

Biología y Sociedad



Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Mtro. Rogelio G. Garza Rivera
Rector

Dr. Santos Guzmán López
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
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 4, No. 7, segundo semestre de 2021, 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

EDITORIAL	3
SECCION BIOLOGÍA CONTEMPORÁNEA	
LAS SERPIENTES VENENOSAS DEL NORESTE DE MÉXICO I. CANTIL DE TAYLOR (<i>Agicistrodon taylori</i>)	5
RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE BATOIDEOS DE LA ISLA ESPIRITU SANTO, FOLFO DE CALIFORNIA	16
REVISIONES TAXONÓMICAS, CIENCIA DE FRONTERA Y PROGRAMAS NACIONALES	26
SECCIÓN ECOLOGÍA Y SUSTENTABILIDAD	
INTERACCIONES BIOLÓGICAS, UN COMPONENTE POCO CONOCIDO DE LA BIODIVERSIDAD DE ISLA CATALINA, GOLFO DE CALIFORNIA	34
FAUNA SILVESTRE DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA DE MAPIMÍ: HISTORIA NATURAL Y RETOS PARA SU CONSERVACIÓN	41
CAMARONES CARÍDEOS DE TAMAULIPAS	48
FILANTROPÍA ECOLÓGICA, TRABAJO Y VISIÓN DE UN SABINENSE	58
SOBRE LOS AUTORES	61

/// DR. JESÚS ANGEL DE LEÓN-
GONZÁLEZ
Editor en Jefe



MEZQUITE Y AGAVE: POTENCIALES SUSTRATOS EN LA INDUSTRIA BIOTECNOLÓGICA DE MÉXICO

RAUL E. MARTÍNEZ-HERRERA, GLADIS M. VEGA-SAUCEDA,
ALEJANDRA S. RODRÍGUEZ-RIVERA, MARÍA E. ALEMÁN-HUERTA*



Palabras clave: Agavaceae, biopolímeros, biocombustibles, fármacos, *Prosopis* spp.

Keywords: Agavaceae, biofuels, biopolymers, drugs, *Prosopis* spp.

RESUMEN

El mezquite y el agave son especies vegetales ampliamente distribuidas en México los cuales han sido empleados por diversos pueblos de nuestro país y poseen el potencial para ser utilizadas en diferentes aspectos biotecnológicos. La importancia de estas especies vegetales recae en su rol ecológico, tradicional y económico. Asimismo, en la investigación enfocada en la producción de nuevos alimentos, el aislamiento de compuestos con acción farmacológica, la síntesis de nuevos materiales (biopolímeros) y la producción de biocombustibles. Dada la relevancia de estas plantas en México, la presente revisión se basa en presentar un acervo de las características, propiedades y empleos, así como el prometedor uso en biotecnología que presentan estas especies vegetales.

ABSTRACT

Mesquite and agave are plant species widely distributed in Mexico which have been used by various folks of our country and have the potential to be used in different biotechnological aspects. The importance of these plant species lies in their ecological, traditional, and economic role. Likewise, research focused on the production of new foods, the isolation of compounds with pharmacological action, the synthesis of new materials (biopolymers), and the production of biofuels. Given the relevance of these plants in Mexico, this review is based on presenting characteristics, properties, and uses, as well as the promising use in biotechnology of these plant species.

INTRODUCCIÓN

La cuarta revolución industrial, el movimiento tecnológico, económico y social que está cambiando al mundo en el que vivimos ha generado un enfoque especial en el ámbito biotecnológico (Oliván Cortés, 2016). En este aspecto, destaca la búsqueda de nuevos sustratos para la obtención de metabolitos, nutrientes y biomateriales que sean útiles en agricultura, industria y medicina (Sánchez-Pascuala y de Lorenzo, 2016).

México es un país megadiverso cuyo potencial en recursos naturales lo hace un foco importante para el desarrollo de la industria biotecnológica, sin embargo, un manejo inadecuado de los mismos y la limitada inversión en ciencia y tecnología han estancado el crecimiento biotecnológico aunque, cabe destacar los esfuerzos llevados a cabo en diversos centros de investigación nacional, los cuales tienen como objetivo progresar en este rubro (Rodríguez et al., 2015).

El mezquite y el agave son dos especies vegetales abundantes en la región semiárida de nuestro país, cuya amplia disposición y bajo costo los convierten en sustratos potenciales para la obtención de diversos productos. Entre estos destacan la producción y elaboración de bebidas alcohólicas, fibras, alimento para ganado, fertilizantes y materiales adsorbentes (Peters, 2007; Palomo-Briones et al., 2017).

Dada la creciente importancia que presentan el mezquite y el agave, en esta revisión se presentan las características y propiedades de dichos sustratos vegetales, así como las perspectivas futuras que se contemplan para estos sustratos y su potencial utilidad en el desarrollo de la industria biotecnológica en nuestro país.

IMPORTANCIA DEL MEZQUITE

El árbol de mezquite (*Prosopis* spp.) es un árbol nativo de las zonas áridas y semiáridas del mundo, siendo el norte de México predilecto para su adaptación y desarrollo. En México predominan las especies como: *P. palmeri* (Baja California), *P. reptans* var. *cinerascens* (Tamaulipas), *P. pubescens* (Chihuahua), *P. articulata* (Sonora) y *P. glandulosa* var. *glandulosa* (Nuevo León, Coahuila, Durango y Zacatecas). Con importantes propiedades ecológicas como la fijación de nitrógeno y el enriquecimiento del suelo mediante la captación de minerales (Rodríguez et al., 2014). Asimismo, este árbol actúa como planta nodriza para diversas especies de aves y roedores nativos de la región (López-Franco et al., 2006).

Por otro lado, esta planta presenta un importante impacto económico en la región puesto que es empleada para la producción de leña, carbón y miel. Asimismo, las vainas del mezquite son aprovechadas para la producción de harinas ricas en carbohidratos y proteínas para consumo humano y animal. Además, cabe destacar que las gomas derivadas del mezquite son aprovechadas como texturizantes en un amplio rango de productos alimenticios dado que funcionan como agentes gelificantes (Bósquez-Molina y Vernon-Carter, 2005).

El mezquite ha sido reconocido desde la época prehispánica como parte de la medicina tradicional. Los compuestos que presentan las vainas del mezquite; en particular los compuestos antioxidantes (fenoles, taninos, flavonoides, alcaloides y terpenos), han llamado la atención debido a la potente actividad antibiótica y antiparasitaria, la actividad antitumoral, sus beneficios ante diversos padecimientos metabólicos (puesto que estos compuestos ayudan a la reducción de la glucosa en sangre, inhiben la oxidación del colesterol y presentan actividad cardioprotectora), así como sus amplios efectos benéficos sobre padecimientos nerviosos como el Alzheimer, Parkinson y epilepsia (Henciya et al., 2017; Ukande et al., 2019).

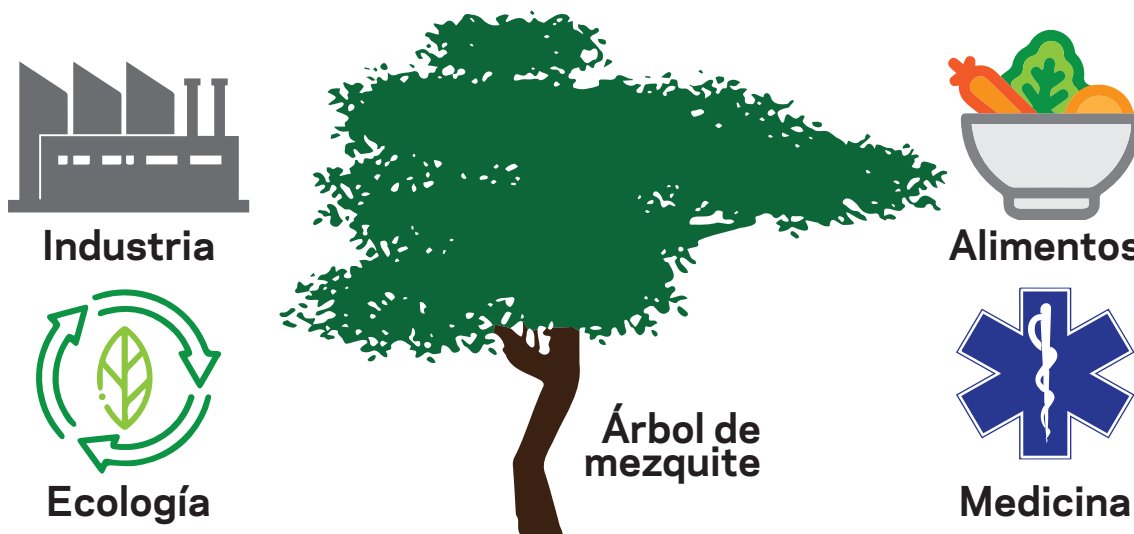


Figura 1. Importancia del árbol de mezquite en la ecología regional, la producción de diversos derivados de uso industrial/alimenticio y la generación de nuevos fármacos.

IMPORTANCIA DEL AGAVE

La planta de agave es una especie vegetal perenne perteneciente a la familia *Agavaceae*, la cual se compone de 159 especies siendo el octavo más diverso en la flora mexicana. Esta planta es cultivada y cosechada en las zonas semiáridas de México y es sumamente apreciada debido a que acumula diversos azúcares complejos (fructanos) y simples (fructosa y glucosa), los cuales son extraídos a partir del jarabe producido en la piña y empleados para diversas cuestiones alimenticias, la más destacable, la producción de bebidas alcohólicas (Palomo-Briones et al., 2017; García Mendoza et al., 2019).

El agave es una planta que, además de ser importante para la economía nacional, es un símbolo de nuestra historia. Esta planta se ha utilizado desde épocas prehispánicas ya que la producción de bebidas alcohólicas como el Tequila, Mezcal y Pulque han sido documentadas desde tiempos inmemorables. Asimismo, la fabricación de fibras a partir del bagazo de esta planta para la manufactura de tejidos e indumentarias, además de la obtención de insectos para su consumo han marcado parte de la tradición mexicana (Nava-Cruz et al., 2015).

Por otra parte, las investigaciones en torno a esta planta prehispánica han conducido a la obtención de prebióticos y compuestos bioactivos, los cuales tienen actividad contra diversas infecciones bacterianas. Además, la presencia de saponinas en el agave, lo hacen un precursor importante para fármacos de nueva generación y la presencia de diversos antioxidantes lo convierten en un potencial agente antitumoral (Peters, 2007; Nava-Cruz et al., 2015).

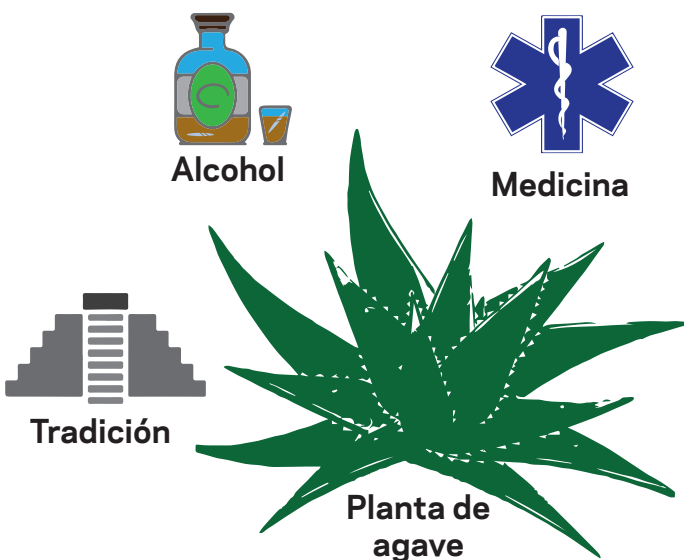


Figura 2. Importancia de la planta de agave en la producción de bebidas alcohólicas, la tradición mexicana y la generación de nuevos fármacos.

POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Dada la importancia presentada por el mezquite y el agave en diversos rubros de la economía y tradición mexicana, también se ha observado su potencial biotecnológico. Un ejemplo de esto es su aprovechamiento para la producción de polihidroxialcanoatos (PHAs), los cuales son biopolímeros bacterianos que presentan propiedades muy similares a las de los plásticos de origen sintético (actualmente considerado como el plástico del futuro) y son producidos bajo distintos estímulos nutricionales y de incubación (Koller, 2017). En el 2019, González-García y colaboradores obtuvieron la producción de PHAs por una cepa bacteriana de *Burkholderia sacchari* bajo la influencia de bagazo de agave. Posteriormente en 2020, Martínez-Herrera y colaboradores reportaron el primer caso experimental de producción de PHAs con miel de mezquite, evidenciando el potencial productivo de una cepa bacteriana de *Bacillus cereus* bajo la influencia de este sustrato como fuente de carbono. Por lo tanto, estos sustratos presentan un interesante potencial para la producción de biopolímeros de una manera económica y cuantiosa.

Otro aspecto que destacar es la producción de biocombustibles (etanol y biogas) empleando estos sustratos durante los procesos de fermentación. Cabe señalar que hoy en día hay una tendencia al alza sobre el uso de desechos de plantas, hojas y diversos residuos lignocelulósicos con los cuales se pueda abaratar y eficientizar los costos de estos procesos biotecnológicos (Palomo-Briones et al., 2017) which is an environmental concern due to its considerable volume of production (377,000 Ton in 2016, por lo que aun sigue siendo importante dirigir la investigación en el aprovechamiento de dichos residuos como fuente de carbono en los medios de cultivo utilizados para la producción de bioplásticos por fermentación.

Como perspectiva futura podemos mencionar que es importante seguir investigando las propiedades del mezquite y el agave con distinta utilidad dentro de la innovación y desarrollo de la industria biotecnológica en México. Por esto, la necesidad de involucrar al sector público y privado financiando proyectos con objetivos claros e innovadores, los cuales seguramente darán respuesta a un sin fin de problemas y serán de gran beneficio a futuras generaciones.

DISCUSIÓN

Como ya se ha visto anteriormente, el uso de mezquite y agave ha sido ampliamente documentado por sus múltiples propiedades, las cuales son aprovechadas por diversas comunidades rurales y han despertado un gran interés en la comunidad científica. Por consiguiente, es de suma importancia preservar estas especies vegetales evitando la tala o sustracción indiscriminada y seguir abogando por más leyes contra la biopiratería (aprovechamiento ilegal e inequitativo de recursos biológicos) en México (Isla, 2007).

De igual importancia es, unir esfuerzos entre los distintos sectores públicos y privados para generar y apoyar proyectos enfocados en mantener la sustentabilidad de los pueblos que aprovechan el mezquite y el agave como forma de subsistencia; es decir, proyectos que generen valores adicionales a estas especies vegetales y que despierten el interés de inversionistas nacionales y extranjeros; siempre y cuando se retribuya económica y tecnológicamente a los pueblos de origen como estipula el Protocolo de Nagoya del cual México forma parte (Jefferson *et al.*, 2018).

