actividades humanas. Los países debemos hacer esfuerzos importantes y coordinados para tratar de mantener el incremento de temperatura debajo de 2 °C y evitar aumentar la concentración de CO₂ en la atmósfera.

Llevar a cabo investigaciones sobre los efectos de la acidificación y otros aspectos del cambio climático (temperatura, desoxigenación) en diversos organismos nos permitirá hacer proyecciones de lo que puede pasar en un futuro cercano. Generar información sobre cuáles serán los taxa más afectados y los más resistentes, puede ser de utilidad para la pesca y la acuicultura. En suma, podemos evaluar el potencial de adaptación de diferentes especies de importancia económica y ecológica y plantear estrategias de mitigación.

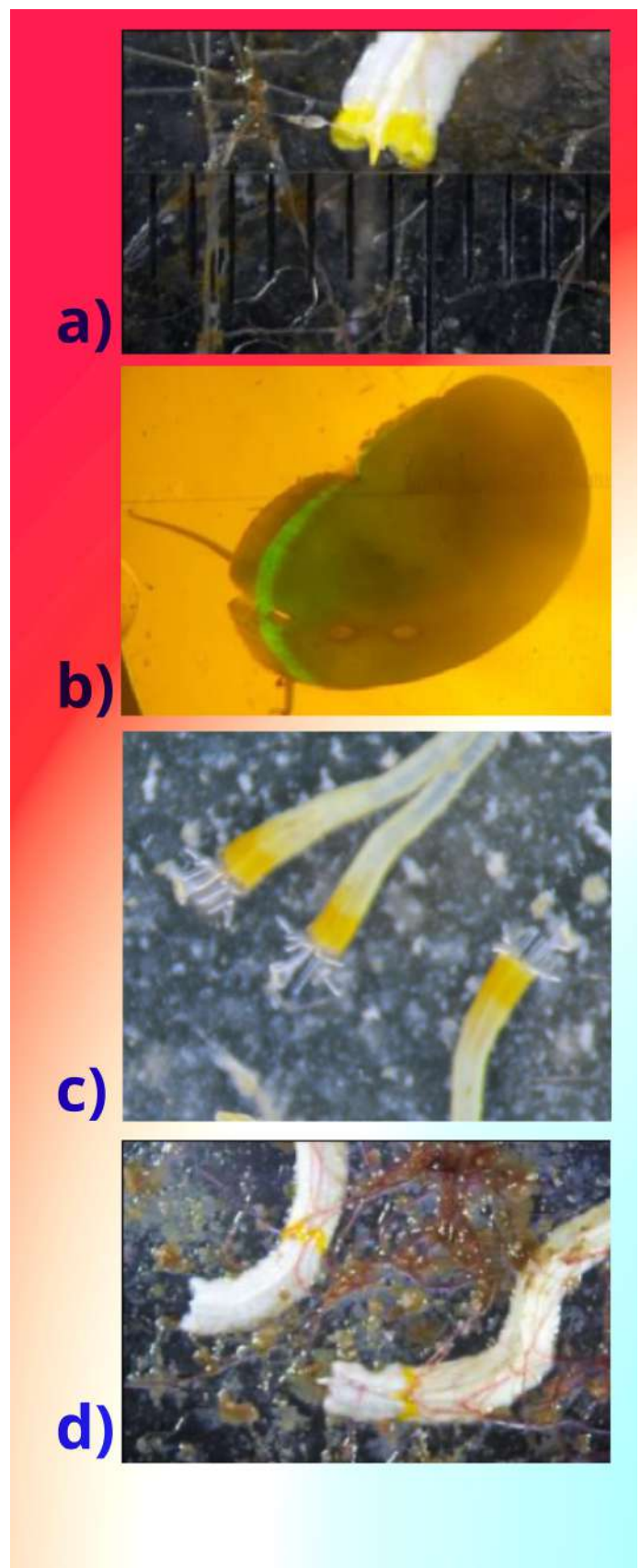


Figura. 3 Ejemplos de organismos marcados con el colorante fluorescente calceína:
a) Serpúlido *Spirobranchus triqueter* recién marcado con calceína;
b) Después de 3 meses en experimento de acidificación;
c) Juveniles de *Spirobranchus* recién marcados;
d) Juvenil de abulón rojo *Haliotis rufescens*



LITERATURA CITADA

- Byrne, M. 2011a. Unshelled abalone and corrupted urchins, development of marine calcifiers in a changing ocean. Proceedings of the Royal Society Series B. DOI: 1098/rspb.2010.2404
- Byrne, M. 2011b. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 49: 1-42.
- Chan, V. et al. 2012. CO₂ driven ocean acidification alters and weakens integrity of the calcareous tubes produced by the serpulid tubeworm *Hydroides elegans*. PLoS ONE 7: e42718
- Canadell, J., Le Queré, C. Raupach, M.R. et al Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity and efficiency of natural sinks. Proceedings Natural Acad. of Sciences, USA, 104, 18866-18870.
- Díaz-Castañeda, V. T.E. Cox, F. Gazeau, S. Fitzner, J. Delille, S. Alliouane & J.P. Gattuso. 2019. Ocean acidification affects calcareous tube growth in adults and reared offspring of serpulid polychaetes. J. of Experimental Biology 222: 1-11.
- Gattuso, J.P. & L. Hansson. 2012. Ocean Acidification. Oxford University Press. 326 pp.
- Kroeker, K., R. Kordas, R. Crim, I. Hendriks, L. Ramajo, G. Singh, C. Duarte & J.P. Gattuso. 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. Global Change Biology 19: 1884-1896.
- Le Queré, C. Raupach, M.R., Canadell, J et al. 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. Nature Geoscience, 2, 831-836.
- Luthi D., M. Le Floch, B. Bereiter et al. 2008. High resolution carbon dioxide concentrations record 650,000 – 800,000 years before present. Nature 453: 379-382.
- Magnan A., R. Billé, S. Cooley, R. Kelly, H. Otto Portner, C. Turley & J.P. Gattuso. 2015. Intertwined ocean and climate implications for international climate negotiations. IDDRI 4 pp.
- Munday, P., D. Dixon, M. McCormick, M. Meekan, M. Ferrari & D. Chivers. 2010. Replenishment of fish populations is threatened by ocean acidification. Proc National Acad Sciences, 107 (29): 12930-12934.
- Orr, J.C. 2012. Recent and future changes in ocean carbonate chemistry. In: Ocean Acidification. Oxford University Press. p 41-66.
- Pelejero, C., E. Calvo & O. Hoegh-Guldberg. 2010. Paleoperspectives in ocean acidification. Trends in Ecology and Evolution 25 (6): 332-343.
- Zeebe R.E., J.C. Zachos, J. Caldeira & T Tyrell. 2008. Oceans: carbon emissions and acidification. Science, 321: 51-52.

THE AMPHIBIANS AND REPTILES OF THE LOS CHIMALAPAS REGION, ISTHMUS OF TEHUANTEPEC, OAXACA, MEXICO: COMPOSITION, DISTRIBUTIONAL CATEGORIZATION, CONSERVATION STATUS, AND BIODIVERSITY SIGNIFICANCE



¹ELÍ GARCÍA-PADILLA, ²VICENTE MATA-SILVA, ⁴IVÁN VILLALOBOS-JUÁREZ, ⁵EDUARDO ALEXIS LÓPEZ-ESQUIVEL, ⁶MARIO C. LAVARIEGA, ^{2,3}ARTURO ROCHA, ⁷DOMINIC L. DESANTIS, ⁸ANA IRIS MELGAR- MARTÍNEZ, ²JERRY D. JOHNSON, ⁹LYDIA ALLISON FUCSKO, ¹⁰DAVID LAZCANO, AND ¹¹LARRY DAVID WILSON

¹Biodiversidad Mesoamericana, Oaxaca de Juárez, Oaxaca 68023, México.

²Department of Biological Sciences, The University of Texas at El Paso, El Paso, Texas 79968-0500, USA.

³Department of Biological Sciences, El Paso Community College, El Paso, Texas 79927, USA.

⁴Colección Zoológica, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria. 20131. Aguascalientes, Ags, México.

⁵Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 04510, México.

⁶Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Hornos 1003, 71230 Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

⁷Department of Biological & Environmental Science, Georgia College & State University, Milledgeville, Georgia 31061-0490, USA.

⁸Tres Lagunas, San Javier, Lacanjá Chansayab, Ocosingo, Chiapas 29950, México.

⁹Department of Humanities and Social Sciences, Swinburne University of Technology, Melbourne, Victoria, Australia.

¹⁰ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Herpetología, Apartado Postal-157, San Nicolás de los Garza, C.P. 66450, Nuevo León, México.

¹¹ Centro Zamorano de Biodiversidad, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, Honduras; 1350 Pelican Court, Homestead, Florida 33035-1031, USA.

DEDICATION



We are pleased to dedicate this paper to the memory of Thomas MacDougall (1898–1973), a professional herpetologist, horticulturist, botanical explorer, and scientific collector of plant specimens for herbarium and propagation purposes. Born in Scotland, he graduated from the New York State College of Forestry, in Ithaca. Starting in 1930, he made extremely important mammal and herpetological collections in Mexico. In the Isthmus of Tehuantepec, he was known as “Don Tomás,” and he became a naturalized citizen of Mexico, and from the 1940’s to 1970’s he became a naturalist pioneer and formally explored the mythical region of the Los Chimalapas. His epic expeditions in this region, the most biodiverse in Mexico, were immortalized in his article “The Chima Wilderness” (1971). Among the many botanical species new to science that he encountered during his explorations, Don Tomás was the first (and last) person to formally document the presence of the Resplendent Quetzal (*Pharomachrus mocinno*) in the region. Near a site called “La Gloria,” he also discovered the type specimen of the enigmatic Rowley’s Palm Pitviper (*Bothriechis rowleyi*), originally described by the late Hobart M. Smith as *Bothrops nigroviridis macdougalli* in his honor (Figs. 1, 2).

ABSTRACT

Given the unceasing momentum of the ongoing global biodiversity crisis, we placed an elevated sense of urgency on documenting and reporting the occurrence and distribution of species, and the threats to their persistence. Further, this urgency is enhanced when dealing with secretive species from understudied regions. Herein, we present an updated taxonomic list of the 155 species of amphibians and reptiles found in the Los Chimalapas region of the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. We also include data on the geographic and ecological distribution and conservation status of the species involved, which includes 44 anurans, eight salamanders, one caecilian, one crocodylian, 93 squamates, and eight turtles. The Chimalapas stand out as a high biodiversity region for amphibians and reptiles.

RESUMEN

Dado el incesante impulso de la actual crisis mundial de la biodiversidad, existe una gran urgencia en documentar y reportar la ocurrencia y distribución de especies, y las amenazas para su persistencia. Esta urgencia aumenta aún más cuando se trata de especies secretivas de regiones poco estudiadas. Presentamos una lista taxonómica actualizada de las 155 especies de anfibios y reptiles de la región de Los Chimalapas en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. También incluimos datos sobre la distribución geográfica, ecológica y el estado de conservación de las especies involucradas, incluyendo 44 anuros, ocho salamandras, un cecílico, un cocodrilo, 93 escamosos y ocho tortugas.

Keywords: Community conservation; conservation status; distribution status; endemism; herpetofaunal update; high-priority regions; tropical evergreen forest, and montane cloud forest.



“SINCE 1930 I HAVE SPENT EVERY WINTER VACATION IN THE MEXICAN STATES OF OAXACA AND CHIAPAS. THIS ENTIRE REGION IS RICH IN RARE AND UNKNOWN SPECIES OF PLANTS AND ANIMALS, BUT IT WAS YEARS BEFORE I DISCOVERED THAT IT ALSO INCLUDES A TREMENDOUS UNITARY AREA OF UNINHABITED PRIMEVAL FOREST, VIRTUALLY UNTOUCHED... THE CHIMAS, AS THE INHABITANTS ARE KNOWN LOCALLY, STATE POSSESSION OF AN IMMENSE TERRITORY... LEGEND MAKES THIS REGION THE LAST REFUGE OF THE BINI DANI, THE ZAPOTEC NAME FOR ANCIENT PEOPLES WHO FLED TO THE MOUNTAINS RATHER THAN ACCEPT SPANISH CULTURE AND RELIGION.”

-THOMAS MACDOUGALL (1971).

INTRODUCTION

Globally, Mexico is ranked second and fifth in terms of the extent of reptile and amphibian biodiversity, respectively (Johnson *et al.*, 2017). Of the 32 federal entities in Mexico, Oaxaca stands out as the first in biological diversity and amount of endemism in this group of terrestrial vertebrates (Mata-Silva *et al.*, 2021). The region of the Los Chimalapas is located in the eastern portion of the state of Oaxaca, on the Isthmus of Tehuantepec. This region is a bastion of biodiversity of about 1 million hectares (= ha) in extent and also is known as the Gran Selva Zoque, including the immediate vicinities of Veracruz and Chiapas. This vast territory, mostly of communal tenure land (no private property is involved), is mostly under the legitimate and ancestral custody of the *Ang p̄on* or Zoque-Chimalapa of San Miguel and Santa María Chimalapa municipalities.

The Chimalapas region is known to harbor the second largest remnant of tropical forests in Mesoamerica, after the Gran Selva Maya in southeastern Mexico and northern Guatemala and Belize. The Zoque-Chimalapa people, even while being in a situation of dispossession and territorial invasion, maintain to date close to 600,000 ha of a mosaic of tropical forests, which includes tropical evergreen forest and montane cloud forest, of which ca. 400,000 ha are in an excellent state of conservation after more than 3,000 years of proven occupation (García-Aguirre, 2013). The biodiversity in the Los Chimalapas region is impressive. A checklist of terrestrial vertebrate species in this region reported at least 35 species of amphibians, 68 species of reptiles (Mata-Silva *et al.*, 2015), 464 species of birds (Peterson *et al.*, 2003), and 149 species of mammals (Lira-Torres *et al.*, 2012). These numbers represent 8.8 and 7.5% of the amphibians and reptiles in Mexico (Johnson *et al.*, 2017), 41.3% of the birds (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014), and 30.0% of the mammals (Ramírez-Pulido *et al.*, 2014).

To date, scientific exploration in this region has not been adequate, and important gaps in knowledge persist for various zoological, botanical, and fungal groups. Recent surveys, however, have shown that herpetofaunal biodiversity has been overlooked. For example, Aguilar-López *et al.*, (2016) reported 51 species for the Uxpanapa-Chimalapa regions, including the municipality of Uxpanapa in southern Veracruz, Los Chimalapas in Oaxaca, and the adjacent vicinity of Las Choapas in northwestern Chiapas, thereby illustrating a high proportion of endemic and threatened species. In the case of reptiles, the same authors provided a

list consisting of 141 species for Uxpanapa-Chimalapa-Choapas (Aguilar López *et al.*, 2021). Consequently, a herpetofaunal checklist for high-biodiversity regions, such as the Los Chimalapas, is required for the specific municipalities inside the state of Oaxaca (San Miguel and Santa María Chimalapa) to be used as a baseline for developing conservation plans at the state level.