El potencial de estas especies vegetales ha sido demostrado mediante diversos enfoques tecnológicos, destacando aquellos aplicados a la producción de nuevos alimentos, la obtención de fármacos novedosos,

la síntesis de nuevos materiales y la generación de biocombustibles. Por lo que en esta revisión concluimos que el mezquite y el agave son especies prometedoras para el desarrollo de la industria biotecnológica en México; una industria enfocada en la sustentabilidad, la preservación de las tradiciones y el cuidado de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) por el apoyo brindado a manera de beca nacional (Beca número 468,278 otorgada a Raul E. Martínez-Herrera).^{ORCID}



LITERATURA CITADA

- Bósquez-Molina, E. y Vernon-Carter, E. J. 2005. Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 4(2): 157-162.
- García Mendoza, A. J., I. S. Franco Martínez, D. Sandoval Gutiérrez. 2019. Cuatro especies nuevas de Agave (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*. (126): 1-18.
- González-García, Y., J. Grieve, J. C. Meza-Contreras, B. Clifton-García, J. A. Silva-Guzmán. 2019. Tequila Agave Bagasse Hydrolysate for the Production of Polyhydroxybutyrate by *Burkholderia sacchari*. *Bioengineering*. 6(115): 1-13.
- Henciya, S., P. Seturaman, A. R. James, Y. H. Tsai, R. Nikam, F. R. Chang. 2017. Biopharmaceutical potentials of *Prosopis* spp. (Mimosaceae leguminosae). *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1): 187-196.
- Isla, A. 2007. An Ecofeminist Perspective on Biopiracy in Latin America. *Journal of Women in Culture and Society*. 32(2): 76-86.
- Jefferson, D. J., I.S. Fraire, L.F. Beltrán-Morales. 2018. Intellectual Property and the Governance of Plant Genetic Resources in Mexico: Trends and Implications for Research and Innovation. Pp. 131-148. En: Ortega-Rubio A. (Eds.). *Mexican Natural Resources Management and Biodiversity Conservation*. Springer, Cham.
- Koller, M. 2017. Advances in Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production. *Bioengineering*. 4(4): 1-7.
- López-Franco, Y. L., F. M. Goycoolea, M. A. Valdez, A. M. Calderón de la Barca. 2006. Goma de Mezquite: Una Alternativa De Uso Industrial. *Interciencia*. 31(3): 183-189.
- Martínez-Herrera, R. E., Y. N. Juárez-Ibarra, V. Almaguer-Cantú, M. E. Alemán-Huerta. 2020. Statistical optimization and effect of mesquite honey and maize alkaline wastewater (nejayote) as substrates for cellular biomass production and polyhydroxybutyrate biosynthesis by *Bacillus cereus* 4N. *Mexican Journal of Biotechnology*. 5(2): 51-69.
- Nava-Cruz, N. Y., M. A. Medina-Morales, J. L. Martínez, R. Rodríguez, C. N. Aguilar. 2015. Agave biotechnology: An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*. 35(4): 546-559.
- Oliván Cortés, R. 2016. La Cuarta Revolución Industrial, un relato desde el materialismo cultural. *Revista de estudios urbanos y ciencias sociales*. 6(2): 101-111.
- Palomo-Briones, R., I. López-Gutiérrez, F. Islas-Lugo, K. L. Galindo-Hernández, D. Munguía-Aguilar, J. A. Rincón-Pérez, M. A. Cortés-Carmona, F. Alariste-Mondragón, E. Razo-Flores. 2017. Agave bagasse biorefinery: processing and perspectives. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 20: 1423-1441.
- Peters, D. 2007. Raw materials. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 105: 1-30.
- Rodríguez, J.C., C.L. Navarro-Chávez, M. Gómez, M. Mier. 2015. Science, technology and innovation policy to sustain agricultural biotechnology in emerging economies: Evidence from Mexico. *International Journal of Biotechnology*. 13(4): 198-229.
- Rodríguez Saucedo, Elvia Nereyda, Rojo Martínez, Gustavo Enrique, ANÁLISIS TÉCNICO DEL ÁRBOL DEL MEZQUITE (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) EN MÉXICO. *Ra Ximhai* [en línea]. 2014, 10(3), 173-193 [fecha de Consulta 5 de Enero de 2021]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111013>
- Sánchez-Pascuala, A. y de Lorenzo, V. 2018. La Biología Sintética Como Motor De La Bioeconomía Y De La Cuarta Revolución Industrial. *Mediterráneo Económico*. (31): 183-200.
- Ukande, M. D., M. S. Shaikh, K. Murthy, R. Shete. 2019. Review on Pharmacological potentials of *Prosopis juliflora*. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 9(4): 755-760.



AJOLOTES, ESPECIES ENDÉMICAS MEXICANAS EN PELIGRO DE EXTINCIÓN



Palabras clave: axolotl, especie endémica, peligro de extinción, conservación, México

Keywords: axolotl, endemic species, extinction, conservation, Mexico.

/// M.I.A. LETICIA ROMERO AMADOR
Facultad de Ciencias Biológicas, UANL
Facultad de Ciencias Biológicas | UANL

RESUMEN

De acuerdo con el reporte reciente de la Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (IPBES), del millón de especies que se encuentran en peligro de extinción en el planeta, el 40% son anfibios, lo que hace a las salamandras y otras especies el principal grupo de riesgo a nivel mundial. En México casi todas las especies micro-endémicas de ajolotes se encuentran en alguna categoría de riesgo y una de las especies más amenazadas actualmente es *Ambystoma mexicanum* debido a que su hábitat ha sido altamente dañado por las actividades antropogénicas y su lugar de distribución es muy limitado. Mientras que en el norte de México se distribuyen dos especies de ajolotes (*A. velasci* y *A. rosaceum*), ambos considerados bajo protección especial según la NOM-059-SEMARNAT-2010. Gracias a la atención que han llamado sus características de regeneración, las especies de *Ambystoma spp.* son las más estudiadas a nivel mundial, sólo después del ratón, y la obligación de llevar a cabo su conservación es imprescindible tal como ha sido considerado por las autoridades ambientales nacionales e internacionales. El objetivo de este trabajo es presentar una revisión sobre el estado del conocimiento de las especies de ajolotes que habitan en México con énfasis en las del altiplano mexicano, así como las principales amenazas que enfrentan actualmente. Es preciso señalar que la pérdida de estas especies pudiera resultar en el desequilibrio de los ecosistemas repercutiendo en consecuencia en el ser humano.

ABSTRACT

According to a recent report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), of a million species which are at risk of extinction on the planet, 40% are amphibians, which makes salamanders and other species the main risk group worldwide. In Mexico, most of the micro-endemic species of salamanders are under some risk category. The most threatened species at present is the axolotl, *Ambystoma mexicanum*, due to their habitat alteration by anthropogenic activities making their distribution range severely limited. In the north of Mexico, two *Ambystoma* species (*A. velasci* and *A. rosaceum*) are considered threatened and under important protection as stated by NOM-059-SEMARNAT-2010. Because of their remarkable regeneration characteristics, the species *Ambystoma spp.* are the most studied worldwide only after the murine. The strong need to reinforce conservation measures for these species has been deemed essential by international and national environmental authorities. The present work was aimed at presenting a review of the state of knowledge of the species of salamanders that inhabit Mexico, with a particular emphasis on Mexican highland species, as well as the principal threats that they are currently facing. It is important to note that the loss of these species could result in the imbalance of their ecosystems, leading to ecological cascade effects they may affect humans.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen 32 especies descritas del género *Ambystoma*, las cuales se encuentran distribuidas en todo Norteamérica (AmphibiaWeb, 2021). Dentro de este contexto, México, que siempre se ha caracterizado por su gran biodiversidad y endemismos, alberga 17 de las 32 especies, las cuales se encuentran distribuidas en todo el altiplano, siendo 16 de ellas micro-endémicas y 15 listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2018; SEMARNAT, 2010), representando así el 94% del total de las especies de *Ambystoma* distribuidas en México. Desafortunadamente, como consecuencia de las actividades antropogénicas, el cambio climático, la introducción de especies invasoras y la destrucción del hábitat, actualmente algunas de estas especies se encuentran en peligro de extinción y sujetas a protección especial por normas mexicanas y autoridades internacionales (IUCN, 2020; WWF, 2020; SEMARNAT, 2010; Wake y Vredenburg, 2008). Es preciso señalar que debido a la alta similitud que presentan estas especies,

pueden llegar a existir confusiones taxonómicas debido a las aproximaciones morfológicas, alozímicas o moleculares, una característica propia de la familia *Ambystomatidae* (Williams *et al.*, 2013). En la Tabla 1 se incluye la lista de especies de ajolotes encontradas en México e incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, nombre común, su distribución y estado de riesgo para el altiplano mexicano.

De acuerdo con el reporte reciente de la Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (IPBES), del millón de especies que se encuentran en peligro de extinción en el planeta, el 40% son anfibios, lo que hace a las salamandras y otras especies el principal grupo de riesgo a nivel mundial, inclusive superando a las aves y mamíferos (Tollefson, 2019; Stuart *et al.*, 2004). En México, un país que ocupa el quinto lugar en riqueza de especies, pero que se sitúa solo en el segundo lugar en términos de número de especies amenazadas, más del 50% de los anfibios están en peligro de extinción (Chanson *et al.* 2008). Dentro de la familia *Ambystomatidae*

Tabla 1. Lista de especies de ajolotes encontradas en México e incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, su distribución y categoría de riesgo. Información modificada del Programa de Acción para la conservación de las especies: *Ambystoma* spp. SEMARNAT 2018.

Especie	Nombre común	Distribución por estado																Categoría de riesgo NOM-059-SEMARNAT-2010	Categoría de riesgo según la IUCN	
		CX	CH	CO	DG	EM	GR	JC	MI	MO	NA	PU	QT	SI	SO	TL	VE			ZA
<i>Ambystoma altamarani</i>	Axolote de Zempola	■				■				■									A	En
<i>Ambystoma amblycephalum</i>	Axolote de cabeza chata					■				■									Pr	Cr
<i>Ambystoma andersoni</i>	Achoque de Zacapu					■				■									Pr	Cr
<i>Ambystoma bombypellum</i>	Axolote de piel fina					■				■									Pr	Cr
<i>Ambystoma dumerilli</i>	Achoque de Pátzcuaro, Achójki					■				■									Pr	Cr
<i>Ambystoma flavipiperatum</i>	Ajolote de Chapala					■				■									Pr	En
<i>Ambystoma granulorum</i>	Axolote de Toluca					■				■									Pr	Cr
<i>Ambystoma leorae</i>	Axolote de río frío					■						■							A	Cr
<i>Ambystoma lermaense</i>	Axolote de Lerma					■													Pr	En
<i>Ambystoma mexicanum</i>	Axolote mexicano	■				■													P	Cr
<i>Ambystoma ordinarium</i>	Achoque de Michoacán					■				■									P	Cr
<i>Ambystoma rivulare</i>	Axolote de arroyo de Michoacán					■	■			■									A	DD
<i>Ambystoma rosaceum</i>	Axolote tarahumara		■		■	■			■			■		■	■			■	Pr	LC
<i>Ambystoma taylori</i>	Axolote de Alchichica					■				■			■						P	Cr
<i>Ambystoma velasci</i>	Axolote del altiplano			■		■			■				■			■	■		Pr	LC

IUCN= Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; Cr=Peligro Crítico, En=En peligro, LC=Menor preocupación, DD=Datos deficientes, P=Peligro de extinción, A=Amenazada, Pr=Protección Especial; CX=CD MX, CH=Chihuahua, CO=Coahuila, DG=Durango, EM=Edo. de México, GR=Guerrero, JC=Jalisco, MI=Michoacán, MO=Morelos, NA=Nayarit, PU=Puebla, QT=Querétaro, SI=Sinaloa, SO=Sonora, TL=Tlaxcala, VE=Veracruz, ZA=Zacatecas.



(perteneciente al orden de las salamandras) se encuentran las especies de *Ambystoma*, cuyo nombre significa “boca en forma de copa o boca achatada”, lo que refleja una de las características más distintivas de esta especie, cuya boca es muy ancha como si pareciera que todo el tiempo estuviera sonriendo (Ramírez-Celestino y Flores-Farfán, 2017).

En la cultura mexicana al ajolote *A. mexicanum* se le conoce como *axolotl* del Náhuatl “monstruo del agua”, palabra internacionalmente reconocida que hace referencia solamente a este tipo de organismo. Sin embargo, hay que señalar que el término “ajolote” se relaciona con todas las demás especies de *Ambystoma* que se conocen y no solo con la especie ubicada en el Valle de México (Ramírez-Celestino y Flores-Farfán, 2017). En nuestro país, los ajolotes están altamente relacionados con las civilizaciones tanto del pasado como del presente ya que, en la mitología azteca, el ajolote figuraba en la Leyenda del sol y la luna, considerado como un Dios, gemelo de Quetzalcóatl (Casas-Andreu et al., 2004). Desde tiempos ancestrales los ajolotes han tenido una importancia religiosa y culinaria ya que por su gran sabor era utilizado en la preparación de tamales, sopas y guisados, aprovechando así sus propiedades nutritivas, mientras que en la medicina tradicional era utilizado para padecimientos respiratorios y elaboración de jarabes, pomadas o infusiones (SEMARNAT, 2018). No obstante, en la actualidad, debido a su estado crítico de extinción, la mayoría de las especies en México son difíciles de encontrar en su hábitat natural, por lo cual su uso ha disminuido considerablemente (Velarde-Mendoza, 2012).

FUNCIONES ECOLÓGICAS DE LOS AJIOLOTES

Cada especie de ajolote cumple con una función ecológica en el sitio donde habita, interactuando entre sí y con otras especies con las que convive. Las funciones que desempeñan los ajolotes son muy importantes ya que aportan equilibrio al medio ambiente de diferentes maneras, además de estar catalogados como especies clave, lo que implica que sin su influencia se podrían generar cambios drásticos en los ecosistemas (Chapin et al., 1997). En primera instancia estos organismos se han identificado como reguladores potenciales

de la densidad de invertebrados asociados con la descomposición de materia orgánica que se encuentran en los ambientes acuáticos. Gracias al dinamismo que presentan los ajolotes al habitar en ecosistemas tanto acuáticos como terrestres, estos ayudan en el intercambio de materia y energía entre los dos hábitats y contribuyen en la dinámica del suelo (Davic y Welsh, 2004), además juegan un papel importante en los ciclos de carbono y nitrógeno de las plantas (Witzel et al., 2019) y gracias a que son depredadores clave, estos contribuyen a la disminución de presas influyendo así en la diversidad en los niveles tróficos inferiores. Por último, son una fuente importante de alimentación para consumidores terciarios como aves o ratones (Davic y Welsh, 2004). La vinculación que se presenta con el ser humano es de igual manera de gran importancia ya que estos organismos pueden ser utilizados como centinelas biológicos para medir la calidad de los ecosistemas, otro beneficio que otorgan los anfibios a los seres humanos es que debido a que consumen larvas de mosquitos como *Aedes aegypti*, sirven como controles biológicos, ayudando a reducir así problemas de salud pública (Barriga-Vallejo et al., 2017; Bowatte et al., 2013).