DESCRIPTION OF THE LOS CHIMALAPAS REGION

The region of the Los Chimalapas is located in the eastern part of the state of Oaxaca, and is bordered to the north by Veracruz, to the east by Chiapas (leaving a small portion of the communal territory in the current municipalities of Cintalapa and Ocozocoautla), to the west by the Colonia Agrícola y Ganadera Cuauhtémoc, and the municipalities of Santa María Petapa and Matías Romero, and to the south by the municipalities of Santo Domingo Ingenio, Santiago Niltepec, Santo Domingo Zanatepec, and San Pedro Tapanatepec; all are in the state of Oaxaca (Fig. 3).

The Chimalapas region is located in the heart of the Isthmus of Tehuantepec. This vast region of 594,000 ha is the ancestral property of two agrarian communities of Zoque Olmec origin: Santa María Chimalapa to the north, on the Gulf slope (460,000 ha), and San Miguel Chimalapa to the south, on the Pacific slope (134,000 ha). This area is ancestral indigenous territory, occupied for many centuries before the states of Oaxaca and Chiapas existed. This region is of significant ecological relevance in Mexico and Mesoamerica because of its rugged topography, which ranges from the coastal plains to elevations of 200 meters (= m) above sea level (= masl) to mountain ranges reaching 2,300 masl, and harbors a vast diversity of tropical ecosystems. The initial impression one might have of this region is that it is composed of a uniform area of tropical rainforest, which is not the case because it actually consists of a varied mosaic of natural vegetation, including tropical evergreen forest, medium sub-evergreen forest, montane cloud forest, pine forest, pine-oak forest, low deciduous and sub-deciduous forest, and two unusual ecosystems called *chaparrera* and Andean *páramo*. All of these vegetational types are intermingled in an approximate area of 600,000 ha, of which, according to studies carried out around 1997 by the Society for the Study of Biotic Resources of Oaxaca (SERBO A.C., cited in García-Aguirre, 2015), 78% (almost 463,000 ha) was in a very good state of conservation, with only 5% (30,000

ha) totally deforested after 3,000 years of indigenous presence. Notably, of almost half a million hectares of diverse and well-preserved vegetation, 220,000 ha contain tropical evergreen forest and more than 60,000 ha are covered by montane cloud forest; these two complex natural ecosystems are well known to contain the greatest levels of biodiversity on the planet (García-Aguirre, *op. cit.*), (Fig. 4).

COMPOSITION OF THE HERPETOFAUNA

We present a taxonomic list of the herpetofauna updated to 2022, which comprises a total of 155 species (53 amphibians and 102 reptiles). We also present a summary of the composition of the Los Chimalapas herpetofauna (Table 1).

As typically is the case in tropical herpetofaunal studies, the number of amphibian species is fewer in number than that of reptiles. In the Los Chimalapas region the amphibians (53 species) comprise 34.2% of the total number of species (155), and the reptiles (102 species) represent 65.8% of the total. The ratio of amphibian to reptilian species in the Chimalapas is 53/102 or 0.52.

Of the 53 amphibians, 44 are anurans (83.0%), eight are salamanders (15.1%), and one is a caecilian (1.9%). Of the 102 reptiles, one is a crocodylian (1.0%), 93 are squamates (91.2%), and eight are turtles (7.8%), see Table 1. The percentage representation of these groups in the Los Chimalapas compared to that of the state of Oaxaca ranges from 17.0% in the salamanders to 50.0% in the caecilians. The average percentage representation for amphibians is 33.5%, for reptiles 31.7%, and for both groups 32.3% (Table 1).

Compared to the numbers for all of Mexico, the amphibians comprise from 5.0–33.3% ($\bar{x} = 12.7\%$) and the reptiles from 10.3–33.3% ($\bar{x} = 10.6\%$), with a total average of 11.3% (Table 1). In general, the Los Chimalapas region contain about one third of the herpetofauna of the state of Oaxaca, which is the most speciose state in Mexico (Mata-Silva *et al.*, 2021). This region also supports a bit more than one-tenth of the total herpetofauna of Mexico (mesoamericanherpetology.com; accessed 26 April 2022).

DISTRIBUTIONAL STATUS OF THE HERPETOFAUNA

For the distributional status of the Los Chimalapas herpetofauna, we used the same categories as in all the entries in the Mexican Conservation Series, beginning with Alvarado-Díaz *et al.*, (2013). These categories, as used in this paper, are: NE (non-endemic to Mexico); CE (endemic to Mexico); RE (endemic to the Los Chimalapas region); and NN (non-native to Mexico). Nonetheless, since the Alvarado-Díaz *et al.*, (2013) paper dealt with the herpetofauna of the state of Michoacán, instead of using the category SE for state endemics we used RE for regional endemics. In addition, for the non-endemic

species we used the distributional categories established by Wilson *et al.*, (2017). We list the data on distributional status in Appendix 1 and present a summary in Table 2.

The data in Table 2 indicate that the largest group of non-endemic species in the Los Chimalapas are categorized as MXCA, i.e., species that occur both in Mexico and Central America; this number is 76 or 70.4% of the total number of non-endemic species of 108 and 49.0% of the total number of species of 155 for the region. The next largest group of species in the region comprises the country endemics, of which there are 40 or 25.8% of the total. Together, these two groups make up 116 or 74.8% of the total. Most of the remaining non-endemic species are categorized as MXSA, i.e., species that range from Mexico to South America; there are 23 such species or 14.8% of the total. Only four of the 155 species (2.6%) are regional endemics, of which there are one amphibian (*Ixalotriton parvus*) and three reptiles (*Xenosaurus arboreus*, *Cenaspis aenigma*, and *Chersodromus australis*). The two species of snakes were recently described, in 2018 (Reptile Database; accessed 05 January 2022). Only a single non-native species is recorded from the Los Chimalapas region, the widespread gecko *Hemidactylus frenatus*.

CONSERVATION STATUS OF THE HERPETOFAUNA

The anthropogenic drivers of the sixth major mass extinction episode have been well documented (Kolbert, 2015). These are the drivers that all conservation biologists are attempting to defeat.

We examined the conservation status of the herpetofauna of the Los Chimalapas region of Oaxaca by using three systems of assessment, including the EVS system (Wilson *et al.*, 2013a, b), the IUCN system (www.iucnredlist.org), and the SEMARNAT system (SEMARNAT, 2012). We placed the data arising from the application of these three systems in Appendix 1, and summarize them in Appendix 2. As usual, we found the SEMARNAT system to be the least useful, insofar as only 63 of 154 native species (40.9%) have been evaluated; 91 species (59/1%) remain unevaluated. Of these 63 species, five have been allocated to the P or Endangered category (3.2% of total of 154), 12 to the A or Threatened category (7.8%), and 46 to the Pr or Special Protection category (29.9%).

The IUCN system shares the same deficiency as the SEMARNAT system, i.e, in having a large portion of species that have not been evaluated. Of a total of 154 native species in the Los Chimalapas region, 57 or 37.0% remain unevaluated. Another deficiency of this system is that a fairly high percentage of species have been placed in the Data Deficient (DD) categories (nine species or 5.8%). In addition, 55 species (35.7%) have been placed in the Least Concern (LC) category. Only 24 species (15.8%) have been placed in the three threat categories (CR, EN, VU), and only nine (5.8%) in the Near Threatened (NT) category.

One of the advantages of the EVS system is that all of the species occurring in the region, except for the single non-native species, can be evaluated. We summarize these evaluations in Appendix 2. The values range from 3 to 19, which is one less than the entire theoretical range of values. As in other papers using this measure, this range of values is partitioned into three categories of vulnerability, i.e., low, medium, and high. The low values range from 3 to 9 and are applied to a total of 59 or 38.3% of 154 native species; the medium values range from 10 to 13 and are attached to another total of 59 species or 38.3% of the total; and the high values range from 14 to 19 and are associated with 36 species or 23.4% of the total. As a result of this analysis, it is evident that the species of most significant conservation concern are five of the 44 anurans (* = endemic species of Mexico, ** = species endemic to Chimalapas region of Oaxaca), viz., *Craugastor berkenbuschii**, *C. lineatus*, *C. rhodopsis**, *C. silvicola**, and *Quilticohylla zoque**, five of the eight salamanders (*Bolitoglossa alberchi**, *B. platyductyla**, *B. veracruzis**, *Ixalotriton niger**, and *I. parvus***), 21 of the 90 squamates (*Abronia bogerti**, *A. ornelasi**, *Norops alvarezdeltoroi**, *N. compressicauda**, *N. cuprinus**, *N. purpuronectes**, *N. pygmaeus**, *Ctenosaura oaxacana**, *Phyllodactylus muralis**, *Xenosaurus arboreus***), *Ficimia ramirezi**, *Salvadora lemniscata**, *Tantilla briggsi**, *T. striata**, *Adelphicos latifasciatum**, *Cenaspis aenigma***), *Oxyrhopus petolarius**, *Micrurus ephippifer**, *Bothriechis rowleyi**, *Crotalus culminates**, and *Metlapilcoatlus olmec*), and five of the eight turtles (*Chelydra rossignonii*, *Dermatemys mawii*, *Kinosternon acutum*, *Claudius angustatus*, and *Staurotypus triporcatus*) (Figs. 5–50). Consequently, 26 of these 36 species (72.2%) are country endemics, and three are regional endemics (8.3%); the remaining seven species (19.4%) are non-endemics.

DISCUSSION

In this paper, we updated our knowledge on the herpetofauna of the Los Chimalapas region. As result, we demonstrated that this site qualifies as a significant hotspot of diversity for these two vulnerable groups of vertebrates at the state and country levels, as previously was indicated for birds (Peterson *et al.*, 2003) and mammals (Lira-Torres *et al.*, 2012).

Perusal of Table 1 indicates that the total number of species for this region (155) is 32.3% of the total of 480 species for the state of Oaxaca and 11.3% of the total of 1,377 species for Mexico (see above). The values for the anurans are proportionately better represented, as they comprise 44 species, 40.4% of the 109 Oaxacan species, and 17.4% of the 253 Mexican species (Mata-Silva *et al.*, 2021; mesoamericanherpetology.com; accessed 05 January 2022). Proportionally, the salamanders are less well represented, as with eight species they comprise only 17.0% of the 47 Oaxacan species and 5.0% of the 161 Mexican species. Since the total number of caecilians in the Mexican herpetofauna is so low, it is not surprising that the single species in the Los Chimalapas

region represents 50.0% of the number in Oaxaca (two) and 33.3% of the number for Mexico (three). As a whole, the 53 amphibian species in Los Chimalapas constitute 33.5% of the 158 Oaxacan amphibians and 12.7% of the 417 Mexican amphibian species (Mata-Silva *et al.*, 2021; mesoamericanherpetology.com; accessed 05 January 2022).

The single species of crocodylian is only 33.3% of both the three Oaxacan and Mexican species. The proportion of the 93 Chimalapan squamates is 31.0% of the 300 Oaxacan species and 10.3% of the 904 Mexican species, which is close to the values for the total reptilian fauna of 102 species, i.e., 31.7% of 322 Oaxacan species and 10.6% of 960 Mexican species. Given the relatively few turtle species found in the Chimalapan region, the proportion of the eight species is 42.1% of the total of 19 species for Oaxaca and 15.1% of the 53 of the total Mexican species (Mata-Silva *et al.* 2021; mesoamericanherpetology.com; accessed 05 January 2022).

The ratio of amphibian to reptilian species in the Los Chimalapas is similar to that reported for Oaxaca (0.49; 158/322) and Mexico as a whole (0.43; 417/960).

In a recent reexamination of the members of the herpetofauna of Oaxaca, Mexico (Mata-Silva *et al.*, 2021), these authors documented that among the 12 recognized physiographic regions in their study, the Sierra Madre de Chiapas (SMC) is one of the three most diverse herpetofaunal regions in the state of Oaxaca, which also is the Mexican state with the highest levels of biodiversity. Still, with regard to numbers of species, the SMC is less diverse than the Sierra Madre de Oaxaca (SMO) and the Sierra Madre del Sur (SMS). The data provided by Mata-Silva *et al.*, (2021) indicated a total of 227 species for the SMO, 165 species for the SMS, and 152 species for the SMC. In this study, we show a slight increase in species numbers in the Oaxacan portion of the SMC, from 152 to 155. We believe that the principal reasons why the number of herpetofaunal species in the SMC is less than those in the SMO and SMS, is because of the smaller size of the SMC relative to the size of the other two regions, in addition to a lesser degree of field effort expended in the smallest region.

To stress the biological relevance of the Los Chimalapas region, a recent study (Figel *et al.*, 2018) evaluated the umbrella value of jaguar (*Panthera onca*) for the endemic herpetofauna in Nuclear Central America (= NCA), a ~ 370,000 km² region. The NCA contains the greatest density of threatened reptiles in the Western Hemisphere and harbors an extraordinarily high diversity of amphibians, the most threatened class of vertebrate worldwide. Of the 304 regional endemics in the NCA, the distributions of 187 species of amphibians and reptiles (61.5%) overlapped the ground-truthed range of the jaguar. The results demonstrated that Los Chimalapas, with a total of 59 regional and country-level endemic species of amphibians and reptiles is the most significant locality in terms of the number of species that receive direct conservation benefits from the presence of the jaguar in the entirety of the NCA.

In the regions of Los Chimalapas and La Chinantla, the Zoque and Chinantecan indigenous people have been preserving these substantial hotspots of biodiversity under the social tenure of the land, and the voluntary conservation community initiatives have been effective for more than 3,000 years of known occupation and management. As a result of the lack of systematic monitoring of wildlife in the Los Chimalapas and Chinantla regions in Oaxaca, we suspect that many herpetofaunal species remain to be discovered, reported, and formally described, which is not the expected case in the Selva Lacandona and El Triunfo in Chiapas, where significantly more studies have been conducted during the decades of Mexican governmental presence (expropriation) and the respective intrusion of such environmental institutions as CONANP and several NGOs.

The indigenous communities are the guardians of 80% of the remnant biodiversity on our planet (United Nations, 2009). So, for us as biologists, we have to recognize that the people of these indigenous communities are the real social and environmental heroes. These people deserve considerable respect and recognition for their labor, which has been conducted over centuries and millennia of proven occupation of their ancestral territories. Similarly, this also is the case with the Los Chimalapas region, with the proven presence of ca. 3,000 years by the Zoques, Chima, or *Ang p̄on*, the direct descendants of the prehistoric Olmecs (the mother culture of Mesoamerica). After all this time, they still preserve ca. 400,000 ha of a mix of tropical forest types in excellent conservation status, which in fact, at the country level is the most biologically diverse region (see García-Padilla, 2020). The recognition and support of the local indigenous communities is highly important, as well as their efforts to preserve their ancestral territories and natural resources in common under the social tenure of the land and their community conservation initiatives. To do so might be the only real hope for the conservation of biodiversity for perpetuity.

“UNLESS WE PRACTICE CONSERVATION, THOSE WHO COME AFTER US WILL HAVE TO PAY THE PRICE OF MISERY, DEGRADATION, AND FAILURE FOR THE PROGRESS AND PROSPERITY OF OUR DAY.”

—GIFFORD PINCHOT (1910)

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

CONCLUSIONS

- A. The region of the Los Chimalapas is a 594,000 ha ancestral property of two indigenous communities of Zoque Olmec origin, located in the Isthmus of Tehuantepec in the eastern part of the Mexican state of Oaxaca.
- B. The herpetofauna of the region of the Los Chimalapas in Oaxaca, Mexico, is comprised of 155 species, including 44 anurans, eight salamanders, one caecilian, one crocodylian, 93 squamates, and eight turtles.
- C. The largest distributional grouping of the herpetofauna consists of species that occur in both Mexico and Central America (76),

with the next largest group made up of the species endemic to Mexico (40).

- D. The EVS for the 154 native members of the herpetofauna are arranged into low (59 species), medium (59 species), and high (36 species). Only 63 of the 154 native species in Los Chimalapas have been evaluated by the SEMARNAT system and 57 of these species remain unevaluated by the IUCN system, whereas 55 are placed in the Least Concern category and nine in the Data Deficient category.
- E. Of most significant conservation concern are the 36 species of high EVS vulnerability, which include five anurans, five salamanders, 21 squamates, and five turtles.
- F. The Los Chimalapas region is part of the Sierra Madre de Chiapas in Oaxaca, and is one of the three most important herpetofaunal regions in the state. In turn, Oaxaca is the most herpetofaunally diverse state in the country of Mexico. In addition, Los Chimalapas, along with the La Chinantla region, contain greater terrestrial vertebrate diversity than the two nationally protected areas, the Selva Lacandona and El Triunfo, long thought to be the most diverse regions of the country.
- G. Indigenous communities are extremely important as guardians of eight-tenths of the remaining biodiversity on the planet. In Los Chimalapas, descendants of the ancestral Olmec indigenous peoples are providing protection as part of the continuing legacy of 3,000 years of their occupancy of the region, as perhaps the only real hope for lasting conservation of this significant component of the Mexican biological patrimony.

RECOMMENDATIONS

- A. Based on its enormous diversity, we strongly recommend that the Mexican government and its respective environmental institutions, such as SEMARNAT, recognize the Los Chimalapas region as the priority number one region for conservation in the entire country.
- B. We also encourage the aforementioned institutions to recognize that local communities are doing a tremendous job conserving the biodiversity under the social tenure of the land, as well as the community conservation initiatives.
- C. The region of the Los Chimalapas needs to be supported by the Mexican government and its institutions to initiate other types of eco-friendly productive activities, such as low impact ecotourism, social forest management, agroecology, and payment for environmental services.
- D. We strongly believe that social justice goes hand in hand with a healthy environment and the preservation of its ecosystems, in addition to the environmental services they provide for humanity.

Groups	Chimalapas	Oaxaca	Mexico	Percentage
Anura	44	109	253	40.4/17.4
Caudata	8	47	161	17.0/5.0
Gymnophiona	1	2	3	50.0/33.3
Subtotals	53	158	417	33.5/12.7
Crocodylia	1	3	3	33.3/33.3
Squamata	93	300	904	31.0/10.3
Testudines	8	19	53	42.1/15.1
Subtotals	102	322	960	31.7/10.6
Totals	155	480	1,377	32.3/11.3

Table 1. Summary of ordinal numbers of native and non-native species in the herpetofauna of the Los Chimalapas region of Oaxaca, the state of Oaxaca, and the country of Mexico. Percentages include ratios of those in the Los Chimalapas compared to those in the state of Oaxaca and the country of Mexico. Data for the state of Oaxaca from Mata-Silva *et al.*, (2021) and for Mexico from mesoamericanherpetology.com; accessed 06 January 2022.

Groups	Non-endemic Species					Country Endemics	Regional Endemics	Non-native Species	Totals
	3	4	6	7	8				
Anura	—	24	4	4	1	11	—	—	44
Caudata	—	3	—	—	—	4	1	—	8
Gymnophiona	—	1	—	—	—	—	—	—	1
Subtotals	—	28	4	4	1	15	1	—	53
Crocodylia	—	1	—	—	—	—	—	—	1
Squamata	2	42	16	3	1	25	3	1	93
Testudines	—	5	3	—	—	—	—	—	8
Subtotals	2	48	19	3	1	25	3	1	102
Totals	2	76	23	7	2	40	4	1	155

Table 2. Summary of distributional categorization for the species of the herpetofauna of the Chimalapas region of Oaxaca, Mexico. The numbers indicated below the non-endemic box refer to the following distributional categories (as explained in Wilson *et al.*, [2017]): 3 (MXUS—species distributed only in Mexico and the United States); 4 (MXCA—species found both in Mexico and Central America); 6 (MXSA—species ranging from Mexico to South America); 7 (USCA—species ranging from the United States to Central America); and 8 (USSA—species ranging from the United States to South America).



Taxa	Distributional Status	Environmental Vulnerability Category (Score)	IUCN Categorization	SEMARNAT Status
Class Amphibia (53 species) Order Anura (44 species) Family Bufonidae (7 species)				
<i>Incilius canaliferus</i>	NE4	L (8)	LC	NS
<i>Incilius coocifer</i>	NE4	L (9)	LC	Pr
<i>Incilius macrocristatus</i>	NE4	M (11)	VU	NS
<i>Incilius marmoreus*</i>	CE	M (11)	LC	NS
<i>Incilius tutelarius</i>	NE4	M (10)	EN	NS
<i>Incilius valliceps</i>	NE4	L (6)	LC	NS
<i>Rhinella horribilis</i>	NE7	L (3)	LC	NS
Family Centrolenidae (1 species)				
<i>Hyalinobatrachium viridissimum</i>	NE4	M (10)	NE	NS
Family Craugastoridae (8 species)				
<i>Craugastor berkenbuschii*</i>	CE	H (14)	NT	Pr
<i>Craugastor laticeps</i>	NE4	M (12)	NT	Pr
<i>Craugastor lineatus</i>	NE4	H (15)	CR	Pr
<i>Craugastor loki</i>	NE4	M (10)	LC	NS
<i>Craugastor pygmaeus</i>	NE4	L (9)	VU	NS
<i>Craugastor rhodopis*</i>	CE	H (14)	VU	NS
<i>Craugastor rugulosus*</i>	CE	M (13)	LC	NS
<i>Craugastor silvicola*</i>	CE	H (18)	EN	NS
Family Eleutherodactylidae (1 species)				
<i>Eleutherodactylus leprus</i>	NE4	M (12)	VU	NS
Family Hylidae (17 species)				
<i>Charadrahyla chaneque*</i>	CE	M (13)	EN	Pr
<i>Dendropsophus microcephalus</i>	NE6	L (7)	LC	NS
<i>Duellmanohyla chamulae*</i>	CE	M (13)	EN	Pr
<i>Duellmanohyla schmidtorum</i>	NE4	L (8)	VU	Pr
<i>Exerodonta chimalapa*</i>	CE	H (12)	EN	NS
<i>Exerodonta sumichrasti*</i>	CE	L (9)	LC	NS
<i>Plectrohyla hartwegi</i>	NE4	M (10)	CR	Pr
<i>Plectrohyla matudai</i>	NE4	M (11)	VU	NS
<i>Ptychohyla euthysanota</i>	NE4	L (8)	NT	A
<i>Quilticohyla zoque*</i>	CE	H (14)	NE	NS
<i>Scinax staufferi</i>	NE4	L (4)	LC	NS
<i>Smilisca baudinii</i>	NE7	L (3)	LC	NS
<i>Smilisca cyanosticta</i>	NE4	M (12)	NT	NS
<i>Tlalocohyla loquax</i>	NE4	L (7)	LC	NS
<i>Tlalocohyla picta</i>	NE4	L (8)	LC	NS
<i>Trachycephalus vermiculatus</i>	NE6	L (4)	LC	NS
<i>Tripurion spatulatus*</i>	CE	M (13)	LC	NS
Family Leptodactylidae (2 species)				
<i>Leptodactylus fragilis</i>	NE8	L (5)	LC	NS
<i>Leptodactylus melanonotus</i>	NE6	L (6)	LC	NS
Family Microhylidae (2 species)				
<i>Hypopachus ustus</i>	NE4	L (7)	LC	Pr
<i>Hypopachus variolosus</i>	NE7	L (4)	LC	NS

Appendix 1. Updated and corrected list of the amphibians and reptiles in the Los Chimalapas region. * = endemic species of Mexico. ** = species endemic to Chimalapas region of Oaxaca. TC = Species documented in the authors' fieldwork. M = record of a scientific collection-museum specimen. Distributional Status: NE = non-endemic; CE = country endemic; RE = regional endemic. The numbers suffixed to the NE category signify the distributional categories developed by Wilson *et al.*, (2017), and implemented on the taxonomic list at the Mesoamerican Herpetology website (mesoamericanherpetology.com), as follows: 3 (species distributed only in Mexico and the United States); 4 (species ranging from Mexico to Central America); 6 (species ranging from Mexico to South America); 7 (species ranging from the United States to Central America); and 8 (species ranging from the United States to South America). Environmental Vulnerability Category (Score): A = High (14–20), M = Medium (10–13) and B = Low (3–9). IUCN categorizations: CR (Critically Endangered); EN (Endangered); VU (Vulnerable); NT (Near Threatened); LC (Least Concern); DD (Data Deficient); and NE (Not Evaluated). SEMARNAT Status: P = Endangered; A = Threatened; Pr = Special Protection; and NS = No Status.

Taxa	Distributional Status	Environmental Vulnerability Category (Score)	IUCN Categorization	SEMARNAT Status
Family Phyllomedusidae (1 species)				
<i>Agalychnis taylori</i>	NE4	M (11)	NE	NS
Family Ranidae (4 species)				
<i>Lithobates brownorum</i>	NE4	L (8)	NE	Pr
<i>Lithobates forreri</i>	NE4	L (3)	LC	Pr
<i>Lithobates maculatus</i>	NE4	L (5)	LC	NS
<i>Lithobates vaillanti</i>	NE6	L (9)	LC	NS
Family Rhinophrynidae (1 species)				
<i>Rhinophrynus dorsalis</i>	NE7	L (8)	LC	NS
Order Caudata (8 species)				
Family Plethodontidae (8 species)				
<i>Bolitoglossa alberchi*</i>	CE	H (15)	LC	NS
<i>Bolitoglossa mexicana</i>	NE4	M (11)	LC	Pr
<i>Bolitoglossa occidentalis</i>	NE4	M (11)	LC	Pr
<i>Bolitoglossa platydactyla*</i>	CE	H (15)	NT	Pr
<i>Bolitoglossa rufescens</i>	NE4	L (9)	LC	Pr
<i>Bolitoglossa veracrucis*</i>	CE	H (17)	EN	Pr
<i>Ixalotriton niger*</i>	CE	H (18)	CR	P
<i>Ixalotriton parvus**</i>	RE	H (18)	CR	A
Order Gymnophiona (1 species)				
Family Dermophiidae (1 species)				
<i>Dermophis mexicanus</i>	NE4	M (11)	VU	Pr
Class Reptilia				
Order Crocodylia (1 species)				
Family Crocodylidae (1 species)				
<i>Crocodylus moreletii</i>	NE4	M (13)	LC	Pr
Order Squamata (91 species)				
Family Anguidae (3 species)				
<i>Abronia bogerti*</i>	CE	H (18)	DD	P
<i>Abronia ornelasi*</i>	CE	H (18)	DD	P
<i>Gerrhonotus liocephalus</i>	NE3	L (6)	LC	Pr
Family Corytophanidae (3 species)				
<i>Basiliscus vittatus</i>	NE4	L (7)	NE	NS
<i>Corytophanes hernandesii</i>	NE4	M (13)	NE	Pr
<i>Laemanctus serratus</i>	NE4	L (8)	LC	Pr
Family Dactyloidae (11 species)				
<i>Norops alvarezdeltoroi*</i>	CE	H (17)	DD	NS
<i>Norops biporcatus</i>	NE6	M (10)	NE	Pr
<i>Norops compressicauda*</i>	CE	H (15)	LC	NS
<i>Norops cuprinus*</i>	CE	H (16)	LC	Pr
<i>Norops laevis</i>	NE4	L (9)	NE	NS
<i>Norops petersii</i>	NE4	L (9)	NE	NS
<i>Norops purpuronectes*</i>	CE	H (16)	NE	NS
<i>Norops pygmaeus*</i>	CE	H (16)	EN	Pr
<i>Norops sericeus</i>	NE4	L (8)	NE	NS
<i>Norops tropidonotus</i>	NE4	L (9)	NE	NS
<i>Norops unilobatus</i>	NE4	L (7)	NE	NS

Appendix 1. Updated and corrected list of the amphibians and reptiles in the Los Chimalapas region. * = endemic species of Mexico. ** = species endemic to Chimalapas region of Oaxaca. TC = Species documented in the authors' fieldwork. M = record of a scientific collection-museum specimen. Distributional Status: NE = non-endemic; CE = country endemic; RE = regional endemic. The numbers suffixed to the NE category signify the distributional categories developed by Wilson *et al.*, (2017), and implemented on the taxonomic list at the Mesoamerican Herpetology website (mesoamericanherpetology.com), as follows: 3 (species distributed only in Mexico and the United States); 4 (species ranging from Mexico to Central America); 6 (species ranging from Mexico to South America); 7 (species ranging from the United States to Central America); and 8 (species ranging from the United States to South America). Environmental Vulnerability Category (Score): A = High (14–20), M = Medium (10–13) and B = Low (3–9). IUCN categorizations: CR (Critically Endangered); EN (Endangered); VU (Vulnerable); NT (Near Threatened); LC (Least Concern); DD (Data Deficient); and NE (Not Evaluated). SEMARNAT Status: P = Endangered; A = Threatened; Pr = Special Protection; and NS = No Status.