FISIOLOGÍA DE LOS *AMBYSTOMA SPP.*

Una de las características que distingue a algunas especies de *Ambystoma*, como *A. mexicanum* y *A. dumerilii* es que son incapaces de pasar por el proceso de metamorfosis obligada y llegar así a la vida adulta (Bos y DeWoody, 2005), quedándose en la primera fase de vida, conocida como neotenia. Esto es debido a que los ajolotes del centro del país evolucionaron de diferente manera, quedando aislados en la antigüedad debido a fenómenos geológicos como erupción de volcanes y formación de sierras que sucedieron en ese tiempo, además la pedomorfosis (retención de los caracteres juveniles en un organismo adulto) obligatoria o facultativa han evolucionado varias veces en las poblaciones mexicanas del género *Ambystoma*, lo que ha llevado a una mayor divergencia genética entre poblaciones con historias de vida alternativas contribuyendo a la divergencia de la población en este complejo de especies (Percino-Daniel, et al., 2016). Otra característica que hace únicos a estos organismos es su capacidad de regeneración, ya que pueden regenerar desde sus branquias, patas o cola hasta parte de sus órganos vitales como corazón y cerebro, además tienen el genoma más grande secuenciado hasta el momento (Hernández, 2017). Aunado a lo anterior, dichos organismos tienen la particularidad de presentar distintos tipos de respiración, lo que les da una ventaja adaptativa, sin embargo, también puede representar una desventaja ya que son más susceptibles a absorber contaminantes (Vitt y Caldwell, 2013; Llewelyn et al., 2019; SEMARNAT, 2018). El primer tipo de respiración es pulmonar y lo realizan mediante el uso de sus orificios nasales, lo que les permite tomar aire de una manera tan rápida que resulta casi imperceptible. Una segunda manera de respirar es mediante el paso de oxígeno a través de la piel conocido como ósmosis (Ramírez-Celestino y Flores-Farfán, 2017). Y por último mediante el uso de sus branquias por donde se da el intercambio de gases en el agua (Ramírez-Celestino y Flores-Farfán, 2017).

Por otra parte, se encuentran los ajolotes que se transforman en adultos, es decir, aquellos que son capaces de pasar por el proceso de metamorfosis obligada y que debido a su fisiología se les clasifica como salamandras ya que carecen de escamas y uñas, tienen la piel lisa, glandular y húmeda, poseen pulmones y presentan 4 dedos en las patas anteriores y 5 en las patas posteriores (Mena-González y Servín-Zamora, 2014). Estas especies se pueden encontrar de diferentes colores siendo los más comunes el café y pardo, pero también se pueden encontrar en color negro, verde, amarillo y en menor proporción en colores rosado o albinos.

Al año de nacimiento los ajolotes pueden llegar a medir entre 10 y 20 cm de largo, a esta edad se considera que son adultos y están listos para reproducirse y su tiempo de vida abarca entre los 10 y 15 años (Argüello, 2012). Por otra parte, la forma en la que se sabe que están sexualmente maduros los ajolotes neoténicos, es porque sus gónadas aumentan de tamaño y la parte central de su cuerpo se torna de color rojizo; su reproducción es bastante singular ya que a pesar de ser un animal que se conserva en un estado larvario, tiene la capacidad de madurar sexualmente. La reproducción comienza cuando el macho libera los espermatozoides, acto seguido la hembra procede a posarse encima de cada uno de ellos abriendo su cloaca para que el espermatozoides entre y pueda ser fecundada. De ser fértiles y llegar a un desarrollo óptimo tardan de 2 a 3

semanas en salir del huevo. Por otra parte, los ajolotes transformados y los más comúnmente encontrados en el norte de México, siguen el mismo proceso de reproducción que los ajolotes neoténicos (Ramírez-Celestino y Flores-Farfán, 2017).

DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Tienen una amplia distribución, encontrándose desde el sur de Alaska hasta el altiplano mexicano. En la Fig. 1 se representa el área geográfica de las diferentes especies de *Ambystoma spp.* en México, donde se puede observar que la mayor extensión territorial es ocupada por las especies de *A. velasci* y *A. rosaceum*. Están caracterizados por habitar en una gran variedad de ambientes, sin embargo, sus zonas predilectas son los ríos y arroyos, que tienden a utilizar para su reproducción, refugio o búsqueda de alimento, aunque también se les encuentra en pastizales y bosques de Pino-Encino (SEMARNAT, 2018). Gran parte del hábitat de estas especies se encuentra en lugares áridos en donde la demanda de agua para actividades humanas es alta, provocando que sus hábitats se encuentren continuamente en un estado de desecación parcial o total. Cabe señalar que el ecotono presente entre los ecosistemas acuático y terrestre brinda a las salamandras hábitats únicos para su óptimo desarrollo (Davic y Welsh, 2004).



Figura 1. Mapa de distribución de las especies de *Ambystoma spp.* en México, situadas bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010. Información modificada del Programa de Acción para la conservación de las especies: *Ambystoma spp.* SEMARNAT 2018. No se incluyeron *A. tigrinum* y *A. mavortium* ya que dichas especies a pesar de compartir territorio entre Estados Unidos y México, no se encuentran dentro de la norma mexicana, al igual que *A. silvense*.

Los ajolotes en estado neoténico (Fig. 2) suelen encontrarse en el fondo de los cuerpos de agua donde haya lodo, aprovechando este tipo de escenario para poder cazar (Ramírez-Celestino y Flores-Farfán, 2017). Todas las especies de ajolotes tanto neoténicos como transformados en su vida adulta son carnívoros y excelentes cazadores, mientras que en su estado larvario son herbívoros (Aqua Fundación, 2021). Debido a que los ajolotes neoténicos no cuentan con un sentido de la vista óptimo a causa del tipo de hábitat donde se encuentran, han desarrollado un gran sentido del olfato, el cual utilizan para poder cazar a sus presas. Su dieta principal en la vida adulta es a base de renacuajos, pequeños peces, lombrices, larvas de mosquitos, zooplancton o insectos acuáticos, los cuales devoran o tragan ya que los dientes que presentan no tienen la capacidad de poder triturar el alimento (Ramírez-Celestino y Flores-Farfán, 2017; Leff y Bachmann 1986).

PRINCIPALES AMENAZAS QUE ENFRENTAN ACTUALMENTE

De acuerdo con Frías-Alvares *et al.* (2010) las amenazas primordiales a las que hacen frente actualmente los ajolotes son la pérdida y fragmentación de su hábitat como consecuencia de la deforestación de los bosques; la explotación para su venta y consumo humano; el entubamiento de los arroyos que imposibilita su reproducción; la presencia de peces exóticos, principalmente carpa (*Cyprinus carpio*), tilapia azul (*Oreochromis aureus*), tilapia del Mozambique (*O. mossambicus*), tilapia del Nilo (*O. niloticus*) y trucha arcoíris (*Onchornyctus mykiss*); la contaminación de los cuerpos de agua donde habitan; distintos tipos de actividades antropogénicas; el cambio climático y enfermedades emergentes que presentan los anfibios ocasionadas por el *Ranavirus*, virus perteneciente a la familia de los iridovirus, *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*), hongo patógeno quitridio que ocasiona la enfermedad denominada quitridiomycosis (Mendoza-Almeralla *et al.*, 2015; Bosch, 2003) y *Candidatus Amphibiichlamydia salamandrae*, bacteria poco estudiada pero que se ha visto ocasiona alta mortalidad en anfibios (Martel *et al.*, 2012; De Boeck *et al.*, 2012). De igual manera es de suma importancia indicar que el daño ocasionado en el hábitat de estas especies puede limitar la conectividad entre ecosistemas, trayendo como consecuencia la disminución en la diversidad genética y consigo endogamia y cuellos de botella genéticos, los cuales limitarían su adaptación a nuevas circunstancias o entornos que los rodean (Sunny *et al.*, 2014). Por último cabe señalar que son extremadamente susceptibles a los daños ocasionados por la contaminación de cuerpos de agua, particularmente a los pesticidas ya que les provocan malformaciones y dificultades para reconocer a sus predadores (Polo-Cavia y Gómez-Mestre, 2016).

ACCIONES PARA SU CONSERVACIÓN

Los esfuerzos por restaurar las poblaciones de ajolotes, en especial *A. mexicanum*, especie más conocida y con



Figura 2. Especies de ajolotes en estado neoténico

- A** Ajolote *Ambystoma taylori* / Fernando Constantino Martínez Belmar / CONABIO
- B** Ajolote *Ambystoma mexicanum* / Miguel Ángel Sikilia Manzo / CONABIO
- C** Ajolote *Ambystoma granulosum* / Rafael Alejandro Calzada Arciniega / CONABIO
- D** Ajolote *Ambystoma velasci* / Carlos Barriga Vallejo / CONABIO

más estudios publicados (Velarde-Mendoza, 2012), son actualmente los realizados por algunos investigadores debido a la alarmante disminución de las poblaciones de estos ejemplares, los cuales pasaron de 6 mil por kilómetro cuadrado en 1998 a 36 en 2014, según el censo realizado por el Instituto de Biología de la UNAM. Considerando el drástico descenso de las poblaciones de esta especie, en el Informe Global de Riesgos 2020, el Foro Económico Mundial nombró al ajolote mexicano como la cuarta especie con mayor riesgo a nivel mundial. Los proyectos que actualmente se encuentran activos, engloban los cuatro vértices principales para la preservación de este organismo, siendo el sector político, social, económico y científico.

Entre los esfuerzos emprendidos para rescatar al ajolote destaca el *Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco*, iniciado en 1989, del que es parte el proyecto "Conservación del ajolote (*A. mexicanum*) mediante su cultivo y siembra en el Parque Ecológico de Xochimilco", el cual es considerado Patrimonio de la Humanidad, auspiciado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), y desarrollado por el Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco, A.C., que busca preservar y hacer una explotación racional de la especie.

Otro proyecto es el realizado en *La reserva ecológica del Pedregal de la UNAM*, la cual cuenta con un albergue de ajolotes, donde su principal interés resulta en estudiar la caracterización del sistema en el que habitan, enfocándose entre otros aspectos en la calidad del agua donde habitan y la variabilidad genética de los ajolotes, para tener más claridad sobre el funcionamiento del sistema y poder restaurarlo sin que resulte contraproducente, ya que liberar ajolotes sin estudios previos no es la mejor de las soluciones (Mena-González y Servín-Zamora, 2014; Vidal, 2018). A la par existe el *Refugio Chinampa*, programa que forma parte de una estrategia integral, el cual fue iniciado en 2017 y auspiciado por la Secretaría de Cultura Federal en su primera etapa y por la Red de Soluciones de Desarrollo Sostenible (SDSN) de la ONU en etapas posteriores, dicho proyecto es desarrollado por diferentes organizaciones como la Alcaldía de Xochimilco, Chinamperos locales y la UNAM, donde buscan poner en marcha nuevos refugios para los ajolotes y restaurar la superficie agrícola de Xochimilco (Zambrano, 2019), es decir, retornar a la agricultura tradicional introduciendo nuevamente las chinampas, las cuales son islotes artificiales que flotan en el agua y que eran utilizadas para el cultivo de hortalizas, brotes de vegetales, tubérculos, flores comestibles, variedad de maíz y hierbas aromáticas en la época prehispánica.

El proyecto *Umbral Axochiatl*, conformado por campesinos chinamperos de Xochimilco, busca de igual manera restaurar el hábitat natural del *A. mexicanum*, y ha comenzado con proyectos de ecoturismo, limpieza de los cuerpos de agua y de igual manera la reintroducción agrícola, utilizando las técnicas tradicionales de chinampería (Angulo, 2020).

Es cierto que la mayoría de los esfuerzos por conservar a los ajolotes se han dirigido hacia *A. mexicanum*,

restándole importancia a las demás especies con las que cuenta México. Sin embargo existen proyectos que van encaminados hacia la conservación *ex situ* o áreas destinadas para asegurar la preservación de *A. granulosum*, *A. lermaense* y *A. velasci* (Aguilar *et al.*, 2009; Rivera, 2019; Jiménez *et al.*, 2017). Otro caso es el de *A. dumerilii*, el ajolote del Lago de Pátzcuaro, donde investigadores desde el 2000 han realizado diferentes proyectos financiados por diversas instituciones como el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), SEMARNAT, Fundación Río Arronte, CONABIO y U.S. Fish and Wildlife Service, enfocándose en el manejo, conservación, fortalecimiento y capacitación para la protección de esta especie; además se realizaron acciones en el sector social para la educación ambiental elaborando libros para colorear acerca de "Salvador el Achoque", impactando de manera positiva en los niños y su conservación (Huacuz, 2002).

Aunado a lo anterior, para comenzar con las acciones de protección y conservación de otras especies de ajolotes mexicanos, se encuentran actualmente proyectos en desarrollo que consisten como primera etapa en la actualización de datos con respecto a la distribución, caracterización del hábitat y marcaje. Las 3 áreas naturales protegidas en estudio son: la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca en los estados de México y Michoacán con *A. rivulare*, el Área de Protección de Recursos Naturales Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Tensasaltepec en el estado de México con *A. rivulare* y *A. granulosum* y el Parque Nacional La Malinche en los estados de Puebla y Tlaxcala con *A. velasci* (CONANP, 2017; Garcia *et al.*, 2017; Díaz de la Vega-Pérez *et al.*, 2019).

Existen además Unidades de Manejo para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMAS) de vida libre o intensivas y Predios o Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS), las cuales cuentan con los permisos legales por parte de la SEMARNAT para reproducir, criar y vender especies como: *A. rivulare*, *A. tigrinum*, *A. mexicanum*, *A. granulosum*, *A. lermaense*, *A. dumerilii* y *A. velasci* (Fig. 3), con un enfoque en el interés de que el público pueda tener uno para ayudar en su conservación (Huacuz, 2002).

DISCUSIÓN

Con respecto al incremento de pérdida de biodiversidad que la tierra sufre y en particular, el elevado porcentaje de especies de anfibios, los investigadores se han visto en la necesidad de priorizar la realización de inventarios de diversidad biológica que ayuden a la descripción y conservación de las especies (Andrew, 2011). Desde esta perspectiva, la biología molecular se ha convertido en una herramienta innovadora y significativa que ayuda en la identificación, monitoreo de los organismos y su conservación (Goldberg *et al.*, 2016), ya que, debido a su sencilla manipulación y múltiples ventajas, solo se requieren mínimas cantidades de ADN. En este sentido el uso de los "códigos de barras (COI) o códigos de la



Figura 3. Diferentes especies de ajolotes y salamandras.