Taxa	Distributional Status	Environmental Vulnerability Category (Score)	IUCN Categorization	SEMARNAT Status
Family Diploglossidae (1 species)				
<i>Celestus rozellae</i>	NE4	M (13)	NT	Pr
Family Eublepharidae (1 species)				
<i>Coleonyx elegans</i>	NE4	L (9)	NE	A
Familia Gekkonidae (1 species)				
<i>Hemidactylus frenatus***</i>	NN	—	—	—
Family Iguanidae (3 species)				
<i>Ctenosaura oaxacana*</i>	CE	H (19)	CR	A
<i>Ctenosaura similis</i>	NE4	L (8)	LC	A
<i>Iguana rhinolopha</i>	NE4	M (10)	NE	NS
Family Mabuyidae (1 species)				
<i>Marisora brachypoda</i>	NE?	L (6)	NE	NS
Family Phrynosomatidae (3 species)				
<i>Sceloporus internasalis</i>	NE4	M (11)	LC	NS
<i>Sceloporus teapensis</i>	NE4	M (13)	LC	NS
<i>Sceloporus variabilis</i>	NE4	L (5)	NE	NS
Family Phyllodactylidae (1 species)				
<i>Phyllodactylus muralis*</i>	CE	H (14)	LC	Pr
Family Scincidae (1 species)				
<i>Plestiodon sumichrasti</i>	NE4	M (12)	NE	NS
Family Sphaerodactylidae (2 species)				
<i>Sphaerodactylus continentalis</i>	NE4	M (10)	NE	NS
<i>Sphaerodactylus glaucus</i>	NE4	M (12)	NE	Pr
Family Sphenomorphidae (1 species)				
<i>Scincella cherriei</i>	NE4	L (8)	NE	NS
Family Teiidae (2 species)				
<i>Aspidoscelis deppii</i>	NE4	L (8)	LC	NS
<i>Holcosus amphigramus*</i>	CE	M (11)	NE	NS
Family Xantusiidae (3 species)				
<i>Lepidophyma flavimaculatum</i>	NE4	L (8)	NE	Pr
<i>Lepidophyma pajapanense*</i>	CE	M (13)	LC	Pr
<i>Lepidophyma tuxtlae*</i>	CE	M (11)	DD	A
Family Xenosauridae (2 species)				
<i>Xenosaurus arboreus**</i>	RE	H (17)	NE	NS
<i>Xenosaurus rackhami</i>	NE4	M (11)	NE	NS
Family Boidae (1 species)				
<i>Boa imperator</i>	NE6	M (10)	NE	NS
Family Colubridae (18 species)				
<i>Dendrophidion vinitor</i>	NE4	M (13)	LC	NS
<i>Drymarchon melanurus</i>	NE6	L (6)	LC	NS
<i>Drymobius chloroticus</i>	NE4	L (8)	LC	NS
<i>Drymobius margaritiferus</i>	NE8	L (6)	NE	NS
<i>Ficimia publia</i>	NE4	L (9)	NE	NS
<i>Ficimia ramirezi*</i>	CE	H (16)	DD	Pr
<i>Leptophis ahaetulla</i>	NE6	M (10)	NE	A
<i>Leptophis mexicanus</i>	NE4	L (6)	LC	A

Appendix 1. Updated and corrected list of the amphibians and reptiles in the Los Chimalapas region. * = endemic species of Mexico. ** = species endemic to Chimalapas region of Oaxaca. TC = Species documented in the authors' fieldwork. M = record of a scientific collection-museum specimen. Distributional Status: NE = non-endemic; CE = country endemic; RE = regional endemic. The numbers suffixed to the NE category signify the distributional categories developed by Wilson *et al.*, (2017), and implemented on the taxonomic list at the Mesoamerican Herpetology website (mesoamericanherpetology.com), as follows: 3 (species distributed only in Mexico and the United States); 4 (species ranging from Mexico to Central America); 6 (species ranging from Mexico to South America); 7 (species ranging from the United States to Central America); and 8 (species ranging from the United States to South America). Environmental Vulnerability Category (Score): A = High (14–20), M = Medium (10–13) and B = Low (3–9). IUCN categorizations: CR (Critically Endangered); EN (Endangered); VU (Vulnerable); NT (Near Threatened); LC (Least Concern); DD (Data Deficient); and NE (Not Evaluated). SEMARNAT Status: P = Endangered; A = Threatened; Pr = Special Protection; and NS = No Status.

Taxa	Distributional Status	Environmental Vulnerability Category (Score)	IUCN Categorization	SEMARNAT Status
<i>Mastigodryas melanolomus</i>	NE4	L (6)	LC	NS
<i>Oxybelis microphthalmus</i>	NE3	M (11)	NE	NS
<i>Phrynonax poecilonotus</i>	NE6	M (10)	LC	NS
<i>Salvadora lemniscata*</i>	CE	H (15)	LC	Pr
<i>Senticolis triaspis</i>	NE7	L (6)	NE	NS
<i>Spilotes pullatus</i>	NE6	L (6)	NE	NS
<i>Stenorrhina degenhardtii</i>	NE6	L (9)	NE	NS
<i>Tantilla briggsi*</i>	CE	H (16)	DD	A
<i>Tantilla striata*</i>	CE	H (14)	DD	NS
<i>Tantilla vulcani</i>	NE4	M (12)	NE	NS
<i>Tantillita lintoni</i>	NE4	M (12)	LC	Pr
Family Dipsadidae (18 species)				
<i>Adelphicos latifasciatum*</i>	CE	H (15)	DD	Pr
<i>Cenaspis aenigma**</i>	RE	H (16)	NE	NS
<i>Chersodromus australis**</i>	RE	M (12)	NE	NS
<i>Chersodromus liebmanni*</i>	CE	M (12)	LC	Pr
<i>Coniophanes fissidens</i>	NE6	L (7)	NE	NS
<i>Coniophanes imperialis</i>	NE7	L (8)	LC	NS
<i>Enulius flavitorques</i>	NE6	L (5)	NE	NS
<i>Imantodes cenchoa</i>	NE6	L (6)	NE	Pr
<i>Imantodes gemmistratus</i>	NE6	L (6)	NE	NS
<i>Manolepis putnami*</i>	CE	M (13)	LC	NS
<i>Ninia diademata</i>	NE4	L (9)	LC	NS
<i>Ninia sebae</i>	NE4	L (5)	NE	NS
<i>Oxyrhopus petolarius</i>	NE6	H (14)	NE	NS
<i>Rhadinaea decorata</i>	NE6	L (9)	NE	NS
<i>Rhadinaea macdougalli*</i>	CE	M (12)	DD	Pr
<i>Rhadinella godmani</i>	NE4	M (10)	NE	NS
<i>Sibon dimidiatus</i>	NE4	M (10)	LC	NS
<i>Tropidodipsas fischeri</i>	NE4	M (11)	NE	NS
<i>Tropidodipsas sartorii</i>	NE4	L (9)	NE	Pr
Family Elapidae (4 species)				
<i>Micrurus diastema*</i>	CE	L (8)	LC	Pr
<i>Micrurus elegans</i>	NE4	M (13)	LC	Pr
<i>Micrurus ephippifer*</i>	CE	M (15)	VU	Pr
<i>Micrurus nigrocinctus</i>	NE6	M (11)	NE	Pr
Family Leptotyphlopidae (1 species)				
<i>Epictia phenops</i>	NE4	L (4)	NE	NS
Family Loxocemidae (1 species)				
<i>Loxocemus bicolor</i>	NE4	M (10)	NE	Pr
Family Natricidae (1 species)				
<i>Thamnophis marcianus</i>	NE7	M (10)	NE	A
Family Sibynophiidae (1 species)				
<i>Scaphiodontophis annulatus</i>	NE4	M (11)	NE	NS
Family Typhlopidae (1 species)				
<i>Amerotyphlops tenuis</i>	NE4	M (11)	LC	NS

Appendix 1. Updated and corrected list of the amphibians and reptiles in the Los Chimalapas region. * = endemic species of Mexico. ** = species endemic to Chimalapas region of Oaxaca. TC = Species documented in the authors' fieldwork. M = record of a scientific collection-museum specimen. Distributional Status: NE = non-endemic; CE = country endemic; RE = regional endemic. The numbers suffixed to the NE category signify the distributional categories developed by Wilson *et al.*, (2017), and implemented on the taxonomic list at the Mesoamerican Herpetology website (mesoamericanherpetology.com), as follows: 3 (species distributed only in Mexico and the United States); 4 (species ranging from Mexico to Central America); 6 (species ranging from Mexico to South America); 7 (species ranging from the United States to Central America); and 8 (species ranging from the United States to South America). Environmental Vulnerability Category (Score): A = High (14–20), M = Medium (10–13) and B = Low (3–9). IUCN categorizations: CR (Critically Endangered); EN (Endangered); VU (Vulnerable); NT (Near Threatened); LC (Least Concern); DD (Data Deficient); and NE (Not Evaluated). SEMARNAT Status: P = Endangered; A = Threatened; Pr = Special Protection; and NS = No Status.

Taxa	Distributional Status	Environmental Vulnerability Category (Score)	IUCN Categorization	SEMARNAT Status
Family Viperidae (6 species)				
<i>Bothriechis rowleyi</i> *	CE	H (16)	VU	Pr
<i>Bothriechis schlegelii</i>	NE6	M (12)	NE	NS
<i>Bothrops asper</i>	NE6	M (12)	NE	NS
<i>Cerrophidion godmani</i>	NE4	M (11)	NE	NS
<i>Crotalus culminatus</i> *	CE	H (15)	NE	NS
<i>Metlapilcoatlus olmec</i>	NE4	H (15)	LC	A
Order Testudines (8 species)				
Family Chelydridae (1 species)				
<i>Chelydra rossignonii</i>	NE4	H (17)	VU	NS
Family Dermatemydidae (1 species)				
<i>Dermatemys mawii</i>	NE4	H (17)	CR	P
Family Emydidae (1 species)				
<i>Trachemys venusta</i>	NE6	M (13)	VU	NS
Family Kinosternidae (3 species)				
<i>Kinosternon acutum</i>	NE4	H (14)	NT	Pr
<i>Kinosternon leucostomum</i>	NE6	M (10)	NE	Pr
<i>Kinosternon scorpioides</i>	NE6	M (10)	NE	Pr
Family Staurotypidae (2 species)				
<i>Claudius angustatus</i>	NE4	H (14)	NT	P
<i>Staurotypus triporcatus</i>	NE4	H (14)	NT	A

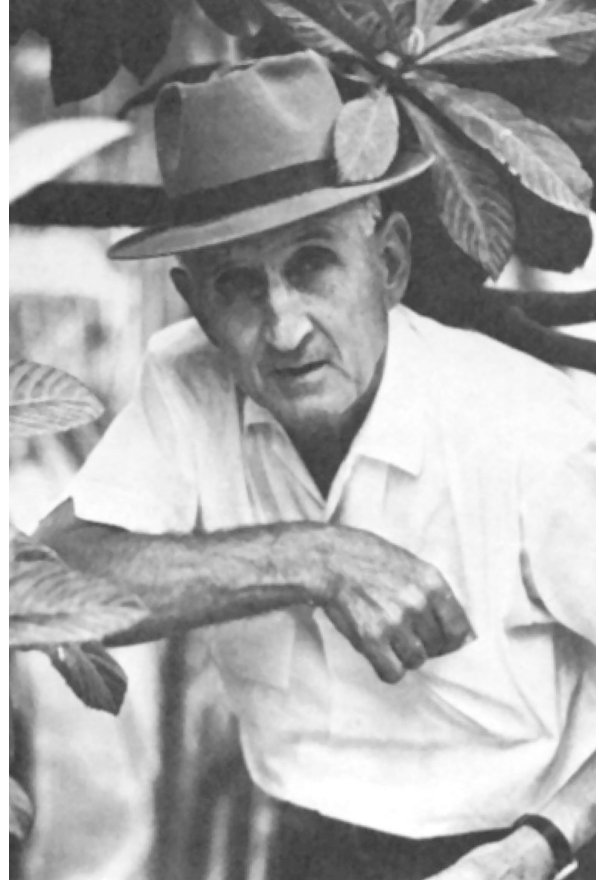
Appendix 1. Updated and corrected list of the amphibians and reptiles in the Los Chimalapas region. * = endemic species of Mexico. ** = species endemic to Chimalapas region of Oaxaca. TC = Species documented in the authors' fieldwork. M = record of a scientific collection-museum specimen. Distributional Status: NE = non-endemic; CE = country endemic; RE = regional endemic. The numbers suffixed to the NE category signify the distributional categories developed by Wilson *et al.*, (2017), and implemented on the taxonomic list at the Mesoamerican Herpetology website (mesoamericanherpetology.com), as follows: 3 (species distributed only in Mexico and the United States); 4 (species ranging from Mexico to Central America); 6 (species ranging from Mexico to South America); 7 (species ranging from the United States to Central America); and 8 (species ranging from the United States to South America). Environmental Vulnerability Category (Score): A = High (14–20), M = Medium (10–13) and B = Low (3–9). IUCN categorizations: CR (Critically Endangered); EN (Endangered); VU (Vulnerable); NT (Near Threatened); LC (Least Concern); DD (Data Deficient); and NE (Not Evaluated). SEMARNAT Status: P = Endangered; A = Threatened; Pr = Special Protection; and NS = No Status.



Groups	Environmental Vulnerability Score																	IUCN Categorizations							SEMARNAT			Totals	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	CR	EN	VU	NT	LC	DD	NE	P	A	Pr		NS
Anura	3	3	2	2	3	6	4	4	4	4	4	3	1	1	1	2	2	2	5	6	4	23	4		1	11	32	44	
Caudata	—	—	—	—	—	1	1	2	2	—	—	—	2	—	1	2	—	2	1	1	1	4		1	1	5	1	8	
Gymnophiona	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Subtotals	3	3	2	2	3	6	5	4	7	4	4	3	3	—	1	3	—	4	6	7	5	27	—	4	1	2	17	33	53
Crocodylia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	1
Squamata	—	1	3	10	3	9	9	10	10	9	7	3	6	7	2	2	1	1	1	2	1	27	9	51	2	9	25	56	92
Testudines	—	—	—	—	—	—	—	2	—	1	1	3	—	—	2	—	—	1	2	2	3	—	2	2	2	1	3	2	8
Subtotals	—	1	3	10	3	9	9	12	10	9	9	6	6	7	4	2	1	2	1	4	4	28	9	53	4	10	29	58	100
Totals	3	4	5	12	6	15	14	16	17	13	13	9	9	7	5	5	1	6	7	11	9	55	9	57	5	12	46	91	155

Appendix 2. Summary of conservation status for the herpetofaunal species occurring in the Los Chimalapas region of Oaxaca, Mexico. The numbers below the Environmental Vulnerability Score box are the range of scores evident for the herpetofauna. The abbreviations below the IUCN Categorization box signify the following: CR = Critically Endangered; EN = Endangered; VU = Vulnerable; NT = Near Threatened; LC = Least Concern; DD = Data Deficient; and NE = Not Evaluated. The abbreviations below the SEMARNAT box signify the following: P = Endangered; A = Threatened; Pr = Special Protection; and NS = No Status. The totals are the same for each of the three systems of conservation assessment. Non-native species not included.

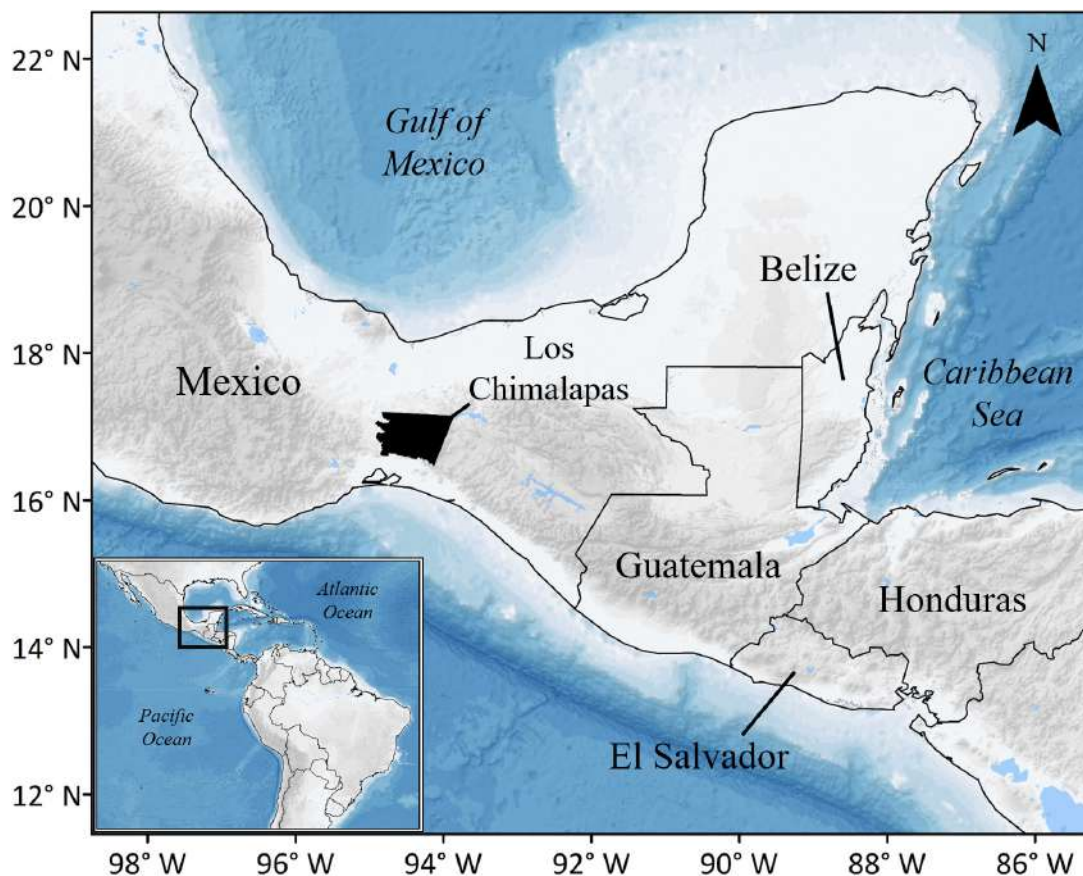




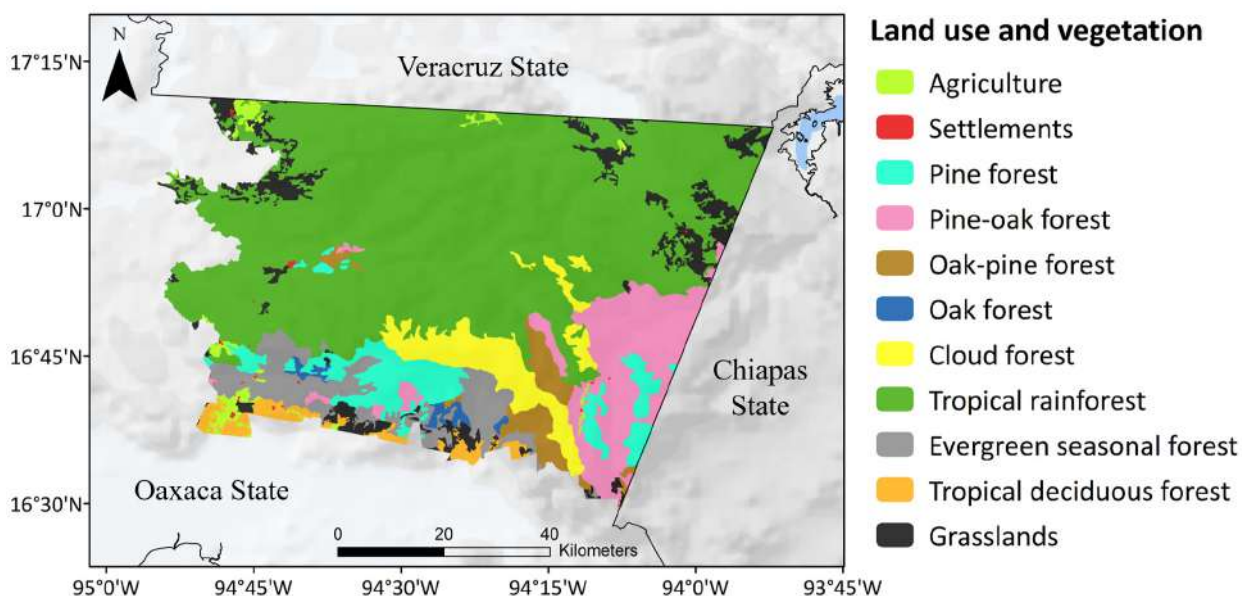
1).- Portrait of Thomas Baillie MacDougall, known as “Don Tomás,” while living in the Isthmus of Tehuantepec. The top formal explorer of the Los Chimalapas region. Photo by Martin Schweigs



2).- The local field guide for “Don Tomás, Juan Ramírez Vigueño, an indigenous person of Chontal origin from the Isthmus of Tehuantepec. Juan collected the type specimen of *Bothrops nigroviridis macdougalli*, currently *Bothriechis rowleyi*. Photo by Myron Kinnach.



3).- Map depicting the geographic location of the Los Chimalapas geographic region in the Isthmus of Tehuantepec, known as “the waist” of Mexico (Modified from UNIMAR, 2013).



4).- Map depicting the types of vegetation in the Los Chimalapas geographic region. Modified from Rzedowski (1978).



5).- Vegetation composed of tropical evergreen forest in the vicinity of La Gloria, in the municipality of Santa María Chimalapa. Photo by Elí García-Padilla.



6).- Remnant vegetation composed of cloud forest in Cerro Baúl, a historical locality inside the communal property of San Miguel Chimalapa. Photo by Vojtech Vita.



7).- Forest fire in the Sierra Atravesada in the municipality of Santa María Chimalapa. This site suffered an immense forest fire in 1998, the hottest year of that decade. Estimates indicate that over 100,000 ha of cloud forest and pine-oak forest were lost. Photo by Vojtech Vita.



8).- A road-killed *Dermophis mexicanus* found in the vicinity of Escolapa, in the municipality of Santa María Chimalapa. Photo by Elí García-Padilla.



9).- A road-killed *Crotalus culminatus* found on the road between Lázaro Cárdenas and Arroyo Chichihua, in the municipality of Santa María Chimalapa. Importantly, local transporters intentionally kill these animals due to cultural beliefs. Photo by Elí García-Padilla.



10).- Deforestation for agricultural purposes in the vicinity of Santa María Chimalapa. The presence of governmental socially-productive programs, such as “Sembrando Vida,” have been forcefully allowing the deforestation of native vegetation for the purpose of introducing crops and fruit trees with foreign genes, which might represent a potential risk for the native species, as well as the possibility of introducing plagues and diseases. Photo by Elí García-Padilla.



11).- Deforestation caused by cattle in the vicinity of La Esmeralda, in the municipality of Santa María Chimalapa. Importantly, the Mexican Government has subsidized this activity. In the past, people in the Los Chimalapas region used to survive from the production of eco-friendly coffee. Photo by Arthur Rocha.



12).- Deforestation and land conversion for mining purposes at Cerro La Cristalina, in the municipality of San Miguel Chimalapa. The local people in this municipality recently faced a struggle in defending their communal territory against a Canadian mining company (Minaorum Gold). Photo by Raúl Contreras.



13).- *Incilius macrocristatus* (Firschein and Smith, 1957). The Huge Crested Toad is a non-endemic species ranging in elevation from 1,000 to 1,600 masl in the Sierra Chimalapa and Atlantic versants of the northern and eastern highlands of Chiapas, Mexico, and associated areas in Guatemala such as the Sierra Cuchumatanes, as well as the northern slopes of the Sierra Madre de Chiapas (Frost, 2021). This individual was photographed in "Río Negro," a remnant of cloud forest in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 11, placing it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been evaluated as Vulnerable by IUCN, but this species has not been assessed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



14).- *Craugastor alfredi* (Boulenger, 1898). Alfred's Rainfrog is a non-endemic species distributed from central Veracruz, Mexico, to western El Petén, Guatemala (Köhler 2011). This individual was encountered at Ejido La Esmeralda, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 11, placing it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been evaluated as Vulnerable by IUCN, but this species has not been assessed by SEMARNAT. Photo by Arthur Rocha.



15).- *Craugastor laticeps* (Duméril, 1853). The Broad-headed Rainfrog is a non-endemic species found on the Atlantic premontane slopes and some adjacent lowland sites from the Sierra de Los Tuxtlas in southern Veracruz, Mexico, the base of the Yucatan Peninsula through northern Guatemala, and from the Maya Mountains in Belize to western and northern Honduras, at elevations from near sea level to 1,600 masl (Frost, 2021). This individual was found in the vicinity of Santa María Chimalapa in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 12, placing it in the upper portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been evaluated as Near Threatened by IUCN, and as Special Protection by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



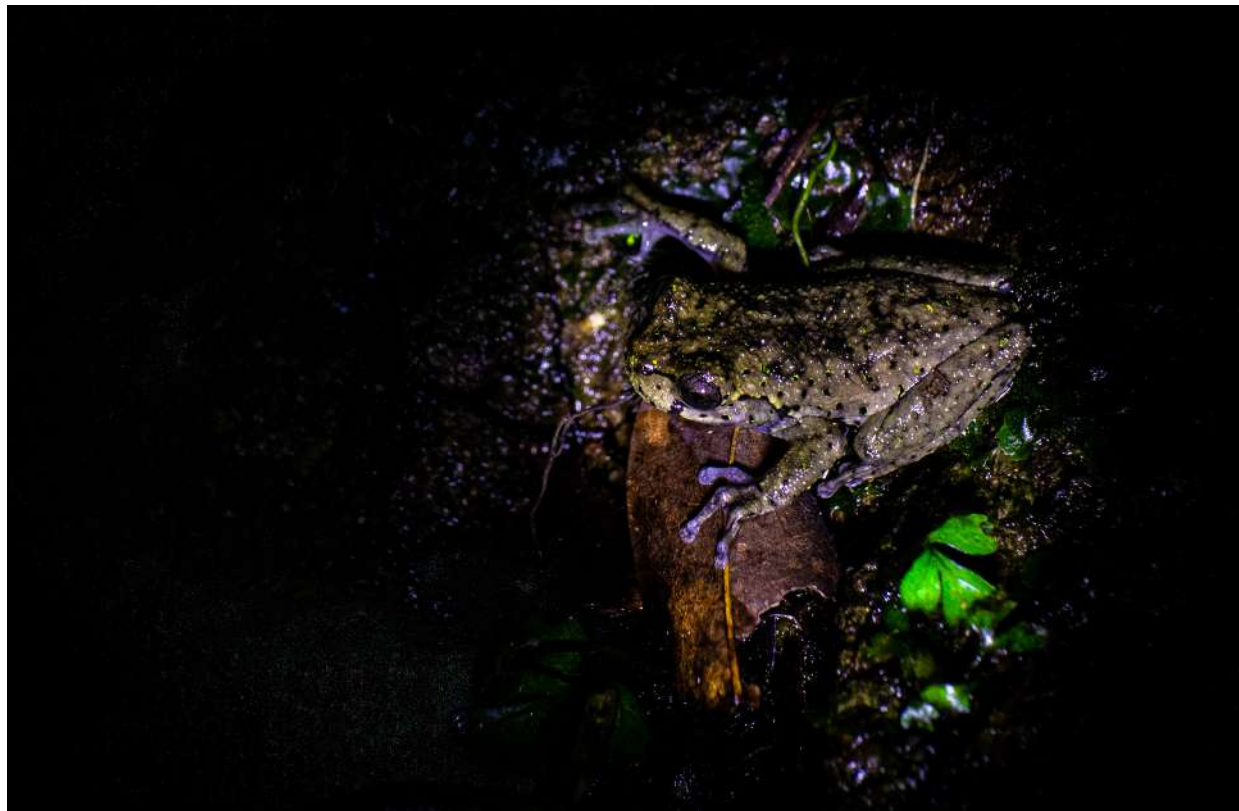
16).- *Eleutherodactylus leprus* (Cope, 1879). The Leprus Chirping Frog is a non-endemic species ranging from low elevations on the Atlantic slopes from eastern San Luis Potosí, central Veracruz, and northern Oaxaca (Mexico), and on the Pacific slopes from the Isthmus of Tehuantepec eastward to northern Guatemala and southwestern Belize (Frost, 2021). This individual was found in in the vicinity of Santa María Chimalapa in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 12, placing it in the upper portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been evaluated as Vulnerable by IUCN, but this species has not been assessed by SEMARNAT. Photo by Vicente Mata-Silva.



17).- *Charadrahyla chaneque* (Duellman, 1961). The Fairy Treefrog is a country endemic species restricted to two high-elevation cloud-forest areas east of the Isthmus of Tehuantepec in extreme southwestern Tabasco, eastern Oaxaca, and Chiapas, Mexico: the Chimalapas Range and the Selva Negra area on the Atlantic versant of the Chiapas Highlands, at elevations from 800 to 2,200 masl (Frost, 2021). Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 13, placing it at the upper portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been evaluated as Endangered by IUCN, but this species has not been listed by SEMARNAT. The individual in photo was found in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. Photo by Bartolo López- Jiménez.



18).- *Duellmanohyla chamulae* (Duellman, 1961). The Chamulan Mountain Brook Frog is a country endemic species known only from a few localities at elevations above 1,600 masl on the northern slopes of the Central Highlands of Chiapas, Mexico, from Jitotol to Soluschiapa, and into adjacent extreme southwestern Tabasco, Mexico (Frost, 2021). The first report for Veracruz in the Uxpanapa región was authored by Aguilar-López *et al.*, 2010, and the first record for Oaxaca in the Chimalapas region (Chalchijapa) and in the municipality of Guienegati was reported by Canseco-Márquez and Ramírez-Gonzalez, (2015). This individual was found at night along the edge of a creek in La Gloria, in the municipality of Santa María Chimalapa. The vegetation in the area is tropical evergreen forest. Several other individuals were observed in 2017 and 2018. Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 13, placing it at the upper portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been evaluated as Endangered by IUCN, and as Special Protection by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



19).- *Plectrohyla matudai* (Hartweg, 1941). Matuda's Spikethumb Frog is a non-endemic species that is widely distributed in cloud forests at elevations from 700–2,300 masl. This species is found along the Pacific versant from extreme southeastern Oaxaca, Mexico, through south-central Guatemala, to the Las Nubes range; it also occurs in pine-oak forest in the Grijalva Depression of western Guatemala, and in cloud forest at an elevation of 1,370 masl on Cerro Azul in northwestern Honduras (Frost, 2021). This individual was encountered on a trail that goes from Río Negro to La Gloria in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) ascertained its EVS as 11, placing it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Vulnerable by IUCN, but this species has not been listed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



20).- *Quiltiocoehyla zoque* (Canseco-Márquez, Aguilar-López, Luría-Manzano, Pineda-Arredondo, and Caviedes-Solís, 2017). The Zoque Treefrog is a country endemic species known from evergreen tropical forest at three localities in southern Mexico in the Selva Zoque, two in southern Veracruz (Paso del Moral and Arroyo Zarco), one in extreme southwestern Tabasco near the Veracruz and Chiapas borders, and one in northeastern Oaxaca (Chalchijapa), at elevations from 76 to 600 masl (Frost, 2021). Johnson *et al.*, (2017) calculated its EVS as 14, placing it at the lower portion of the high vulnerability category. Its conservation status has not been evaluated by the IUCN, and this species has not been assessed by SEMARNAT. This individual was photographed at La Gloria, in the municipality of Santa María Chimalapa. Photo by Vicente Mata-Silva.



21).- *Lithobates vaillanti* (Brochi, 1877). Vaillant's Frog is a non-endemic species occurring at low and moderate elevations from north-central Veracruz and northern Oaxaca to the central Rio Magdalena region in Colombia, on the Atlantic versant, and on the Pacific versant from southeastern Oaxaca and northwestern Chiapas, Mexico, and from northwestern Nicaragua to southwestern Ecuador, at elevations from near sea level to 1,700 masl (Frost, 2021). This individual is from the vicinity of La Esmeralda, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) ascertained its EVS as 9 placing it at the higher portion of the low vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Least Concern by IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Arthur Rocha.