- A** *Salamandra Ambystoma velasci* / Carlos Barriga Vallejo
- B** Ajolote *Ambystoma dumerilii* / Iván Montes de Oca Cacheux / CONABIO
- C** *Salamandra Ambystoma lermaense* / Leopoldo Vázquez / CONABIO
- D** Ajolote *Ambystoma altamarinari* / Juan Antonio Reynoso Morán / CONABIO

vida" (fragmentos de ADN) constituyen una alternativa sencilla y eficaz debido a que es una técnica precisa, no invasiva, rápida, convencional y fácil de estandarizar (Thomsen y Willerslev 2015).

El laboratorio de Ecofisiología en conjunto con el Laboratorio de Ciencias Genómicas de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, actualmente trabajan en la utilización de los COI para la identificación y monitoreo de ajolotes, apoyado por los proyectos PAICYT CN1236-20 y 325-2020 "Validación *in situ* de la técnica de código de barras para el monitoreo de la salamandra endémica *Ambystoma velasci* en el estado de Nuevo León", además de su difusión en congresos con trabajos de investigación titulados "Implementación de un protocolo de detección molecular de anfibios acuáticos" e "Implementación de las condiciones de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para la detección de *Ambystoma velasci* (ajolote del altiplano) a partir de eDNA", presentados en la ciudad de Querétaro, en Octubre 2020; dichos proyectos buscan utilizar esta herramienta como método rápido basado en la estimación del ADN para inferir la presencia y abundancia de las poblaciones de ajolotes en el noreste del país y tener una idea del estado de salud de los ecosistemas donde habitan, contribuyendo así con elementos clave para la conservación de esta especie.

CONCLUSIÓN

Desde tiempos ancestrales los ajolotes han tenido además de una importancia religiosa, una importancia culinaria y medicinal que, aunque persiste, se ha ido

perdiendo debido a la escasez de algunas de sus poblaciones. La pérdida de los ajolotes podría generar grandes cambios en los ecosistemas debido a las importantes funciones biológicas que desempeñan, repercutiendo inequívocamente hasta en el ser humano. Iniciativas tanto nacionales como internacionales han dado pauta a la pronta necesidad de la conservación de dicho organismo, enfocándose principalmente en *A. mexicanum*, especie micro-endémica de México reconocida a nivel mundial.

Por lo tanto, se deben incrementar y continuar con los planes de conservación que se tienen actualmente para la preservación de estas especies, no se debe permitir que un organismo tan emblemático de México desaparezca o solo se reproduzca en cautiverio. Es necesario señalar que, aunque el gobierno mexicano haya otorgado plasmar al ajolote en los billetes de 50 pesos moneda Nacional, los cuales serán distribuidos a partir del 2022 (Fig. 4), resulta fundamental que las autoridades competentes y la sociedad incrementen su compromiso y esfuerzos por recuperar esta especie.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al proyecto PAICYT 325-2020 "Validación *in situ* de la técnica de código de barras para el monitoreo de la salamandra endémica *Ambystoma velasci* en el estado de Nuevo León" por el financiamiento otorgado para el proyecto de investigación que motivó la escritura del presente manuscrito. Agradezco igualmente a Carlos Barriga-Vallejo y al Banco de imágenes de CONABIO por proporcionar las imágenes que se presentan en el artículo.



LITERATURA CITADA

- Aguilar-Miguel, X., Legorreta, G. y Casas-Andreu, G. 2009. Reproducción ex situ en *Ambystoma granulosum* y *Ambystoma lermaense* (Amphibia: Ambystomatidae). *Acta zoológica mexicana*, 25(3), 443-454.
- AmphibiaWeb. 2021. Information on amphibian biology and conservation. Berkeley, California. Disponible en: <https://amphibiaweb.org/> (Consultado el 08/01/2021).
- Andrew, J. 2011. Códigos de Barras de la Vida: Introducción y Perspectiva. *Acta Biológica Colombiana* 16(3):161-175. (Consultado el 23 de septiembre de 2020). ISSN: 0120-548X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3190/319027888011>
- Angulo, Y. (14/04/2020). Umbral Axochiatl: Un monstruo de agua repoblará los canales de Xochimilco. *El Mundo*. <https://www.elmundo.cr/mundo/umbral-axochiatl-un-monstruo-de-agua-repoblar-los-canales-de-xochimilco/>. (Consultado el 22/09/2020).
- Aquae Fundación, 2021. El ciclo de vida de los anfibios. En: https://www.fundacionaquae.org/wiki-explora/45_anfibios/index.html#despiece_1 (Consultado el 09/01/2021)
- Argüello, M.Y. 2012. El ajolote de Xochimilco. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Barriga-Vallejo, C., Aguilera, C., Cruz, J., Banda-Leal, J., Lazcano, D. y Mendoza, R. 2017. Ecotoxicological biomarkers in multiple tissues of the neotenic *Ambystoma* spp for a non-lethal monitoring of contaminant exposure in wildlife and captive populations. *Water, Air, & Soil Pollution*. 228: 415 (2017).
- Bos, D. y DeWoody, J. A. 2005. Molecular characterization of major histocompatibility complex class II alleles in wild tiger salamanders (*Ambystoma tigrinum*). *Immunogenetics* (2005) 57: 775–781.
- Bosch, J. 2003. Nuevas amenazas para los anfibios: enfermedades emergentes. *Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC*, 16 (2003) 56-73.
- Bowatte, B., Perera, P., Senevirathne, G., Boyagoda, S. y Meegaskumbura, M. 2013. Tadpoles as Dengue Mosquito (*Aedes aegypti*) egg predators. *Biological Control*. 67. 469-474.
- Casas-Andreu, G., Cruz-Aviña, R. y Aguilar-Miguel, X. 2004. Un regalo poco conocido de México al mundo: El ajolote o axolotl (*Ambystoma*: Caudata: Amphibia). *Ciencia Ergo Sum*, Noviembre 2003-Febrero 2004, año/vol. 10, número 003 Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, pp. 304-308.
- Chanson, J., Hoffman, M., Cox, N. y Stuart, S. M. 2008. The state of the world's amphibians. *Threatened amphibians of the world* 33-44.
- Chapin, F., Walker, B., Hobbs, R., Hooper, D., Lawton, J., Sala, O. y Tilman, D. 1997. Biotic Control Over the Functioning of Ecosystems. *Science* 277(5325), 500-504.
- CONANP, 2017. Plan de Acción para las Áreas Naturales Protegidas de la Región Centro y Eje Neovolcánico. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Davic, R.D. y Welsh, H.H. Jr. 2004. On the Ecological Roles of Salamanders. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35:405-434.
- De Boeck, H., Miwanda, B., Lunguya-Metila, O., Muyembe-Tamfum, J.J., Stobberingh, E., Glupczynski, Y. y Jacobs J. 2012. Novel Chlamydiaceae Disease in Captive Salamanders. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 18, No. 6, June 2012.
- Díaz de la Vega-Pérez, AH., Jiménez-Arcos VH., Centenero-Alcalá, E., Méndez-de la Cruz, FR., Ngo A. 2019. Diversity and conservation of amphibians and reptiles of a protected and heavily disturbed forest of central Mexico. *ZooKeys* 830: 111-125.
- Frías-Alvarez, P., Zúñiga-Vega, J.J. y Flores-Villela, O. 2010. A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians. *Biodiversity and Conservation* 19(13): 3699–3742.
- García, H., Martínez-Meza, F., Domínguez-Vieyra, R., Mondragón-Contreras, G., Ramírez, K., Vera-Chávez, M. 2017. Monitoreo Sistemático de *Ambystoma rivulare* (AMBYSTOMATIDAE), en dos sitios de muestreo en la Sierra Chincua, Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. CONANP 2017.
- Goldberg, C., Turner, C. R., Deiner, K., Klymus, K.E., Thomsen, P.F., Murphy, M.A., Spear S.F., McKee, A., Oyler-McCance, S.J., Cornman, R.S., Laramie, M.B., Mahon, A.R., Lance, R.F., Pilliod, D.S., Strickler, K.M., Waits, L.P., Fremier, A.K., Teruhiko, T., Herder, J.E. y Taberlet P. 2016. Critical considerations for the application of environmental DNA methods to detect aquatic species. *Methods in Ecology and Evolution* 2016 7:1299–1307.
- Hernández Mares, P. 2017. Ajolote: el símbolo mexicano que se resiste a la extinción. *Mongabay Latam*. Periodismo Ambiental independiente. <https://es.mongabay.com/2017/05/ajolote-lucha-contra-extincion/> (Consultado el 09/01/2021).
- Huacuz, DC. 2002. Programa de conservación y manejo de *Ambystoma dumerilii*. *El Achoque del Lago de Pátzcuaro*.



Figura 4. Billeto de 50 Pesos Moneda Nacional conmemorativo al axolote, Xochimilco y el maíz. Imagen no oficial. Adaptación realizada por Erick Michel para Plantalia.

- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, SEMARNAT 2002.
- IUCN, 2020. International Union for Conservation of Nature. The IUCN Red list of Threatened Species. Versión 2020-2. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/> (Consultado el 10/09/2020).
- Jiménez Jiménez, O., Cruz Aviña, JR., Arzate Ramirez, E., Figueroa Lucero, G., Casas Andreu, G. 2017. Conservación ex-situ de poblaciones en riesgo de ajolotes (*Ambystoma* spp.) del Estado de Puebla, México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 8(18): 1-10 2017.
- Leff, L. y Bachmann, M. 1986. Ontogenetic changes in predatory behavior of larval tiger salamanders (*Ambystoma tigrinum*). *Canadian Journal of Zoology* 64 (6) 1986.
- Llewelyn, V., Berger, L. y Glass, B. 2019. Permeability of frog skin to chemicals: effect of penetration enhancers, *Heliyon*, Volume 5, Issue 8, 2019.
- Martel, A., Adriaensen, C., Sharifian-Fard, M., Vandewoestyne, M., Deforce, D., Favoreel, H., Bergen, K., Spitzen-van der Sluijs, A., Devisscher, S., Adriaens, T., Louette, G., Baert, K., Hyatt, A., Cramer, S., Haesebrouck, F. y Pasmans, F. 2012. The novel 'Candidatus *Amphibiichlamydia ranarum*' is highly prevalent in invasive exotic bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*). *Environmental Microbiology Reports* 5(1):105-8
- Mena-González, H. y Servín-Zamora, E. 2014. Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Ciudad de México, 34 pp.
- Mendoza-Almeralla, C., Burrowes, P. y Parra-Olea, G. 2015. La quitridiomycosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86 (2015) 238-248.
- Percino, D. R., Recuero, E., Vázquez-Domínguez, K., Zamudio, R. y Parra-Olea, G. 2016. All grown-up and nowhere to go: paedomorphosis and local adaptation in *Ambystoma* salamanders in the Cuenca Oriental of Mexico. *Biological Journal of the Linnean Society* 118: 582-597.
- Polo-Cavia, N. y Gómez-Mestre, I. 2016. Pigmentation plasticity enhances crypsis in larval newts: associated metabolic cost and background choice behavior. *Scientific Reports*. Department of Biology, Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria, Madrid. Ecology, Evolution, and Development Group, Doñana Biological Station, Sevilla, España. 7:39739.
- Ramírez-Celestino, C. y Flores-Farfán, J.A. 2017. El ajolote. Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH). Ciudad de México, 125 pp.
- Rivera Rodríguez, A. 2019. Propuesta para establecer un área destinada voluntariamente a la conservación del ajolote (*Ambystoma granulorum*) en Jiquipilco, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Planeación Urbana Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca de Lerdo, 139pp.
- SEMARNAT, 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (Consultado el 20/09/2020).
- SEMARNAT, 2018. Ajolote mexicano, criatura súper dotada. SEMARNAT. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/ajolote-mexicano-criatura-super-dotada> (Consultado el 09/01/2021).
- SEMARNAT, 2018. Programa de Acción para la Conservación de las Especies *Ambystoma* spp, SEMARNAT/CONANP, México (Año de edición 2018).
- Stuart, SN., Chanson, JS., Cox, NA., Young, BE., Rodrigues, AS., Fischman, DL. y Waller, RW. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306(5702): 1783-1786.
- Sunny, A., Monroy-Vilchis, O., Fajardo, V. y Aguilera-Reyes, U. 2014. Genetic diversity and structure of an endemic and critically endangered stream river salamander (Caudata: *Ambystoma leorae*) in Mexico. *Conservation Genetics* 1:49-59.
- Thomsen, PF. y Willerslev E. 2015. Environmental DNA-An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, volume 183. March 2015, Pages 4-18.
- Tollefson, J. 2019. Humans are driving one million species to extinction. *Nature* 569: 171.
- Velarde-Mendoza, T. 2012. Importancia ecológica y cultural de una especie endémica de ajolote (*Ambystoma dumerilii*) del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Facultad de Ciencias, UNAM. *Etnobiología* 10(2): 40-49
- Vidal, M. (08/02/2018). Genoma del ajolote ¿Y su conservación en Xochimilco? *Ciencia UNAM, DGDC*. <http://ciencia.unam.mx/leer/706/genoma-del-ajolote-y-su-conservacion> (Consultado el 22/09/2020).
- Vitt, L. y Caldwell, J. 2013. Water Balance and Gas Exchange. Pp 181-202. En: Vitt L., Caldwell J. (Eds.) *Herpetology (Fourth Edition), An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. Academic Press, ISBN 9780123869197.
- Wake, DB. y Vredenburg, VT. 2008. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (Supplement 1), 11466- 11473.
- Williams, J. S., J. H. Niedzwiecki, D. W. Weisrock. 2013. Species tree reconstruction of a poorly resolved clade of salamanders (*Ambystomatidae*) using multiple nuclear loci. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 68(3): 671-682.
- Witzel, NA., Taheri, A., Miller, BT., Hardman, RH., Withers, DI., Spear, SF. y Sutton, WB. 2019. Validation of an environmental DNA protocol to detect a stream-breeding amphibian, the Streamside Salamander (*Ambystoma barbouri*). *Environmental DNA*. 2020; 00:1-11. Department of Agriculture; Department of Agricultural and Environmental Science at Tennessee State University.
- WWF, 2020. World Wildlife Fund. WildFinder: Online database of species distributions. Disponible en: <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/nt0901> (Consultado el 10/09/2020).
- Zambrano González, L. 2019. Conservación y reactivación de la zona chinampera de Xochimilco (Segunda fase). *Restauración Ecológica*. <https://ireunam.wixsite.com/ireunam/proyectos-xochimilco> (Consultado el 09/01/2021).



ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN LA CAFETERÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

▀ SÁMANO-PÉREZ, C., FARÍAS-BUITRÓN,
M., LU-MARTÍNEZ, A.A., BAUTISTA-
VILLARREAL, M., GALLARDO-RIVERA,
CLAUDIA T.