22).- *Bolitoglossa mexicana* (Duméril, Bibron and Duméril, 1854). The Mexican Mushroomtongue Salamander is a non-endemic species ranging along the Atlantic slope from southern Veracruz (Mexico) across the base of the Yucatan Peninsula, with an isolated population in the northern part of the Yucatan Peninsula, to Honduras (extending to the Pacific versant in the department of Ocotepeque) and El Salvador (Departamento de Chalatenango, municipio de La Palma, Cerro La Palma), at elevations from sea level to 2,054 masl; this species is expected to occur in northeastern Nicaragua (Frost, 2021). In Oaxaca, García-Padilla *et al.*, (2019) reported the first record from the Los Chimalapas region. According to David Wake, *B. mexicana* "is in fact a complex of cryptic species awaiting to be clarified by the use of DNA samples." The individual in this photo was found and photographed in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 11, placing it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Least Concern by IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



23).- *Bolitoglossa veracruzis* (Taylor, 1951). The Veracruz Mushroomtongue Salamander is known from a few localities in southern Mexico, in the western part of the Isthmus of Tehuantepec, extreme southern Veracruz, and extreme northeastern Oaxaca (IUCN, 2019). This individual was found at Ejido La Esmeralda, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) determined its EVS as 17, placing it in the middle of the high vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Endangered by IUCN, and this species is listed as Special Protection by SEMARNAT. Photo by Arthur Rocha.



24).- *Abronia bogerti*. (Tihen, 1954). Bogert's Arboreal Alligator Lizard is a country endemic species known only from the type locality in the Sierra Atravesada, north of Niltepec, between Cerro Atravesada and Sierra Madre, Oaxaca, Mexico, at elevations from about 830 to 5,500 masl. This individual came from Cerro Baúl, in the municipality of San Miguel Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) determined its EVS as 18, placing it in the upper portion of the high vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Data Deficient by IUCN, and this species is listed as in Danger of Extinction (P) by SEMARNAT. Photo by Adam G. Clause.



25).- *Abronia ornelasi*. (Campbell, 1984). The Cerro Baúl Alligator Lizard is country endemic species known only from the type locality. This individual (the type specimen) was found in 1983 on Cerro Baúl, in the municipality of San Miguel Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) ascertained its EVS as 11, placing it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Least Concern by IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by David Hillis.



26).- *Corytophanes hernandezii* (Wiegmann, 1831). Hernandez's Helmeted Basilisk is a non-endemic species with a distribution ranging from southeastern San Luis Potosí southward to northwestern Honduras (Köhler, 2008). This individual was found in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013b) assessed its EVS at 13, placing it at the upper portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been determined as Least Concern by IUCN, and as Special Protection (Pr) by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.

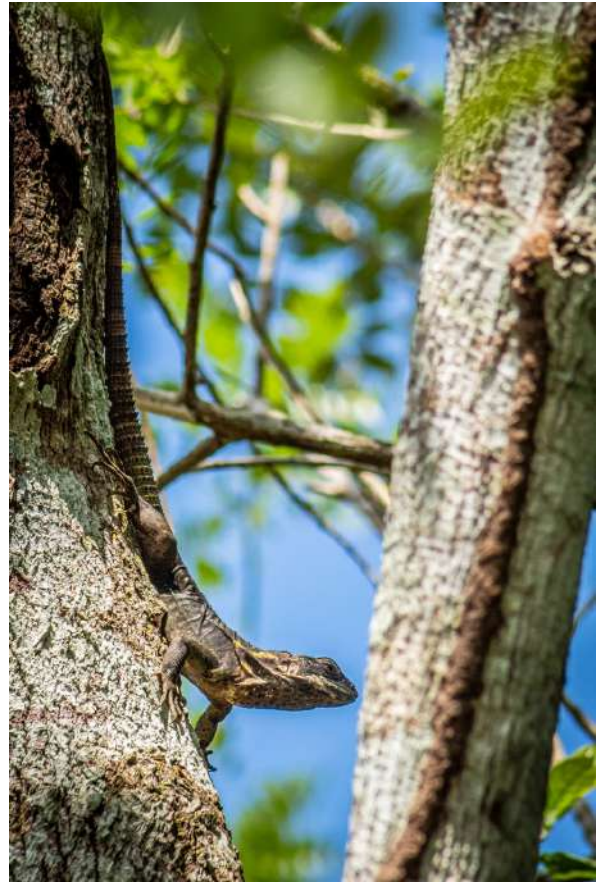


27).- *Norops purpuronectes*. (Gray, Meza-Lazaro, Poe and Nieto Montes de Oca, 2016). This anole is a country endemic species known only from Chimalapas (Chalchijapa) and the adjacent state of Veracruz (Gray *et al.*, 2016). This individual was found on a trail from Río Negro to La Gloria, in the municipality of Santa María Chimalapa. Johnson *et al.*, (2017) determined its EVS as 16, placing it in the middle portion of the high vulnerability category. Its conservation status has not been assessed by IUCN, or by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



28).- *Coleonyx elegans*. (Gray, 1845). The Yucatan Banded Gecko is a non-endemic species ranging on the Pacific slope from southern Nayarit (Mexico) to western El Salvador, and on the Atlantic slope from Veracruz (Mexico) southward through the Yucatan Peninsula, including northern Guatemala and Belize. Its elevational range extends from near sea level to about 1,055 masl (Wilson and Johnson, 2010). This individual was photographed in the Ejido La Esmeralda, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) calculated its EVS as 9, placing it at the upper portion of the low vulnerability category. Its conservation status has not been assessed by IUCN, and this species is listed as Endangered (A) by SEMARNAT. Photo by Arthur Rocha.

29).- *Ctenosaura similis* (Gray, 1831). The Common Spiny-tailed Iguana is a non-endemic species that can be found from the Isthmus of Tehuantepec southward through Central America. It occurs on both the Caribbean and Pacific versants and on several offshore islands, including: Cozumel, Mujeres, and del Carmen, Mexico; Utila and Guanaja, Honduras; Maiz Grande and Maiz Pequeño, Nicaragua (S. Pasachnik pers. obs. 2008); El Rey, Panama; and Providencia and San Andres, Columbia this lizard has also been introduced to Florida, USA, and has now established a reproducing population. A recent report also indicates that this species has been introduced into Venezuela, near Lecharias, along the road from Barcelona to La Cruz. This species has been found from sea level to 1,300 masl above sea level (Pasachnik, 2015). This individual was photographed in the vicinity of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) ascertained its EVS as 11, placing it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status is assessed as Least Concern by the IUCN and it is not listed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



30).- *Sceloporus internasalis* (Smith and Bumzahem, 1955). The Mail-snouted Spiny Lizard is a non-endemic species ranging from southern Veracruz to Guatemala (Uetz, 2021). This individual was photographed in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013a) ascertained its EVS as 11, placing it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Least Concern by IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.





31).- *Drymarchon melanurus*. (Duméril, Bibron and Duméril, 1854). The Central American Indigo Snake is a non-endemic species ranging from southern Texas, on the Atlantic versant, and southern Sonora, on the Pacific versant, southward to Venezuela and Ecuador (Heimes, 2016). This individual was found in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013a) determined its EVS as 6, placing it in the middle portion of the low vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Least Concern by the IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



32).- *Leptophis ahaetulla*. (Linnaeus, 1758). The Green Parrot Snake is a non-endemic species ranging through lowlands and premontane areas (at elevations up to 1,200 masl) on the Atlantic versant, from central Veracruz and northeastern Oaxaca southward through Central and South America to Argentina; it also occurs on the Pacific versant from Costa Rica to Ecuador (Heimes, 2016). This individual came from “Zona Pak” (Arroyo Sardina) in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) calculated its EVS as 10, placing it at the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has not been determined by IUCN, but this species is listed as Endangered (A) by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



33).- *Oxybelis microphthalmus*. (Barbour and Amaral, 1926). The Thornscurb Vine Snake is a non-endemic species ranging from southern Arizona southward to Oaxaca, Mexico (Jadin *et al.*, 2020). This individual was encountered in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. We calculated its EVS as 11 (this paper), which places it in the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has not been determined by IUCN or SEMARNAT. Photo by Vicente Mata-Silva.



34).- *Senticolis triaspis*. (Cope, 1866). The Green Rat Snake is non-endemic species with an extensive distribution from southeastern Arizona and central Nuevo León, southward through much of Mexico and Central America to Costa Rica (Heimes, 2016). In Mexico, this species is widely distributed along the Pacific slopes from Sonora southward to Chiapas (Heimes, 2016). This individual was found in the cabins of the community ecotourism project "Paraíso Jaguar" at Ejido La Esmeralda, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) determined its EVS as 6, placing it in the middle of the low vulnerability category. Its conservation status has not been determined by IUCN or SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



35).- *Spilotes pullatus* (Linnaeus, 1758). The Tropical Treesnake is a non-endemic species found from Tamaulipas southward through Central America and South America to Argentina, on the Atlantic versant, and from the Isthmus of Tehuantepec to Ecuador on the Pacific versant (Lemos-Espinal and Dixon, 2013). This individual was found at a site called Sona Pak in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) determined its EVS as 6, placing it in the middle of the low vulnerability category. Its conservation status has not been determined by IUCN or SEMARNAT. Photo by Elí García Padilla.



36).- *Sceloporus variabilis* (Wiegmann, 1834) The Rosebelly Lizard is a non-endemic species that occurs from southern Texas, in the United States, through eastern and southern Mexico to northwestern and central Costa Rica on the Pacific slope. This species occurs at elevations from near sea level to 2,500 m (Wilson and Johnson, 2010). Its conservation status was evaluated as Low (5) by the Environmental Vulnerability Score (EVS) by Wilson *et al.*, 2013b. The IUCN considered it as Least concern and SEMARNAT (2019) provided no status since it is not yet enlisted. The individual in photo was found in the vicinity of Santa María Chimalapa in the municipality of the same name. Photo by Elí García-Padilla.



37).- *Adelphicos quadrivirgatum* (Jan, 1862). The Mesoamerican Earth Snake is a non-endemic species distributed from Tamaulipas to Honduras, on the Atlantic versant, and from Oaxaca to Guatemala on the Pacific versant (Lemos-Espinal and Dixon, 2013). This individual was found in Cerro Azul, a community conservation area in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) ascertained its EVS as 10, placing it at the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been determined as Least Concern by IUCN, and as Special Protection (Pr) by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



38).- *Imantodes cenchoa* (Linnaeus, 1758). The Blunt-headed Treesnake is a non-endemic species occurring at low and intermediate elevations (up to 1,600 masl) on the Atlantic versant, from southern Tamaulipas southward through Central and South America to Argentina. This snake also occurs along the Pacific lowlands and premontane slopes from Chiapas to Guatemala. In the Yucatán Peninsula, it is known from southern Campeche and Quintana Roo, but this species apparently is absent from the arid northwestern region of the peninsula (Heimes, 2016). This individual was found at La Esmeralda, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) determined its EVS as 6 placing it in the low vulnerability category. Its conservation status is not listed by IUCN or the SEMARNAT. Photo by Arthur Rocha.



39).- *Imantodes gemmistratus*. (Cope, 1861). The Central American Blunt-headed Treesnake ranges from low to intermediate elevations (up to 2,000 masl) on the Atlantic versant from Tamaulipas, and on the Pacific versant from Sonora, southward through Central America to Colombia. (Heimes, 2016). This individual was encountered at Arroyo Chichihua, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) determined its EVS as 6, placing it in the middle portion of the low vulnerability category. Its conservation status has not been determined by IUCN or SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



40).- *Ninia diademata* (Baird and Girard, 1853). The Ringneck Coffee Snake is a non-endemic species occurring on the Atlantic versant from San Luis Potosí and central Veracruz, southward through the base of the Yucatán Peninsula to central Honduras, and on the Pacific versant from southeastern Oaxaca to Guatemala (Heimes, 2016). This individual was photographed in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013a) ascertained its EVS as 9, placing it at the upper portion of the low vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Least Concern by IUCN, but this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



41).- *Ninia sebae* (Duméril, Bibron and Duméril, 1854). The Red Coffee Snake ranges through the lowlands and pre-montane slopes (up to 2,200 masl) from central Veracruz on the Atlantic versant, and from southern Oaxaca on the Pacific versant southward to Costa Rica (Heimes, 2016). This individual was found in the vicinity of La Gloria, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013a) ascertained its EVS as 5, placing it in the lower portion of the low vulnerability category. Its conservation status has not been assessed by IUCN or SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



42).- *Rhadinaea decorata*. (Günther, 1858). The Central American Graceful Brownsnake is a non-endemic species ranging from the lowland and premontane areas (up to 1,200 masl), from eastern Mexico southward to northern Ecuador. In Mexico, this species is known from extreme southeastern San Luis Potosí, northeastern Hidalgo, northern and southeastern Puebla, eastern Oaxaca, Veracruz, and northern and eastern Chiapas (Heimes, 2016). This individual was found along the Río Negro, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) ascertained its EVS as 9, placing it at the upper portion of the low vulnerability category. Its conservation status has not been determined by IUCN or SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



43).- *Sibon dimidiatus*. (Günther, 1872). The Orange-backed Snail-sucker occurs in lowlands and premontane slopes (up to 1,600 masl) on the Atlantic versant from northern Veracruz southward to Costa Rica, but excluding the Yucatán Peninsula. This snake also occurs on the Pacific versant, from southeastern Chiapas to Honduras (Heimes, 2016). This individual was found at La Gloria, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) evaluated its EVS as 10, placing it at the lower portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has been judged as Least Concern by IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Vicente Mata-Silva.



44).- *Micrurus diastema*. (Duméril, Bibron and Duméril, 1854). The Variable Coralsnake is a country endemic species ranging at low and moderate elevations (up to 1,500 masl) on the Atlantic versant, from central Veracruz to northern Oaxaca (Reyes-Velasco *et al.*, 2020). This individual was found in the vicinity of Santa María Chimalapa, in the municipality of the same name. Wilson *et al.*, (2013b) ascertained its EVS as 8, placing it in the upper portion of the low vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Least Concern by IUCN, and is listed as Special Protection by SEMARNAT. Photo by Vicente Mata-Silva.