RESUMEN

En esta investigación se estimó el desperdicio de alimento, generado por una población (1000 personas) constituida por estudiantes y profesores de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Este desperdicio corresponde al residuo de comida rápida y residuos de platos generados de la comida buffet, estimado según lo señalado por la población (durante su estancia en la universidad), a través de un cuestionario diseñado y aplicado en línea utilizando la plataforma SIASE (Sistema Integral para la administración de Servicios educativos de la UANL). El estudio tuvo como objetivo conocer las características del consumidor (según edad, poder adquisitivo e índice de masa corporal), sus hábitos de consumo y el residuo que genera, según su tipo y cantidad. Los resultados muestran que el 70% de los estudiantes tiene un peso corporal normal (IMC=25), la mayoría (96%) de ellos se encuentra en el rango de edad entre 18 a 28 años y más de la mitad (55%) destina entre 20 y 50 pesos para comprar alimentos. Estos datos, sugieren que la población estudiantil tiene un presupuesto limitado para alimentarse en la universidad, lo cual es congruente con su baja frecuencia de consumo por semana (2 o 3 veces). Lo anterior refiere que el poder adquisitivo influye en la preferencia que tienen los estudiantes por alimentos económicos como: galletas, pan, chilaquiles, *hot dog*, tacos, tortas, papas fritas con queso y bebidas embotelladas (refresco y jugos). Respecto a la población de profesores el 61% posee un IMC>25, gasta entre \$50 a \$100 en la compra de alimentos y genera residuos de platos tales como: carne, pollo o pescado (10%); arroz o pastas (10%); además, ensalada o verduras (20%), pan o tortillas (15%) y bebidas gaseosas (volumen<20%). Con base en los resultados del cuestionario, adicionalmente se diseñaron menús económicos (\$18.00-\$30.00 pesos) que contienen subproductos de alimentos producidos durante su preparación, con el fin de promover hábitos de alimentación más saludables en los estudiantes e implementar una estrategia de reducción del desperdicio, resultados que no evaluamos en esta investigación. Este estudio preliminar de estimación de desperdicios alimentarios esboza algunos de los factores requeridos para determinar en futuras investigaciones, la magnitud de los desperdicios alimentarios y cuantificar sus efectos en el ámbito económico, social y ambiental. El conocimiento de esta magnitud podría utilizarse como referencia para proponer la estrategia de reducción de los residuos de alimentos.

ABSTRACT

This research estimated the waste food generated by a population (1,000 people) of students and teachers from the Faculty of Biological Sciences (FCB) of the Autonomous University of Nuevo León (UANL). This waste corresponds to the waste food of fast food and buffet type, which was estimated applying an online questionnaire to the population using the SIASE platform (Comprehensive System for the Administration of Educational Services of the UANL). This allowed to know the characteristic of the consumers (according to their age, purchasing capability and body mass index), their consumption habits, and waste, according to its type and quantity. The results show that 70% of the students have a normal corporal weight (BMI=25), most of them are in the age range between 18 and 28 years, and more than a half spend between 20 and 50 mexican pesos to buy food. These data suggest that the student population has a limited budget to eat at the university, which is consistent with its low frequency of consumption per week (2 or 3 times). This indicates that purchasing capability influences the preference of students for cheap foods such as cookies, bread, chilaquiles, hot dogs, tacos, cakes, cheese fries, and bottled beverages (soft drinks and juices). Regarding teachers, 61% have a BMI >25, spend between \$50 and \$100 pesos in food and generate a waste of meals as meat, chicken or fish (10%), rice or pasta (10%), salad or vegetables (20%), bread or tortillas (15%) and carbonated drinks (volume<20%). Based on the results of the questionnaire, economic menus (\$18.00-\$30.00 pesos) were designed based on by-products generated during preparation of meals in order to promote healthier eating habits in the students and to implement a waste reduction strategy; these results were not shown in this research. This preliminary study of estimating food waste outlines some of the factors required to determine in a future research the impact of food waste and to quantify its effect in the economic, social, and environmental fields. Knowledge of this impact could be used as a reference to propose a strategy of reducing food waste.



Palabras clave: Desperdicio de alimentos, Estimación del desperdicio, Hábitos de consumo
Keywords: Food waste, Estimation of waste, Consumption habits

INTRODUCCIÓN

El desperdicio de alimentos representa uno de los problemas más relevantes a nivel mundial, se ha estimado que un tercio de la comida producida es desperdiciada y corresponde a 1300 millones de toneladas/año; su impacto, es tal, que este producto podría ser suficiente para alimentar a 842 millones de personas en condición de pobreza (FAO, 2017a). El residuo alimentario se genera durante las etapas de producción, distribución, comercio y el servicio de alimentos. Dichas etapas constituyen el sistema alimentario, donde las pérdidas de alimentos provienen de los productos agrícolas o pesqueros, que no se consumen, debido a la disminución de su cantidad o calidad, misma que se refleja en su valor nutricional, económico o seguridad. Los desperdicios son originados durante el consumo de alimentos y son descartados, ya sea porque se hayan dañado o caducaron por descuido (FAO, 2015). De esta manera, las pérdidas y desperdicios de alimentos (PDA) impactan en forma negativa en la sostenibilidad del sistema alimentario, lo que puede causar un problema social cuando se reduce la disponibilidad de los alimentos. Además, generan impacto económico, debido al costo de los recursos naturales utilizados para su producción; tan solo los alimentos desperdiciados consumen el 24% del total del agua usada para la agricultura y las tierras utilizadas para su obtención son aproximadamente del tamaño de México (198 millones de hectáreas/año). Así mismo, las PDA producen impacto ambiental debido a la emisión de gases invernadero (dióxido de carbono, CO₂), que corresponden a 3300 millones de toneladas métricas a nivel mundial; si imaginamos que los residuos de alimentos representan un país, estaría entre los tres principales países emisores de gases después de China y Estados Unidos. Frente a estos desafíos, es necesario alcanzar un sistema alimentario sostenible, que provea a las personas de alimentos seguros, nutritivos y en cantidad adecuada para garantizar una vida saludable (Acuña et al., 2018; Morales, 2017; Jurgilevich et al., 2016; FAO, 2013; Naciones Unidas, 2017). En el mundo, los costos económicos de las PDA equivalen a 1.9 mil millones de dólares por lo que es pertinente su estimación. En Europa y América del Norte las PDA se reportan entre 280 y 300 kg/persona/año, mientras que, en África (Sudáfrica) y Asia meridional y sudoriental representan entre 120 y 170 kg/persona/año. Por su parte, en lo que corresponde a los desperdicios de alimentos *per cápita* su valor se encuentra entre 95 a 115 kg/año en Europa y América del Norte (Acuña et al., 2018 p. 14; Banco Mundial, 2017).

Debido al efecto de las PDA en el ámbito económico, social y ambiental, surgieron programas y proyectos a nivel global, como es el caso del Programa SaveFood impulsado por la FAO (Food and Agriculture Organization), en el que se promovieron iniciativas sobre la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos (Gustavsson et al., 2011). La importancia de las PDA destaca en el objetivo 12 de la Agenda 2030, el cual hace referencia al desarrollo sostenible que consiste en "Garantizar Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles"; en su Meta 12.3 establece

que para el 2030 el desperdicio de alimentos *per cápita* mundial debe reducirse a la mitad debido a mejoras en la venta al menudeo, consumo y reducción de las pérdidas de alimentos en su producción y posteriores a la cosecha (Naciones Unidas, 2017). En Europa, los proyectos FUSIONS (Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies) han contribuido a estandarizar el monitoreo del desperdicio, realizar innovación social y una política en común del desperdicio. Por su parte, REFRESH (Resource Efficient Food and Drink for the Entire Supply Chain) ha realizado proyectos alineados a la meta 12.3, enfocados en reducir los costos de manejo de desperdicios e incrementar su valor en el sistema alimentario. Así mismo, la organización WRAP (Waste and Resources Action Programme, UK) se ha enfocado en la reducción del desperdicio de alimentos en la etapa de consumo (hogares, relleno sanitario), comercios o cadenas comerciales para realizar acuerdos en relación con el servicio de alimentos y analizar la permanencia de los productos (WRAP, 2016). Los estudios más recientes de Champions 12.3 demuestran que la mejor inversión que pueden hacer los países es reducir las PDA, ya que por cada \$1 invertido en su disminución se ahorran \$14.00 (Morales, 2017; Hanson y Mitchell, 2017).

En particular, México enfrenta la realidad del desperdicio en todas las etapas del sistema alimentario. Los primeros estudios muestran que el 37% de la producción agropecuaria es desperdiciada y con su rescate se podría alimentar a 7.4 millones de personas en pobreza extrema, que es un objetivo planteado por la Cruzada Nacional contra el Hambre, CNCH (Yaschine et al., 2014; Gobierno México, 2013). Un estudio más reciente proporciona una idea de los costos ambientales, económicos y sociales de las PDA, indicando que el aspecto legal puede contribuir a facilitar la donación de alimentos recuperados y establece una referencia para continuar con la investigación a una escala mayor. Sus resultados muestran que alrededor de 72% de las PDA ocurren antes de la cosecha (incluida la distribución) y el 28% está asociado con la venta al menudeo, donde destaca la influencia del hábito de los consumidores. Se estimó el desperdicio alimentario y su impacto ambiental con respecto al uso de agua y generación de dióxido de carbono, para ello se seleccionaron 79 alimentos representativos de la dieta de los mexicanos. Los desperdicios calculados alcanzan los 20.4 millones de toneladas de alimentos, los cuales generan 36 millones de toneladas de dióxido de carbono; cuyo volumen es similar al que producen 15.7 millones de vehículos anualmente. El agua usada en la producción de los alimentos desperdiciados ascendió a más de 40 billones de litros, lo que corresponde al agua consumida por todos los mexicanos en un periodo de 2.4 años; se tiene reporte que el impacto económico de estos desperdicios es alrededor de 491 millones de pesos.

Para hacer frente al desperdicio de alimentos en el país, es necesario que la población realice prácticas de consumo consciente en relación con la alimentación

(Banco Mundial, 2017). La etapa de consumo corresponde al último eslabón del sistema alimentario, etapa que representa un reto para el estudio de los desperdicios de alimentos, debido a la influencia de los hábitos de consumo en el servicio de alimentos en escuelas, hospitales, restaurantes y hogares. El servicio de alimentos comprende la preparación del alimento en cocina, el servicio (alimento preparado en exceso que no se consume) y los restos de platos. Se ha reportado, que los residuos de platos pueden representar entre un 26 a 56% de los desperdicios generados por empresas, restaurantes, hospitales, hogares, y comedores entre otros (Stancu, Haugard y Lähteenmarki, 2017; Ericksson et al., 2017; FAO, 2017b; WRAP, 2016; Silvennoinen et al., 2015). En países como Europa, Estados Unidos, Asia y Australia los desperdicios derivados del consumo contribuyen entre 38 a 57% respecto a su producción de alimento anual. La influencia de los hábitos de consumo ha promovido el desarrollo de programas de concientización, que incluyen el reuso del desperdicio, siguiendo la jerarquía de utilización del desperdicio, generada en Reino Unido por WRAP, para la industria de alimentos y bebidas, como lo muestra la Figura 1 (Pinstруп-Andersen y Gitz, 2014).

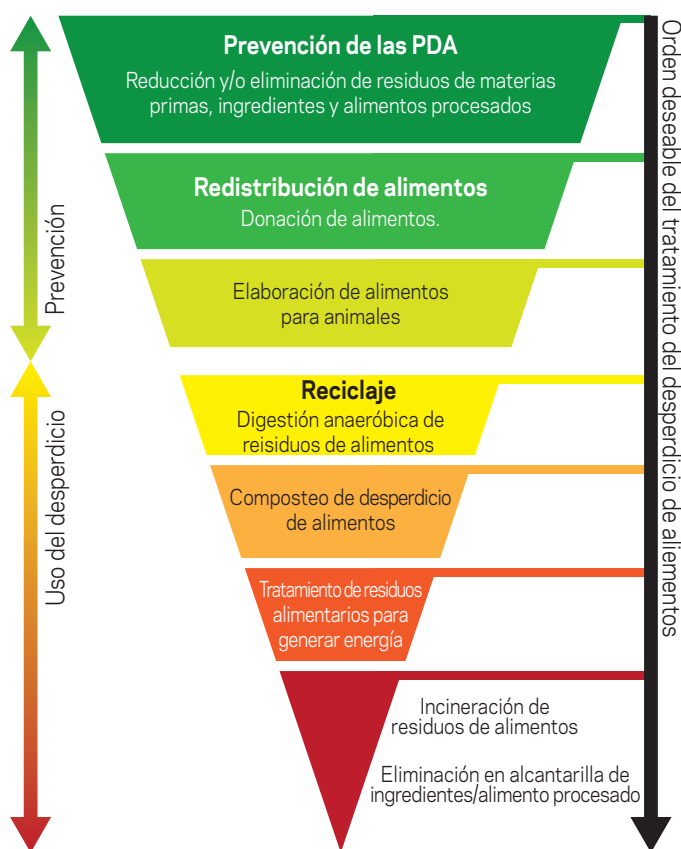


Figura 1. Jerarquía de utilización del desperdicio para la industria de alimentos y bebidas (Adaptada de Pinstруп-Andersen y Gitz, 2014).

Los desperdicios de alimentos producidos en la etapa de consumo se relacionan con factores como: lugar de consumo de alimentos (hogar, escuelas, restaurantes, comedores), horario de alimentación (desayuno, comida), características del consumidor (poder adquisitivo, educación, edad, sexo), hábitos de consumo (cultura

respecto del desperdicio) y tipo de servicio de alimentos. Algunas investigaciones muestran que su estimación puede realizarse a través de la aplicación de entrevistas y cuestionarios, o mediante su uso combinado con instrumentos de medición directa (como básculas, jarras volumétricas), también incluye el análisis de la composición de los residuos y la elaboración de un diario de desperdicios alimentarios (WRAP, 2016). Dada la compleja relación entre los factores mencionados, este estudio ofrece un panorama preliminar basado en los resultados de la aplicación de un cuestionario en línea que permite estimar los desperdicios de alimentos en la universidad y conocer su relación con los hábitos de consumo de la población de estudio.

ESTIMACION DE LOS DESPERDICIOS ALIMENTARIOS

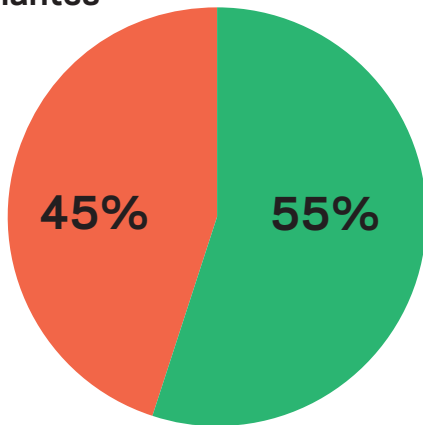
La estimación del desperdicio alimentario se realizó con información obtenida de los estudiantes y profesores que utilizan las instalaciones del comedor de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Para realizar este estudio, se aplicó primeramente un cuestionario en línea (Plataforma Google Form, No Registro: 03-2018-030212091600-01) a la población universitaria, quien tuvo oportunidad de contestarlo por un periodo de un año en la plataforma SIASE (Gallardo, 2018). Este cuestionario se elaboró tomando en cuenta la información de estudios científicos en escuelas de educación básica, media y superior, hospitales y centros de apoyo comunitario de países de Europa, para poblaciones de 300 a 1000 personas. También incluyó la revisión de documentos emitidos por organismos internacionales como FAO y WRAP (FAO, 2017a; 2017b; WRAP, 2013a; WRAP, 2012), que señalan la relación del incremento del desperdicio (27% a 31%) con el índice de masa corporal IMC (entre 27 a 31) considerando la actitud frente al desperdicio, donación o reuso como parte de los hábitos de consumo (Stancu, Haugard y Lähteenmarki, 2017; Aschermann-Witzel et al., 2015; Falasconi et al., 2015). Estos estudios han destacado por aplicar el análisis del desperdicio alimentario en el horario de desayuno y/o comida, donde se ha observado que los alimentos más desperdiciados en el mundo son: bebidas (20-40%), cereales y derivados (15-25%) frutas y verduras (10-20%) y proteínas (10%) (FAO, 2017a; WRAP, 2013b). Con los resultados del cuestionario, se estima el desperdicio de alimentos y la relación con los hábitos de consumo de la población que se caracteriza por: la edad, el índice de masa corporal (IMC) y el poder adquisitivo. Los hábitos de consumo se asocian con el poder adquisitivo y el tipo de alimento consumido, así como la actitud del consumidor ante el desperdicio que se refleja en la cantidad de residuos de alimentos. Finalmente, tomando en cuenta la información obtenida de los estudiantes y las investigaciones de otras universidades, se desarrollaron menús que incluyen subproductos de alimentos generados durante su preparación, pero que sugieren la implementación de una estrategia para la reducción de los desperdicios alimentarios. Con el objeto de promover en los estudiantes hábitos más saludables en el consumo de alimentos, resultados que no fueron evaluados en este documento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el 70% de la población estudiantil tiene un peso corporal normal (IMC=25), el 24% presenta sobrepeso (IMC>25) y el 6% padece obesidad (IMC). De esta población, el 55% de los estudiantes destinan entre 20 a 50 pesos diarios para comprar alimentos (2 a 3 veces por semana) que consumen en el desayuno y/o comida (ver Figura 2). El 61% de los profesores presentan sobrepeso (IMC >25) y reserva entre 50 a 100 pesos/día para la compra alimentos, mientras el 39% lleva lonche. Estos datos son congruentes con los obtenidos en investigaciones internacionales, donde a medida que el valor de IMC se incrementa (27-31) se observa un mayor poder adquisitivo (7 a 12 euros/día), el cual facilita la compra de alimentos cada día de la semana (Ann et al., 2015; WRAP, 2013a; Fox et al., 2009; Bergman et al., 2004).

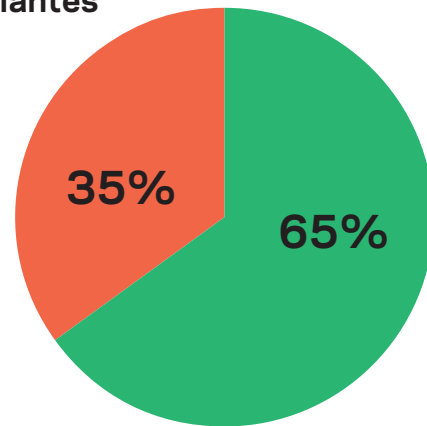
La población estudiantil (65%) prefiere comer papas fritas, burritos, chilaquiles, sándwich, galletas y pan, acompañado de bebidas como refresco, jugo, café o agua; 35% acostumbra a llevar comida hecha en casa. Aunque en el horario de comida destaca el consumo de chilaquiles (49%), café, refresco o bebida azucarada, entre clases, se distingue la compra de galletas (paquete de 6), frituras (45%) y agua (volumen<235mL). Diversos autores han coincidido que la comida rápida es preferida por los estudiantes (Papargyropoulou et al., 2016; Betz et al., 2015; Correa-Burrows et al., 2015), situación que difiere de los profesores (67%) quienes compran comida tipo buffet como: carne, pescado o pollo; ensalada y verduras; pan ó tortillas y una bebida (refresco, agua o agua de sabor); sin embargo, existe un 33% de ellos que acostumbra a llevar lonche (ver Fig. 3). El consumo de alimentos de la población universitaria evidencia la relación del hábito de consumo con el poder adquisitivo y la frecuencia de consumo, la cual es semejante a la encontrada por la organización WHO (WHO, 2006), cuyos estudios se han destacado por promover hábitos de consumo adecuados para evitar efectos negativos en la salud.

Estudiantes



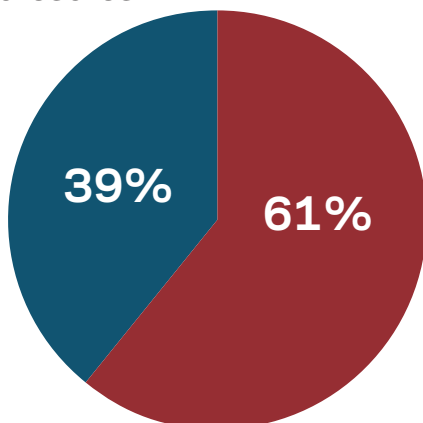
- Población que compra alimentos con un costo de \$20.00 a \$50.00.
- Población que lleva lonche.

Estudiantes



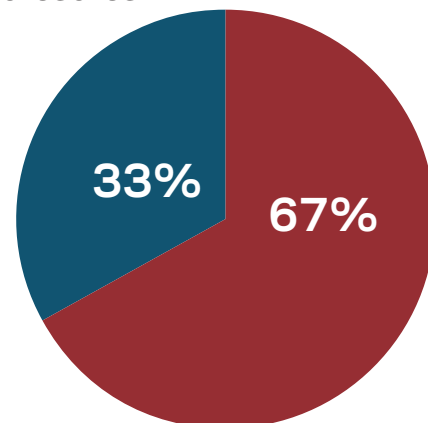
- Comida rápida (papas fritas, burritos, chilaquiles, sandwich, galletas, pan y bebida azucarada)
- Comida elaborada en casa: lonche

Profesores



- Población que compra alimentos con un costo de \$50.00 a \$100.00.
- Población que lleva lonche.

Profesores



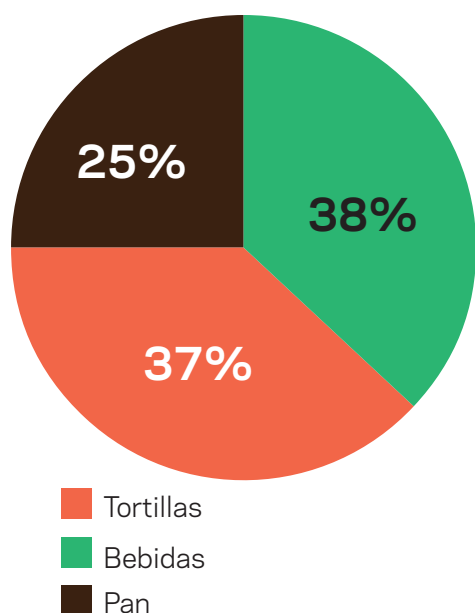
- Comida buffet: carne, pescado o pollo, ensalada y verduras, pan ó tortilla y bebida que puede ser refresco, agua de sabor o agua.
- Comida elaborada en casa: lonche

Figura 2. Características de la población de la FCB según su capacidad adquisitiva y hábito de consumo de alimentos (Sámano, 2019).

Figura 3. Alimentos que consumen los a) estudiantes y b) profesores de la FCB (Sámano, 2019).

En este estudio, el desperdicio de alimentos generado por la población universitaria, conformada por estudiantes y profesores, se caracteriza en el horario de desayuno por: residuos de pan (menos del 20% de la porción), tortillas (30% de las piezas) y bebidas (volumen < 20%) que representan el 25%, 37% y 38% respectivamente. En el horario de comida los residuos de alimentos incluyen productos no perecederos (82%) equivalentes a 100g y perecederos (16%) que se estiman entre 100 y 250 g; en éstos últimos, una pequeña porción de la población refiere que se pueden generar en mayor cantidad (300 g). Los residuos de platos que provienen de la comida buffet (adquirida por los profesores 60%) corresponden a: 10% de la porción de carne, pollo o pescado, 10% de la ración de pan o tortillas y 20% de la ensalada y verduras (ver Fig.4). Estos resultados son similares a los estimados para el desperdicio de alimentos por WRAP (WRAP, 2013b; Engström y Carisson-Kanyawa, 2004).

A)



B)

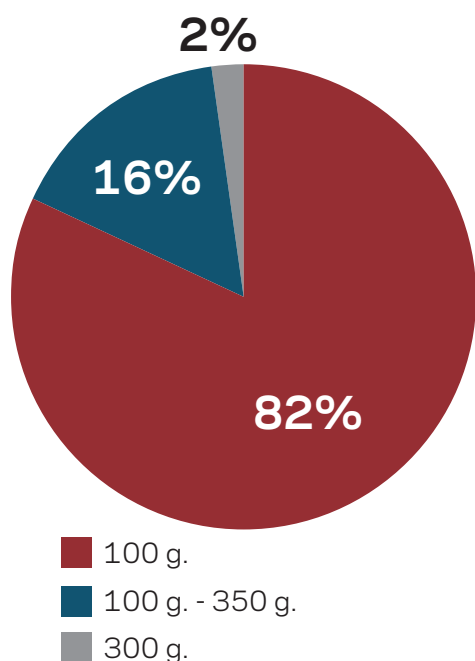


Figura 4. Desperdicio de alimentos producidos por la población universitaria a) horario de desayuno. b) horario de comida (Sámano, 2019).

Una de las causas del residuo alimentario en la universidad, podría estar relacionada con el tamaño excesivo de la porción ofrecida a la población universitaria (según el 37%). Ante esta situación, el 49% de los encuestados tiene la actitud de compartir el alimento, 37% guarda el producto para consumirlo después y el resto tira los residuos (14%), tal como lo muestra la Figura 5. En este caso, la actitud de compartir el alimento es un comportamiento atípico, ya que, en universidades internacionales generalmente desechan el producto (Chenchen et al., 2019; WRAP, 2013b).

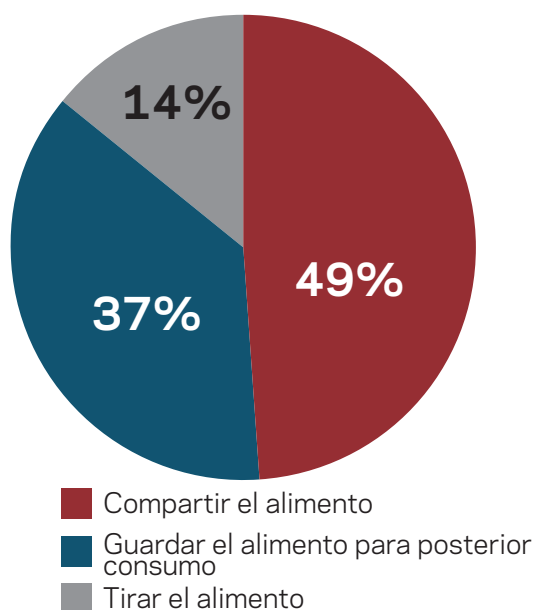


Figura 5. Actitud de la población universitaria respecto del desperdicio (Sámano, 2019).



La sensibilidad de la mayoría de la población universitaria (77%) respecto al desperdicio, se ve reflejada en los pequeños residuos de comida (peso<100g), sin embargo, existe una porción de estudiantes (14%) que desconoce el tema y para un porcentaje menor (9%) es irrelevante (WRAP, 2013c). No obstante, la mayor parte de los encuestados refiere que le gustaría profundizar en el conocimiento del tema y su impacto.

Adicionalmente, considerando los hábitos de consumo de los estudiantes y su bajo poder adquisitivo, se desarrollaron menús que incluyen el uso de subproductos de alimentos generados durante su preparación (fondos de caldos, cáscaras de frutas y fibra contenida en tallos de verduras) cuyo uso no fue implementado (Tabla 1). Para ello, se tomó en cuenta el costo (\$18.00 a \$30.00 pesos), la edad de la persona (18-30 años), sexo (masculino y femenino), el IMC y las porciones propuestas según la Secretaría de Salud Pública (Arévalo, 2016; Lebersorger y Scheneider, 2016). La Figura 6 ejemplifica algunos de los menús cuya implementación sugiere una estrategia de reducción del desperdicio, resultados que ya no fueron evaluados en este estudio.


CONCLUSIÓN

El presente estudio, muestra un panorama preliminar del desperdicio alimentario estimado mediante la aplicación de un cuestionario en línea en la FCB. A partir del mismo, se determinó la preferencia de la población universitaria (1000 personas) por el consumo de comida rápida y comida tipo buffet, así como la relación de los hábitos de consumo de la población respecto al poder adquisitivo, que se ve reflejada en el tipo de alimento consumido y frecuencia de compra. Se identificó, que la cantidad de los residuos de alimentos generados (100-300g) aumenta según el tipo de alimento (empacado, no empacado) y sus propiedades, lo que impacta en la viabilidad de su conservación y la actitud de los encuestados frente al desperdicio. En este sentido, se distinguió en los estudiantes (49%) muestran un comportamiento atípico respecto al desperdicio, ya que, prefieren compartir el alimento en lugar de tirarlo, lo que es coherente con las pequeñas cantidades de residuos (peso<100g) de alimentos (no perecederos) que generan.

Menus para estudiantes	
Mujer 1,900 kcal/día (18-30 años)	Hombre 2,250 Kcal/día (18-30 años)
Desayuno	
Sandwich de champiñones con frijoles y queso. 2 rebanadas de pan integral, ½ taza de champiñones guisados, ½ taza de frijoles molidos, 50 g de queso panela, 1 taza de lechuga, ½ tomate en rebanadas, ¼ de aguacate (opcional).	Sandwich de calabacita asada con frijoles y queso. 2 rebanadas de pan integral, ½ taza de frijoles cocidos, 1 calabacita en rebanadas asada, 30g de queso panela, 1 taza de ensalada fresca.
Comida	
Caldillo de lentejas con verduras y arroz. Fondo de caldo de pollo, ½ taza de lentejas guisadas, 1/2 tomate en cubos, ½ taza de arroz cocido, 1 taza de verduras (coliflor, zanahoria, calabacita).	Caldo de pollo con verduras y arroz. 2 pz de muslos de pollo, 1 taza de verdura (papa, zanahoria, repollo, chícharo), ½ taza de arroz cocido, sal y pimienta al gusto.
Agua de piña: 1 taza de piña, 1 ramito de alfalfa, 1 litro de agua.	