45).- *Crotalus culminatus* (Klauber, 1952) the Northwestern Neotropical Rattlesnake ranges along the Pacific coastal plains and foothills from southwestern Michoacán southward to the Isthmus of Tehuantepec, and into the Río Balsas drainage system, eastward to southwestern Puebla (Heimes, 2016). The species has undergone recent taxonomic changes, as it passed from being partially described as *Crotalus ehecatli* (Carbajal-Márquez *et al.*, 2020) only to be synonymized by Reyes-Velasco *et al.*, (2022). This individual was photographed on a road in the vicinity of the communal territory of the Los Chimalapas region. According to the local Zoque people, originally this species was not part of the herpetofauna within the Los Chimalapas region, but presumably due to climate change and deforestation, recently it has been recorded inside the “bienes comunales” of San Miguel and Santa María Chimalapa. During our fieldwork, we documented two individuals on the road (a young one alive and an adult dead) in the vicinity of La Cofradía and Arroyo Chichihua. Wilson *et al.*, (2013) ascertained its EVS as 15, placing in the lower portion of the high vulnerability category. Its conservation status has not been not evaluated by IUCN or SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



46).- *Bothriechis rowleyi*. (Bogert, 1968). Rowley's Palm-pitviper is a country endemic species that occurs at moderate elevations (1,060 to 1,830 masl) in the Sierra Atravesada (the northern extension of the Sierra Madre de Chiapas) in extreme southeastern Oaxaca and in the northern highlands of Chiapas (Mesa de Ocozocoautla and Selva Negra) (Heimes, 2016). This individual is from Cerro Baúl, in the municipality of San Miguel Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) calculated its EVS as 16, placing it in the middle portion of the high vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Vulnerable by IUCN, and as Special Protection (Pr) by SEMARNAT. Photo by Brandon Thomas La Forest.



47).- *Bothrops asper* (Garman, 1883). The Terciopelo is a non-endemic species ranging from southwestern Tamaulipas to coastal Venezuela on the Atlantic versant, and from Costa Rica to southern Ecuador on the Pacific versant, with a disjunct population in southern Chiapas and adjacent Guatemala (Lemos-Espinal and Dixon, 2013). This individual was found at Sierra de Los Tuxtlas, in the municipality of San Andrés Tuxtla. Wilson *et al.*, (2013b) determined its EVS at 12, placing it in the upper portion of the medium vulnerability category. Its conservation status has not been assessed by IUCN or SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



48).- *Metlapilcoatlus olmec* (Pérez-Higareda, Smith, and Julia Zertuche, 1985). The Olmecan Jumping Pitviper is a non-endemic species with a highly disjunct distribution, with populations occurring in the Sierra de Los Tuxtlas of southern Veracruz, the Sierra Atravesada (Cerro Baúl region) of southeastern Oaxaca, the Mesa de Ocozocoautla of northwestern Chiapas, and in some isolated localities in central Guatemala (Purullhá in Baja Verapaz and Sierra de las Minas), at elevations from about 530 to at least 1,200 masl (Heimes, 2016). This individual was encountered on the road between San Miguel and Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) determined its EVS as 15, placing it at the lower portion of the high vulnerability category. Its conservation status has been evaluated as Least Concern by IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Luis Alberto Bernal-Ramírez.



49).- *Chelydra rossignonii*. (Bocourt, 1868). The Mesoamerican Snapping Turtle is a non-endemic species distributed from Veracruz, Mexico, through southern Belize and central Guatemala to northwestern Honduras; it is not known from Yucatán (Iverson, 1992). This individual is from Escolapa, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) ascertained its EVS as 17, placing it in the middle portion of the high vulnerability category. Its conservation status has been assessed as Vulnerable by IUCN, and this species is not listed by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



50).- *Kinosternon leucostomum* (Duméril, Bibron, and Duméril, 1854). The White-lipped Mud Turtle is a non-endemic species distributed at low and moderate elevations (near sea level to 1,120 masl) from central Veracruz, Mexico, to north-central Colombia on the Atlantic versant, and from west-central Costa Rica to southwestern Ecuador on the Pacific versant; it also has been found on several islands: Islas del Maíz, Nicaragua, and Isla Guanaja and the Cayos Cochinos, Honduras. This individual is from Escolapa, in the municipality of Santa María Chimalapa. Wilson *et al.*, (2013b) calculated its EVS as 10 placing it in the medium vulnerability category. Its conservation status has not been not determined by IUCN, but this species is listed as Special Protection (Pr) by SEMARNAT. Photo by Elí García-Padilla.



LITERATURE CITED

- Aguilar-López, J.L., Pineda, E., and U. García-Vázquez. 2010. Geographic-altitudinal range extension of *Duellmanohyla chamulae* (Amphibia: Hylidae) and addition to amphibian fauna of Veracruz. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81(2): 579–580.
- Aguilar-López, J.L., E. Pineda, R. Luría-Manzano, and L. Canseco-Márquez. 2016. Species Diversity, Distribution, and Conservation Status in a Mesoamerican Region: Amphibians of the Uxpanapa Chimalapas Region, Mexico. *Tropical Conservation Science* October–December. Pp. 16.
- Aguilar-López, J.L., R. Luría-Manzano, E. Pineda, and L. Canseco-Márquez. 2021. Selva Zoque, Mexico: an important Mesoamerican tropical region for reptile species diversity and conservation. *Zookeys* 1,054: 127–153.
- Alvarado-Díaz, J.L., I. Suazo-Ortuño, L.D. Wilson, and O. Medina-Aguilar. 2013. Patterns of physiographic distribution and conservation status of the herpetofauna of Michoacán, Mexico. *Amphibian & Reptile Conservation* 7(1): 128–170.
- Canseco-Márquez, L., and C.G. Ramírez-González. 2015. New herpetofaunal records for the state of Oaxaca, Mexico. *Mesoamerican Herpetology* 2(3): 363–367.
- Canseco-Márquez, L., J.L. Aguilar-López, R. Luría-Manzano, E. Pineda, and I.W. Caviedes-Solía. 2017. A new species of treefrog of the genus *Ptychohyla* (Anura: Hylidae) from southern Mexico. *Zootaxa* 4,317(2): 279–290.
- Carbajal-Márquez, R.A., J.R. Cedeño-Vázquez, A. Martínez-Arce, E. Neri-Castro, and S.C. Machkour-M'Rabet. 2020. Accessing cryptic diversity in Neotropical rattlesnakes (Serpentes: Viperidae: *Crotalus*) with the description of two new species. *Zootaxa* 4,729: 451–481.
- Figel, J.J., F. Castañeda, A.P. Calderón, J.A. de la Torre, E. García-Padilla, and R. F. Noss. 2018. Threatened amphibians sheltered under the big cat's umbrella: conservation of jaguars *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) and endemic herpetofauna in Central America. *Revista de Biología Tropical* 66(4): 1,741–1,753.
- Frost, D.R. 2021. Amphibian Species of the World: An Online Reference. Version 6.1. Available at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. doi: [10.5531/db.vz.0001](https://doi.org/10.5531/db.vz.0001) [Accessed 18 June 2021].
- García-Aguirre, M.A. 2013. La tenaz lucha del pueblo Zoque Chimalapa en defensa de sus invaluables bienes naturales. *La Jornada Ecológica*. Número especial 2 de diciembre.
- García-Aguirre, M.A. 2015. Chimalapas: la defensa del territorio y de los bienes naturales como un factor de identidad indígena. *Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano*. Pp. 42.
- García-Padilla, E. 2020. Los Chimalapas: donde viven los hijos del jaguar. *Suplemento Ojarasca*. *La Jornada*. Edición de octubre. Pp. 8–9.
- https://issuu.com/lajornadaonline/docs/ojarasca_282.
- García-Padilla, E., J.J. Figel, L. D. Wilson, and V. Mata-Silva. 2019. Geographic distribution. *Bolitoglossa mexicana* (Mexican Mushroom-tongued Salamander). *Herpetological Review* 50(4): 744.
- Gray, L., R. Meza-Lázaro, S. Poe, and A. Nieto-Montes de Oca. 2016. A new species of semiaquatic *Anolis* (Squamata: Dactyloidae) from Oaxaca and Veracruz, Mexico. *The Herpetological Journal* 26 (4): 253–262.
- Heimes, P. 2016. *Herpetofauna Mexicana Vol. 1. Snakes of Mexico*. Edition Chimaira, Frankfurt am Main, Germany. Pp. 572.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2019. *Bolitoglossa veracruzis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T59216A53977426. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T59216A53977426.en>. Accessed 16 April 2022.
- Iverson, J.B. 1992. *A Revised Checklist with Distribution Maps of the Turtles of the World*. Privately published, Richmond, Indiana. Pp. 377.
- Jadin, J.C. C. Blair, S. A. Orlofske, M. J. Jowers, G. A. Rivas, L. J. Vitt, J. M. Ray, E. N. Smith, and J. C. Murphy. 2020. Not withering on the evolutionary vine: systematic revision of the Brown Vine Snake (Reptilia: Squamata: *Oxybelis*) from its northern distribution. *Organisms Diversity and Evolution* 14(4): 723–746.
- Johnson, J.D., L.D. Wilson, V. Mata-Silva, E. García-Padilla, and D.L. DeSantis. 2017. The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology* 4(3): 543–620.
- Köhler G. 2008. *Reptiles of Central America*. Second Edition. Herpeton Verlag Elke Köhler, Offenbach, Germany. Pp. 400.
- Köhler, G. 2011. *Amphibians of Central America*. Herpeton Verlag Elke Köhler, Offenbach, Germany. Pp. 380.
- Kolbert, E. 2015. *The Sixth Extinction: an unnatural history*. Picador, Henry Holt and Company, New York, New York, USA. Pp. 336.

- MacDougall, T. 1971. The Chima wilderness. *Explorer's Journal* 49: 86–103.
- Lemos-Espinal, J., and J.R. Dixon. 2013. *Amphibians and Reptiles of San Luis Potosí*. Eagle Mountain Publishing, LC, Eagle Mountain, Utah, United States. xii + Pp. 300.
- Lira-Torres, I., C. Galindo-Leal, and M. Briones-Salas. 2012. Mamíferos de la Selva Zoque, México: riqueza, uso y conservación. *Revista de Biología Tropical* 60(2):781–797.
- Mata-Silva, V, J.D. Johnson, L.D. Wilson, and E. García-Padilla. 2015. The herpetofauna of Oaxaca, Mexico: composition, physiographic distribution, and conservation status. *Mesoamerican Herpetology* 2(1): 5–62.
- Mata-Silva V, E. García-Padilla, A. Rocha, D. DeSantis, J.D. Johnson, A. Ramírez-Bautista, and L.D. Wilson. 2021. A reexamination of the herpetofauna of Oaxaca, Mexico: composition update, physiographic distribution, and conservation commentary. *Zootaxa* 4,996: 201–252.
- Navarro-Sigüenza, A. G., M. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A. Townsend Peterson, H. Berlanga-García, and L. A. Sánchez-González. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: S476–S495.
- Pasachnik, S. 2015. *Ctenosaura similis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T174480A73611567. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-1.RLTS.T174480A73611567.en>. Accessed 16 April 2022.
- Perez-Higareda, G; H.M. Smith, and J. Julia-Zertuche. 1985. A new jumping viper, *Porthidium olmec*, from southern Veracruz, Mexico (Serpentes: Viperidae). *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 21(3): 97–106.
- Peterson, A. T., A. G. Navarro-Sigüenza, B. E. Hernández-Baños, G. Escalona-Segura, F. Rebón-Gallardo, E. Rodríguez-Ayala, E. M. Figueroa-Esquivel, and L. Cabrera-García. 2003. The Chimalapas Region, Oaxaca, Mexico: a high-priority region for bird conservation in Mesoamerica. *Bird Conservation International* 13: 227–253.
- Pinchot, G. 1910. *The fight for conservation*. Doubleday Page & Company, New York, New York, USA. ix + Pp.152.
- Ramírez-Pulido, J., N. González-Ruiz, A.L. Gardner, and J. Arroyo-Cabrales. 2014. *List of Recent Land Mammals of Mexico*. Museum of Texas State University, Lubbock, Texas USA Pp. 69.
- Reyes-Velasco, J., R.H. Adams, S. Boissinot, C. L. Parkinson, J. A. Campbell, T. A. Castoe, and E.N. Smith. 2020. Genome-wide SNPs clarify lineage diversity confused by coloration in coralsnakes of the *Micrurus diastema* species complex (Serpentes: Elapidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 147 (2020) 106770.
- Reyes-Velasco J., L. C. J. Cox, J. M. Jones, M. Borja, and J. A. Campbell. 2022. How many species of rattlesnakes are there in the *Crotalus durissus* species group (Serpentes: Crotalidae)? *Revista Latinoamericana de Herpetología* 5(1): 43–55.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, Ciudad de México., D.F., Mexico. Pp. 504.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F., México.
- UNINMAR (Unidad de Informática Marina). 2013. *Mapa base del geoportal de la UNINMAR*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Available at: <<http://uninmar.icmyl.unam.mx/geoportal>>.
- United Nations. 2009. *State of the world's indigenous peoples*. Department of economic and social affairs. New York, USA. Pp. 238.
- Uetz, P. 2021. *The Reptile Database*, <http://www.reptile-database.org>, accessed 16 April 2022.
- Wilson, L. D., and J.D. Johnson. 2010. Distributional patterns of the herpetofauna of Mesoamerica, a biodiversity hotspot (Pp. 30–235). In: *Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles*. L.D. Wilson, J.H. Townsend, and J.D. Johnson (Eds.). Eagle Mountain Publishing, Eagle Mountain, Utah, USA. xvii + Pp. 812.
- Wilson, L.D., J.D. Johnson, and V. Mata-Silva. 2013a. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 7(1): 97–127.
- Wilson, L.D., V. Mata-Silva, and J.D. Johnson JD. 2013b. A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 7(1): 1–47.
- Wilson, L.D., J.D. Johnson, L.W. Porras, V. Mata-Silva, and E. García-Padilla. 2017. A system for categorizing the distribution of the Mesoamerican herpetofauna. *Mesoamerican Herpetology* 4(4): 901–913.

SOBRE LOS AUTORES



ANA IRIS MELGAR-MARTÍNEZ is a biologist graduated from the Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. She has dedicated effort in the study of the traditional knowledge of the Mayan Lacandon indigenous peoples of the north and south, currently belonging to the Hach Winik ancient tribe. She has dedicated work in wildlife monitoring, herpetofauna management, and snake bites accidents, thanks to which she can carry out rescue work, workshops, and environmental education programs. Among her interests, she practices photography and video of nature and wildlife to generate impact images to share them on digital platforms and speed up the dissemination of the importance of conservation. She is currently part of the CEC - IUCN and the AMC (Women and Conservation Association).

ORCID: 0000-0002-3462-3367.

Correo electrónico: iris.melgar02@hotmail.com

ANDRÉS MAURICIO PIÑA BARRERA. Químico Clínico Biólogo egresado de la Universidad de Montemorelos. Maestro en Ciencias en Alimentos egresado del Instituto Politécnico Nacional y Doctor en Ciencias en Química de Productos Naturales egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El Dr. Piña Barrera actualmente es Docente-Investigador de tiempo completo en la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Montemorelos. El Dr. Piña Barrera tiene como líneas de investigación el análisis y control de calidad en alimentos y nanotecnología para el uso de moléculas biológicamente activas aplicadas en el área de alimentos. Ha dirigido 5 tesis de licenciatura. Los resultados derivados de los proyectos desarrollados por el Dr. Piña Barrera han sido publicados en 4 artículos científicos en revistas indexadas y arbitradas.

ORCID: 0000-0002-7470-9691

Correo electrónico: andres0504@um.edu.mx

ARTURO ROCHA is a herpetologist from El Paso, Texas, USA, whose interests include the biogeography and ecology of amphibians and reptiles in the

southwestern United States and Mexico. A graduate of the University of Texas at El Paso, Arturo's thesis focused on the spatial ecology of the Trans-Pecos Rat Snake (*Bogertophis subocularis*) in the northern Chihuahuan Desert. To date, he has authored or co-authored over 10 peer-reviewed scientific publications.