Figura 6. Menús diseñados para estudiantes que incluyen residuos de alimentos generados durante su preparación (Sámano, 2019).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por albergar a la estudiante Celia Sámano Pérez, durante sus estudios de Licenciatura en esta Facultad. Al Dr. Antonio Guzmán Velasco, por su apoyo en la realización de este proyecto, así como a la Red 12.3, para Disminuir y Valorizar las Pérdidas y Desperdicios de Alimentos por su contribución para el desarrollo de este estudio. 



LITERATURA CITADA

- Acuña Reyes, D. Domper Rodríguez, A. Eguillor Recabarren, P. González Gonzalez, C. (2018). Manual de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos. Ministerio de Agricultura Santiago de Chile.
- Ann, C. Wilkie, E. Cornejo, G. Cornejo, C. (2015). Food Waste Auditing at Three Florida Schools. *Sustainability*, 7: 1370-1387. doi:10.3390/su7021370
- Arévalo, O. (2016). Análisis del desperdicio de alimentos en el almuerzo escolar del Colegio Distrital Ciudadela Educativa, una Mirada desde las dimensiones de la seguridad Alimentaria y Nutricional. (Tesis de Maestría) <http://bdigital.unal.edu.co/55898/7/oswaldoarevaloporras.2016.pdf>
- Aschermann-Witzel, J. De Hooge, I. Amani, P. Bech-Larsen, T. Oostindjer, M. (2015). Consumer-Related Food Waste: Causes and potential for Action. *Sustainability*, 7: 6467-64577. doi:10.3390/su7066457
- Banco Mundial (2017). Pérdidas y desperdicios de alimentos en México una perspectiva económica, ambiental y Social. Versión Borrador. Noviembre del 2017.
- Bergman, E. Buerge, N. Englund, T. Ciem, A. Hansen, E. Kutrich, L. Wiseley, L. (2004). Elementary students eat more and waste less when recess is scheduled before lunch. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 104: 45. doi.org/10.1016/j.jada.2004.05.130
- Betz, A. Buchli, J. Göbel, C. Muller, C. (2015). Food waste in the Swiss food service industry—Magnitude and potential for reduction. *Waste Management*, 35: 218-226. doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.015
- Chenchen, Z. Chloe, M. GradDip D. Kira, B. Boushey, C. Byker, C. Ahmed, S. Chen, S. Serrano, E. Zee, J. Fialkowski, M. Banna, J. (2019). Plate waste in School Lunch. Barrier Motivators and Perspectives of SNAP- Eligible early adolescents in the US. *Journal of nutrition Education and Behavior*, 51: 967-975. doi.org/10.1016/j.jneb.2019.05.590
- Correa-Burrows, P. Burrows, R. Orellana, Y. Ivanovic, D. (2015). The relationship between unhealthy snacking at school and academic outcomes: A population study in Chilean schoolchildren. *Public Health Nutr.*, 18: 2022-2030. doi: 10.1017/S1368980014002602
- Engström, R. Carisson-Kanyawa, A. (2004). Food losses in Food Service Institutions examples from Sweden. *Food policy*, 29: 203-213. doi.org/10.1016/j.foodpol.2004.03.004
- Eriksson, M. Persson, O. Malefors, C. Björkman, J. Eriksson, E. (2017). Quantification of food waste in public catering services—A case study from a Swedish municipality. *Waste Management*, 61: 415-422. doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.035
- FAO. (2017a). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural inclusiva. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-l7658s.pdf>.
- FAO. (2017b). Pérdidas y Desperdicios de Alimentos Hambre Cero: Diseño metodológico para la estimación del desperdicio de alimentos en la Argentina en las etapas de distribución y comercio minorista y consumo en el hogar Buenos Aires. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7152s.pdf>
- FAO. (2015). SAVE FOOD: Iniciativa Mundial sobre la Reducción de la Pérdida y el Desperdicio de Alimento, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/save-food/es/>
- FAO. (2013). Food wastage footprint: Impacts on Natural Resources. Summary Report. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>
- Falascioni, L. Vittuari, M. Politano, A. Segré, A. (2015). Food and Waste in School Catering: An Italian Case Study. *Sustainability*, 7: 14745-14760. doi: 10.3390/su71114745
- Fox, M. Dodd, A. Wilson, A. Gleason, P. (2009). Association between school food environment and practices and body mass index of US public school children. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(2): S108-117. doi:10.1016/j.jada.2008.10.065
- Gallardo, C. (2018). Identificación de las causas del desperdicio de alimentos en el sector educativo. Certificado de Registro Público de derecho de autor. No. Registro: 03-2018-030212091600-01.
- Gobierno México (13 de Noviembre 2013). Recuperado de <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/se-desperdician-mas-de-diez-mil-toneladas-de-alimentos-cada-ano-en-mexico>
- Gustavsson, J. Cederberg, C. Sonesson, U. Sonesson, A. (2011). The methodology of the FAO study: Global Food Losses and Food Waste—Extent, cause and prevention. Recuperado de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944159/FULLTEXT01.pdf>

- Hanson, C. Mitchell, P. (2017). The Business Case for Reducing Food Loss and Waste: Un report on behalf of champions 12.3. *Champions 12.3* 1-24. Recuperado de https://champions123.org/wp-content/uploads/2017/03/report_business-case-for-reducing-food-loss-and-waste.pdf
- Jurgilevich, A. Birge, T. Kentala-Lehtone, J. Korhonen-Kurki, K. Pietikäinen, J. Saikku, L. Schösler, H. (2016). Transition towards Circular Economy in the Food System. *Sustainability*, 8: 69. doi:10.3390/su8010069
- Lebersorger, S. Schneider, F. (2016). Food loss rates at the food retail, influencing factors and reasons as a basis for waste prevention measures. *Waste Management*, 34: 1911-1919. doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.013
- Morales Castro, J. Comunicación Personal, 2017.
- Naciones Unidas. (2017). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Papargyropoulou, E. Lozano, R. Steinberger, J. Wriqth, N. Bin Ujang, Z. (2016). The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of cleaner production*, 76: 106-115. doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.020
- Pinstrup-Andersen, P. Gitz, V. (2014). Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles: Un informe del grupo de expertos en seguridad alimentaria y nutrición. CSA HLPE. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3901s.pdf>
- Silvennoinen, K. Heikkilä, L. Katajajuuri, J. Reinikainen, A. (2015) Food waste volume and origin: Case studies in the Finnish food service sector. *Waste Management*, 46: 140-145. doi: 10.1016/j.wasman.2015.09.010
- Stancu, V. Haugard, P. Lähteenmarki, L. (2017). Determination of consumer food waste behavior: Two routes to food waste. *Appetite*, 96(1): 7-17. doi.org/10.1016/j.appet.2015.08.025
- WHO. (2006). Food and nutrition policy for schools. A tool for the development of school nutrition programs in the European Region. Recuperado de http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0019/152218/E89501.pdf
- WRAP. (2016). Food and Drink: Case studies. Recuperado de <http://www.wrap.org.uk/food-waste-reduction>.
- WRAP. (2013a). Overview of Waste in the UK Hospitality and Food Service Sector. Recuperado de <https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Overview%20of%20Waste%20in%20the%20UK%20Hospitality%20and%20Food%20Service%20Sector%20FINAL.pdf>
- WRAP. (2013b). Waste in the UK Hospitality and Food Service Sector- Full Technical Report. Versión de Noviembre del 2013
- WRAP. (2013c). Overview of waste in the UK. Recuperado de <https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Overview%20of%20Waste%20in%20the%20UK%20Hospitality%20and%20Food%20Service%20Sector%20FINAL.pdf>
- WRAP. (2012). Household Food and Drink Waste in the United Kingdom 2012. Recuperado de <http://www.wrapcymru.org.uk/sites/files/wrap/hhfdw-2012-main.pdf>
- Yaschine, I. Ochoa, S. Hernández, C. (2014) Cruzada Nacional contra el Hambre: Análisis de su diseño desde su enfoque de seguridad alimentaria. Recuperado de <http://www.pued.unam.mx/export/sites/default/archivos/documentos-trabajo/010.pdf>





LAS AVES DE ARROYO COBOS Y PRESA LOS PARGA, AGUASCALIENTES

/// DANIEL ALEXANDER CARRILLO-
MARTÍNEZ, MOISÉS ARELLANO-DELGADO,
MANUEL HIGINIO SANDOVAL-ORTEGA.



RESUMEN

Con 1,119 especies de aves registradas, México es uno de los países con mayor riqueza avifaunística. El estado de Aguascalientes, que representa únicamente el 0.3% de la superficie de México, cuenta con 240 especies. Ubicada en el municipio Aguascalientes, al sur oriente de la ciudad capital, se encuentra el Área Natural Protegida "Bosque de Cobos", que comprende el sitio entre el arroyo Cobos, el arroyo Los Parga y la presa Los Parga. La riqueza avifaunística del arroyo Cobos y presa Los Parga está integrada por 93 especies, que corresponden al 38% del total registrado para el estado y entre las que se encuentran dos nuevos registros para Aguascalientes: la Chara Verde (*Cyanocorax yncas*) y la Paloma de Collar Turca (*Streptopelia decaocto*), así como tres especies que se mencionan en la NOM-059-SEMARNAT-2010: Pato Mexicano (*Anas diazi*), Gavilán de Cooper (*Accipiter cooperii*) y el Zambullidor Menor (*Tachybaptus dominicus*). Debido al número de familias, géneros y especies presentes en la zona, el sitio que incluye al arroyo Cobos y presa Los Parga es importante para la conservación de la avifauna en el estado.

ABSTRACT

With 1,119 registered bird species, Mexico is one of the countries with higher avifauna richness. The state of Aguascalientes, which represents only 0.3% of the surface of Mexico, has 240 species. Located in the Aguascalientes municipality, to the south east of the capital city, is the "Bosque de Cobos" Protected Natural Area, which includes the site between the Cobos stream, the Los Parga stream, and the Los Parga reservoir. The avifaunal richness of the Cobos stream and Los Parga reservoir is made up of 93 species, corresponding to 38% of the total registered for the state, including two new records for Aguascalientes: The Green Jay (*Cyanocorax yncas*) and the Eurasian Collared-dove (*Streptopelia decaocto*), as well as three species mentioned in NOM-059-SEMARNAT-2010: Mexican Duck (*Anas diazi*), Cooper's Hawk (*Accipiter cooperii*) and the Least Grebe (*Tachybaptus dominicus*). Due to the number of families, genera and species present in the area, the site that includes the Cobos stream and Los Parga reservoir is important for the conservation of birdlife in the state.



Palabras clave *Anas diazi*, *Accipiter cooperii*, Bosque de Cobos, *Streptopelia decaocto*, *Tachybaptus dominicus*.

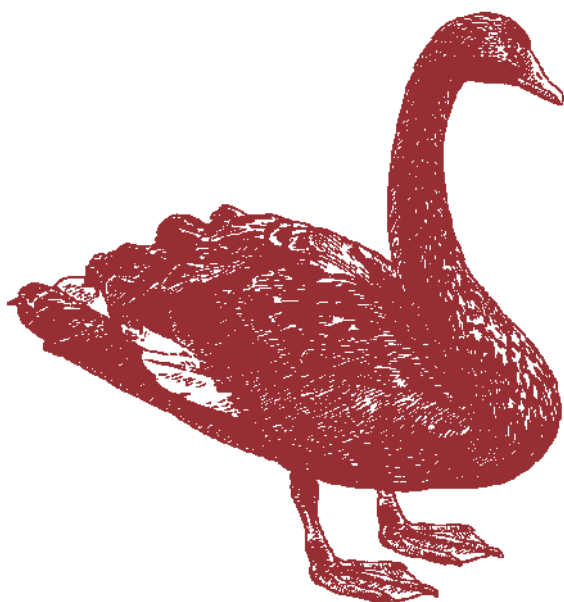
Key words *Anas diazi*, *Accipiter cooperii*, Bosque de Cobos, *Streptopelia decaocto*, *Tachybaptus dominicus*.

INTRODUCCIÓN

Entre los países megadiversos México se encuentra en el onceavo lugar a nivel mundial en cuanto a riqueza avifaunística (Navarro-Sigüenza et al., 2014), ya que de las 10,721 especies de aves registradas en el Planeta (Clements et al., 2019), al menos 1,119 habitan en el país (Berlangua et al., 2019). Lo que equivale a aproximadamente el 65% de los órdenes, 41% de las familias, 22% de los géneros y 11% de las especies de aves del mundo (Navarro-Sigüenza et al., 2014).

Aguascalientes es uno de los estados con menor superficie en el país y representa únicamente el 0.3% del territorio nacional (INEGI, 2016). Sin embargo, aún con su reducido tamaño incluye al 8.3% de la diversidad de vertebrados registrada para México, de estos, las aves, mamíferos y reptiles son los mejor representados con 21.7%, 14.7% y 7.5% respectivamente (CONABIO, 2008). Pese a esto, Aguascalientes ha recibido poca atención por parte de científicos extranjeros y nacionales en estudios sobre su avifauna, por lo que existen pocos trabajos publicados acerca de la diversidad de especies de aves en el estado (Arellano-Delgado et al., 2018; Avilés-Piña et al., 2020; De la Riva-Hernández, 1993; De la Riva-Hernández y Franco-Ruiz-Esparza, 2008; De la Riva-Hernández et al., 2000; Lozano-Román, 2007; Pérez-Chávez et al. 1996). Se han reportado 240 especies de aves de forma oficial, distribuidas en 18 órdenes, 52 familias, 29 subfamilias y 172 géneros (De la Riva-Hernández y Franco-Ruiz-Esparza, 2008). No obstante, es necesario continuar realizando estudios que permitan ampliar el conocimiento acerca de la riqueza de especies de aves, su importancia ecológica y la situación de sus poblaciones en Aguascalientes.

El objetivo del presente estudio fue generar un listado de las especies de aves que se encuentran dentro de las áreas ribereñas de los arroyos Cobos y Parga, así como la presa Los Parga, que rodean al Área Natural Protegida "Bosque de Cobos", en el municipio de Aguascalientes, para de esta forma contribuir al conocimiento de la biodiversidad en el estado.