ORCID: 0000-0002-7660-835X.

Correo electrónico: dominic.desantis@gcsu.edu

BÁRBARA JOHANA GONZÁLEZ MORENO. Químico Clínico Biólogo y Maestra en Ciencias con orientación en Química Biomédica por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Actualmente estudiante de quinto semestre del Doctorado en Ciencias con orientación en Química Biomédica por la misma Universidad. Enfocada en la investigación de nanopartículas poliméricas con aceites esenciales de diferentes plantas para su incorporación en cubiertas comestibles, las cuales pueden ser aplicadas en alimentos como productos hortofrutícolas, para aumentar su vida de anaquel y reducir las pérdidas poscosecha.

ORCID: 0000-0003-1021-0645

Correo electrónico : barbara.gonzalezmrn@uanl.edu.mx

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 250 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 lazcanoi*.

ORCID: 0000-0002-6292-5979.

Correo electrónico: imantodes52@hotmail.com

DOMINIC L. DESANTIS is an Assistant Professor of Biology at Georgia College and State University, Milledgeville, Georgia, USA, in the Department of Biological and Environmental Sciences. Dominic's research interests broadly include the behavioral ecology, conservation biology, and natural history of herpetofauna. In addition to ongoing collaborative projects associated with the Mesoamerican Research Group, much of Dominic's current research focuses on using novel animal-borne sensor technologies to study the behavior of snakes in the field. While completing his Ph.D. at the University of Texas at El Paso, Dominic accompanied Vicente Mata-Silva, Elí García-Padilla, and Larry David Wilson on survey and collecting expeditions to Oaxaca in 2015, 2016, and 2017, and is a co-author on numerous natural history publications produced from those visits, including an invited book chapter on the conservation outlook for herpetofauna in the Sierra Madre del Sur of Oaxaca.

ORCID: 0000-0003-1971-7418.

EDUARDO ALEXIS LÓPEZ-ESQUIVEL is a Mexican biogeographer, who received a B.Sc. in Biology in the Facultad de Ciencias from the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Nowadays, he is a M.Sc. student in the Biological Sciences program of his "alma mater." His main interest is the study of long-term vegetation dynamics at Middle America, which he approaches using paleoecological and macroecological methods.

ORCID: 0000-0002-5539-7389.

Correo electrónico: eduardo.loes@ciencias.unam.mx

ELÍ GARCÍA-PADILLA is a biologist and professional photographer, with more than 12 years of experience in the field study and photo-documentation of the biocultural diversity of Mexico. He has published

one book and more than 100 formal contributions on knowledge, communication of science, and conservation of Mesoamerican biodiversity. Since 2017, he has invested effort in the exploration of the mythical region of the Los Chimalapas, in the Isthmus of Tehuantepec, which is the most biologically rich in all of Mexico under the social tenure of the land and the community conservation system.

ORCID: 0000-0003-1081-8458.

Correo electrónico: eligarciapadilla86@gmail.com

EVERARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ. Licenciado en Biotecnología Genómica de formación, Maestro y Doctor en Ciencias por el Tecnológico de Monterrey.

ORCID: 0000-0001-6588-5856.

Correo electrónico: dnarnaprot@gmail.com

IRAM P RODRIGUEZ-SANCHEZ. Químico de formación, Maestro y Doctor en Ciencias por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

ORCID: 0000-0002-5988-4168.

Correo electrónico: iramrodriguez@gmail.com

IVAN DELGADO-ENCISO. Médico cirujano y partero por la Universidad de Colima, Doctor en Ciencias con especialidad en Biología Molecular e Ingeniería Genética por la Universidad Autónoma de Nuevo León.

ORCID: 0000-0001-9848-862X.

Correo electrónico: ivan_delgado_enciso@ucol.mx

IVAN VILLALOBOS-JUÁREZ obtained his undergraduate degree in Biology at the Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), but, in the past, he studied Marketing in the Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Aguascalientes. Ivan is an Associate Professor of Biology at UAA and a professor in Universidad Autónoma de Durango. He is also a Research Technical Assistant at the Zoological Collection in UAA. Ivan was the last Program Manager of Viper Specialist Group of the International Union for a 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*), habitat use of rattlesnakes in Central Mexico, 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.

Correo electrónico: epidushunter@gmail.com

JERRY D. JOHNSON is Professor of Biological Sciences at The University of Texas at El Paso, and has extensive experience studying the herpetofauna of Mesoamerica, especially that of southern Mexico. Jerry is the Director of the 40,000-acre "Indio Mountains Research Station," was a co-editor on Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles and co-author of four of its chapters. He is also the senior author of the recent paper "A conservation reassessment of the Central American herpetofauna based on the EVS measure" and is

Mesoamerica/Caribbean editor for Geographic Distribution section of Herpetological Review. Johnson has authored or co-authored over 130 peer-reviewed papers, including two 2010 articles, "Geographic distribution and conservation of the herpetofauna of southeastern Mexico" and "Distributional patterns of the herpetofauna of Mesoamerica, a Biodiversity Hotspot." One species, *Tantilla johnsoni*, has been named in his honor. Presently, he is an Associate Editor and Co-chair of the Taxonomic Board for the journal Mesoamerican Herpetology.

ORCID: 0000-0002-2135-4866.

Correo electrónico: jjohnson@utep.edu

JESSICA C. ROMERO-MICHEL. Doctora en Derecho por el Doctorado Interinstitucional en Derecho de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) adscrita a la Universidad Autónoma de Nayarit, México. Profesora Investigadora de Tiempo Completo de la Facultad de Derecho de la Universidad de Colima. Integrante del Cuerpo Académico UCOL-CA-71 Derecho, Desarrollo e Innovación, reconocimiento Perfil Deseable PRODEP y miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I de CONACyT. Autora de la obra Derecho Económico, editorial Oxford.

ORCID: 0000-0002-1347-5887

Correo electrónico: jessica_romero@ucol.mx

JOSUEL DELGADO-ENCISO. Comunicólogo por la Universidad de Colima, Especialista en Relaciones Intergubernamentales por la Universidad de Colima, Maestro en Economía y Finanzas por la Universidad Suiza, Maestro en Banca y Mercados Financieros por TECH Universidad Tecnológica.

ORCID: 0000-0000-0003-4003-4099.

Correo electrónico: josuel7@hotmail.com

JUAN FRANCISCO CONTRERAS CORDERO. Adscrito al Laboratorio de Inmunología y Virología de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Químico Bacteriólogo Parasitólogo, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, 1984; Maestría en Ciencias con Especialidad en Inmunobiología, FCB, UANL, 1996; Doctorado en Ciencias con especialidad en Microbiología, FCB, UANL, 2003. Imparte la Unidad de Aprendizaje de Virología en licenciatura y posgrado. Presidente de la Academia de Virología de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Líder del Cuerpo Académico de Biología de Microorganismos, FCB, UANL. Ha trabajado en el campo de la Virología desde 1984 a la fecha con diferentes virus como rotavirus, astrovirus, virus del Oeste del Nilo y virus de la influenza, entre otros. La mayor parte de su trabajo se ha centrado en diversos campos como respuesta inmune humoral contra proteínas de superficie de virus, epidemiología molecular de virus y actividad antiviral de extractos de plantas. Colabora en diversos proyectos de investigación en microbiología con profesores del Cuerpo Académico de Biología de Microorganismos al cual pertenece. En estos proyectos se cultiva la línea de Investigación de Fisiología de Microorganismos. Ha participado como responsable y organizador de cursos teórico - prácticos a nivel nacional relacionados con el campo de la virología. Miembro

fundador de la Red Mexicana de Virología y de la Sociedad Mexicana de Virología. Cuenta con 33 publicaciones indizadas en el JCR, 7 capítulos en libros y 7 artículos de difusión.

ORCID: 0000-0001-7033-3239.

Correo electrónico: juan.contrerascr@uanl.edu.mx

KARMINA SÁNCHEZ-MEZA. Licenciada en Nutrición por la Universidad de Guadalajara, Doctora en Ciencias Médicas por la Universidad de Colima.

ORCID: 0000-0002-8702-0252.

Correo electrónico: ksmeza@ucol.mx

LUIS ALEJANDRO PÉREZ LÓPEZ. Doctorado en Ciencias con orientación en Química Biomédica por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Profesor investigador del Departamento de Química Analítica, Facultad de Medicina de la UANL. Miembro del Sistema Nacional de investigadores Nivel I. Miembro del Cuerpo Académico de Productos Naturales. Líneas de investigación "Obtención, análisis estructural y modificación química de productos naturales" y "Evaluación de la actividad biológica y formulación de productos naturales activos". Las investigaciones son encaminadas al aislamiento de compuestos activos y aceites esenciales a partir de plantas, estudios de actividad biológica: antibacteriana, antifúngica, antidiabética, antioxidante y colaboración en estudios de: actividad antiviral, nanosistemas y elucidación estructural.

ORCID: 0000-0001-6865-4914

Correo electrónico: luis.perezlp@uanl.edu.mx

LARRY DAVID WILSON is a herpetologist with lengthy experience in Mesoamerica. He was born in Taylorville, Illinois, United States, 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 460 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 75 currently recognized herpetofaunal species, and seven 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*. 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.

Correo electrónico: bufodoc@aol.com

LYDIA ALLISON FUCSKO, who resides in Melbourne, Australia, is an environmental activist and amphibian

conservationist. As a photographer with international publications, she has taken countless amphibian photographs, including photo galleries of frogs mostly from southeastern Australia. Dr. Fucsko has a Bachelor of Humanities from La Trobe University (Bundoora, Victoria, Australia) and a Diploma in Education from the University of Melbourne (Parkville, Victoria, Australia). She has postgraduate diplomas in computer education and in vocational education and training from the University of Melbourne (Parkville). Additionally, Dr. Fucsko has a Master's Degree in Counseling from Monash University (Clayton, Victoria, Australia). She received her Ph.D. on Environmental Education, which promoted habitat conservation, species perpetuation, and global sustainable management, from Swinburne University of Technology (Hawthorn, Victoria, Australia), while being mentored by the late Australian herpetologist and scholar Dr. Michael James Tyler (Order of Australia recipient). Dr. Fucsko, a sought-after educational consultant, has academic interests that include: clinical psychology, focusing on psychopathology; neuroscience and empathy; environmental education for sustainable development; sentient ecology; academic writing; and creative writing, which includes poetry and creative non-fiction books for children and young adults. Dr. Fucsko also is the senior author (with Boria Sax) of a chapter in the 2019 Springer Encyclopedia of Sustainability in Higher Education entitled "Learning Activities for Environmental Education for Sustainable Development." Recently, Dr. Fucsko has co-authored an obituary of Jaime D. Villa, a study of the introduced Mesoamerican herpetofauna, a treatment of conservation prospects of the Mesoamerican salamander fauna, papers on the herpetofauna of Veracruz and Querétaro, Mexico, a review of the book *Advances in Coralsnake Biology*, and a study on the biological and cultural diversity of Oaxaca, Mexico, among several other academic papers. In 2020, the species *Tantilla lydia*, with the suggested common name, *Lydia's little snake*, was named in her honor.

ORCID: 0000-0002-2133-6617

Correo electrónico: lydiafucsko@gmail.com

MARIO C. LAVARIEGA is an Associate Professor at the Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. His research is focused on community-based conservation.

ORCID: 0003-2513-8244.

Correo electrónico: mariolavnol@yahoo.com.mx

MARÍA E. ALEMÁN-HUERTA. Profesora investigadora adscrita al Instituto de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores como SNI nivel I y su investigación está enfocada en la bioprospección y aislamiento de cepas bacterianas productoras de biopolímeros tipo polihidroxibutirato (PHB). Además, ha dirigido diversas tesis de postgrado y licenciatura, 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: 0000-0002-2809-9685

Correo electrónico: maria.alemanhr@uanl.edu.mx

DRA. MARGARITA DE LA LUZ MARTÍNEZ FIERRO.

Químico de formación por la UAZ, Maestro y Doctor en Ciencias por la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

ORCID: 0000-0003-1478-9068.

Correo electrónico: margaritamf@uaz.edu.mx

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 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 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 25 publicaciones en revistas, 3 títulos de patentes y 1 libro editado. 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

Correo electrónico: sergio.galindord@uanl.edu.mx

RAÚL E. MARTÍNEZ-HERRERA Actualmente el Dr. 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

Correo electrónico: raul.martinezhrr@tec.mx

ROCÍO ALVAREZ ROMÁN. Doctorado en Ciencias Farmacéuticas. Profesor-Investigador del Departamento de Química Analítica de la Facultad de Medicina de la UANL. La Dra. Alvarez Román es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, 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 investigador responsable de 10 proyectos financiados por el CONACYT (Ciencia Básica, Problemas Nacionales), PROMEP-SEP, L'Oreal-UNESCO-AMC, PAICyT-UANL. Cuenta con más de 20 publicaciones en revistas, 3 títulos de patentes y 1 libro editado. Ha sido director de 8 tesis doctorales, 7 a nivel maestría y 18 de licenciatura. Cuenta con más de 1200 citas de sus publicaciones.

ORCID: 0000-0002-7459-4150

Correo electrónico: rocio.alvarezrm@uanl.edu.mx

VICENTE MATA-SILVA is a herpetologist originally from Río Grande, Oaxaca, Mexico. His interests include ecology, conservation, natural history, and biogeography of the herpetofaunas of Mexico, Central America, and the southwestern United States. He received his B.S. degree from the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), and his M.S. and Ph.D. degrees from the University of Texas at El Paso (UTEP). Vicente is an Assistant Professor of Biological Sciences at UTEP in the Ecology and Evolutionary Biology Program, and Assistant Director of UTEP's Indio Mountains Research Station, located in the Chihuahuan Desert of Trans-Pecos, Texas. To date, Vicente has authored or co-authored over 100 peer-reviewed scientific publications. He also was the Distribution Notes Section Editor for the journal *Mesoamerican Herpetology*, and, currently, he is Acting Section Editor for the journal *Herpetological Review*, for Geographic Distribution.

ORCID: 0000-0001-8123-1844.

Correo electrónico: vmata@utep.edu

Victoria M. Díaz Castañeda. Profesor-Investigador del Departamento de Ecología Marina (Laboratorio de Ecología del Bentos) de CICESE. La Dra. Díaz Castañeda obtuvo el grado de Biólogo por la UNAM, el de Maestro en Ciencias por la Universidad de Marsella y el de Doctor por la Universidad de Lille, en Francia. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, miembros de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Barra de Evaluadores de Becas Fullbright-García Robles. Ha impartido diversos cursos dentro del Programa de Maestría y Doctorado en Ecología Marina de CICESE, programa con gran reconocimiento nacional e internacional. Cuenta con 50 publicaciones. Ha dirigido Tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado. Sus líneas de investigación incluyen: Ecología del Bentos (estructura, funcionamiento). Macrofauna y uso de especies como indicadores ambientales, Procesos de colonización después de una perturbación; Monitoreo ambiental. Bentos y su efecto el ciclo del carbono. Efectos de la acidificación del océano en organismos marinos calcificadores.

Orcid 0000-0001-7909-4158,

Correo electrónico vidiaz@cicese.mx



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FCB

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