EL ESTADO DE AGUASCALIENTES

El Área Natural Protegida "Bosque de Cobos" es un sitio importante, ya que, pese a su proximidad con la mancha urbana de la ciudad de Aguascalientes, incluye varios elementos representativos de la flora correspondiente a las zonas semiáridas del estado, fauna nativa, relictos paleontológicos y presta varios servicios ecosistémicos, entre los que se encuentra la captación del agua (SSMAA, 2019). Es muy probable que aun estando tan cerca de la principal zona urbana en el estado, tanto los arroyos como la presa sean refugio para varias especies de aves, lo que hace necesario generar un inventario de los elementos que conforman la avifauna de esta área.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Figura 1) comprende una superficie de 291 hectáreas y está ubicada sobre la región fisiográfica Mesa del Centro, al oriente del municipio de Aguascalientes, con una elevación que abarca de los 1,900 a los 2,000 m s.n.m. Pertenece a la región Neártica y a la provincia biogeográfica del desierto chihuahuense (Morrone et al., 2017), en ella convergen dos cuerpos de agua temporales: el arroyo Cobos, que va en dirección noreste-suroeste y el arroyo Los Parga en dirección este-oeste, el cual alimenta a la presa Los Parga. En cuanto a vegetación, predomina el matorral crasicauale, pastizal desértico y los suelos destinados a la agricultura de temporal (Siqueiros-Delgado et al., 2017).

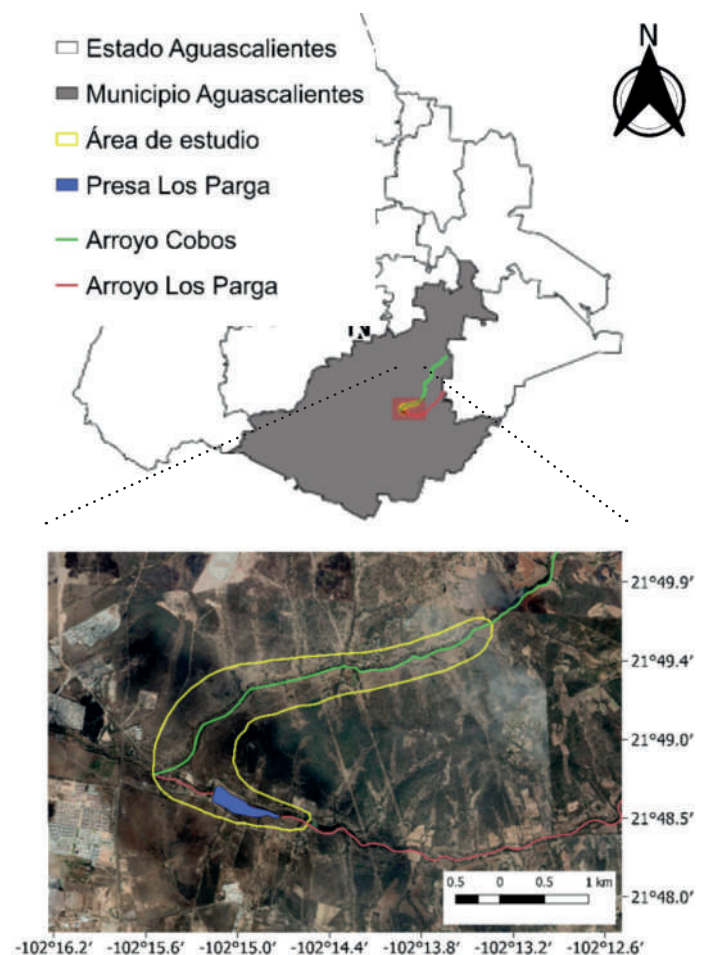


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

OBSERVACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE AVES

Los muestreos de observación de aves se llevaron a cabo mediante recorridos en intervalos aleatorios durante los meses: diciembre de 2013, diciembre de 2014, mayo, junio y julio de 2015, febrero y mayo de 2017 y diciembre de 2018, en horarios matutinos, comenzando a las 7:00 am y finalizando al medio día, sumando en total 120 horas de observación. Se registraron todas las especies posibles mediante observación directa (avistando al ave), e indirecta (escuchando sus vocalizaciones). Se utilizaron binoculares y cámara fotográfica para la toma de registros.

Las especies fueron identificadas por medio de guías de campo en formato impreso (Alderfer, 2006; Van-Perlo, 2006; Peterson y Chalif, 2008) y una guía digital (Cornell Lab, 2018). También fueron consultados los ejemplares de aves depositados en la colección zoológica de la Benemérita Universidad Autónoma de Aguascalientes (CZUAA) en busca de especímenes colectados en la zona de estudio. Para la nomenclatura, se utilizaron los nombres científicos aceptados por la American Ornithological Society hasta el presente año (AOS, 2020), mientras que los nombres comunes utilizados corresponden a los mencionados en la lista oficial de la CONABIO (Berlanga et al. 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La avifauna del área de estudio está conformada por 37 familias, 83 géneros y 93 especies (Cuadro 1). La familia con mayor número de géneros es Tyrannidae con un total de seis, seguida por Ardeidae con cinco, las familias Anatidae, Hirundinidae, Passerellidae, Scolopacidae y Troglodytidae con cuatro cada una, mientras que el resto de las familias presentan de tres a un género solamente. En cuanto a número de especies es también Tyrannidae la mejor representada con un total de siete, seguida por Ardeidae, Anatidae y Passerellidae con seis cada una.

Las especies registradas en el arroyo Cobos y presa Los Parga representan poco más del 38% del total reportado para el estado, por lo que la zona de estudio alberga la mayor riqueza avifaunística hasta ahora registrada para el municipio de Aguascalientes según trabajos previos (Arellano-Delgado et al., 2018; Avilés-Piña et al., 2020; Lozano-Román, 2007).

Entre las aves observadas se encuentra la Codorniz Escamosa (*Callipepla squamata*; Figura 2A), que dentro del área de estudio se le puede encontrar principalmente en matorrales abiertos y pastizales, así como la Chara de Collar (*Aphelocoma woodhouseii*; Fig. 2B) y el Picogordo Azul (*Passerina caerulea*; Fig. 2C), que son

Cuadro 1. Especies de aves localizadas en arroyo Cobos y presa Los Parga, Aguascalientes, Ags., México. Estatus en NOM-059 (A: amenazada, Pr: sujeta a protección especial), UICN (LC: preocupación menor, NT: casi amenazado), endemismo (EN: endémica, SE: semiendémica, EXO: especie exótica), residencia (R: residente, MI: migratoria de invierno, MV: migratoria de verano, T: transitoria) y Valor de Vulnerabilidad (4: mínima vulnerabilidad, 20: máxima vulnerabilidad) obtenidos de la lista de Berlanga et al. (2019). *Registro de ejemplar en la CZUAA.

Nombre científico	NOM-059	UICN	End.	Res.	VV	Nombre científico	NOM-059	UICN	End.	Res.	VV
ANSERIFORMES						CUCULIFORMES					
Anatidae						Cuculidae					
<i>Spatula discors</i>	-	LC	-	MI	8	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	-	LC	-	R	7
<i>Spatula clypeata</i>	-	LC	-	MI	7	<i>Geococcyx californianus</i>	-	LC	-	R	9
<i>Mareca streptera</i>	-	LC	-	MI	8	APODIFORMES					
<i>Anas diazi</i>	A	-	EN	R	-	Trochilidae					
<i>Anas crecca</i>	-	LC	-	MI	6	<i>Cyananthus latirostris</i>	-	LC	SE	R	10
<i>Oxyura jamaicensis</i>	-	LC	-	R/MI	8	GRUIFORMES					
GALLIFORMES						CHARADRIIFORMES					
Odontophoridae						Rallidae					
<i>Colinus virginianus</i>	-	NT	-	R	11	<i>Gallinula galeata*</i>	-	LC	-	R/MI	8
<i>Callipepla squamata</i>	-	LC	-	R	9	<i>Fulica americana</i>	-	LC	-	R/MI	11
PODICIPEDIFORMES						Recurvirostridae					
Podicipedidae						<i>Himantopus mexicanus</i>					
<i>Tachybaptus dominicus</i>	Pr	LC	-	R	8	<i>Recurvirostra americana</i>	-	LC	-	R/MI	12
<i>Podilymbus podiceps</i>	-	LC	-	R/MI	9	Charadriidae					
<i>Podiceps nigricolis</i>	-	LC	-	R/MI	9	<i>Charadrius vociferus</i>	-	LC	-	R/MI	9
COLUMBIFORMES						Scolopacidae					
Columbidae						<i>Calidris minutilla</i>					
<i>Streptopelia decaocto</i>	-	LC	EXO	R	5	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	-	LC	-	MI	11
<i>Columbina inca</i>	-	LC	-	R	8						
<i>Zenaida asiatica</i>	-	LC	-	R/MI	8						
<i>Zenaida macroura</i>	-	LC	-	R/MI	5						

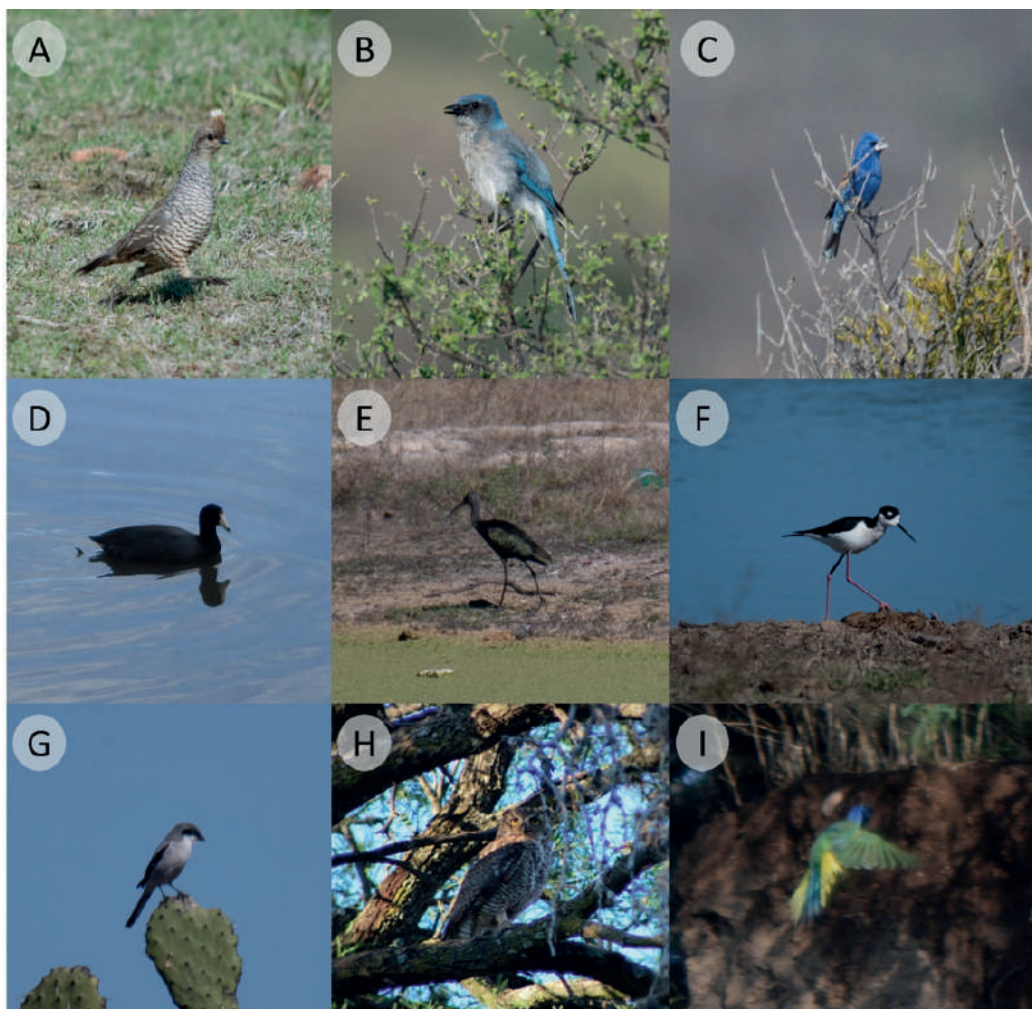


Figura 2. Algunas especies de aves presentes en el arroyo Cobos y presa Los Parga. A: Codorniz escamosa (*Callipepla squamata*), 13/06/2015; B) Chara de collar (*Aphelocoma woodhouseii*), 14/05/2017; C) Pico gordo azul macho (*Passerina caerulea*), 14/05/2017; D) Gallareta americana (*Fulica americana*), 25/08/2015; E) Ibis ojos rojos (*Plegadis chihi*), 1/12/2018; F) Monjita americana (*Himantopus mexicanus*), 1/12/2018; G) Verdugo americano (*Lanius ludovicianus*), 1/12/2018; H) Búho cornudo (*Bubo virginianus*), 13/06/2015; I) Chara verde (*Cyanocorax yncas*), arroyo Cobos 13/06/2015. Autores de fotografías: A, B, C, F y G por Carrillo-Martínez, D. A.; E por Sandoval-Ortega, M. H.; y H e I por Medina-Hernández, L. F.

Nombre científico	NOM-059	UICN	End.	Res.	VV
<i>Actitis macularia</i>	-	LC	-	MI	9
<i>Tringa melanoleuca</i>	-	LC	-	MI	10
SULIFORMES					
Phalacrocoracidae					
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	-	LC	-	R	8
PELECANIFORMES					
Ardeidae					
<i>Ardea herodias</i>	-	LC	-	R/MI	7
<i>Ardea alba</i>	-	LC	-	R/MI	7
<i>Egretta thula</i>	-	LC	-	R/MI	8
<i>Bubulcus ibis</i>	-	LC	EXO	R/MI	6
<i>Butorides virescens</i>	-	LC	-	R/MI	11
<i>Nycticorax nycticorax</i>	-	LC	-	R/MI	10
Threskiornithidae					
<i>Plegadis chihi</i>	-	LC	-	R/MI	8
CATHARTIFORMES					
Cathartidae					
<i>Coragyps atratus</i>	-	LC	-	R	5
<i>Cathartes aura</i>	-	LC	-	R	5
ACCIPITRIFORMES					
Accipitridae					
<i>Circus hudsonius</i>	-	LC	-	R/MI	11

Nombre científico	NOM-059	UICN	End.	Res.	VV
<i>Accipiter cooperi</i>	Pr	LC	-	R/MI	8
<i>Buteo jamaicensis</i>	-	LC	-	R/MI	6
STRIGIFORMES					
Tytonidae					
<i>Tyto alba</i>	-	LC	-	R	9
Strigidae					
<i>Bubo virginianus</i>	-	LC	-	R	6
PICIFORMES					
Picidae					
<i>Melanerpes aurifrons</i>	-	LC	-	R	9
<i>Dryobates scalaris</i>	-	LC	-	R	9
<i>Colaptes auratus</i>	-	LC	-	R/MI	10
FALCONIFORMES					
Falconidae					
<i>Caracara cheriway</i>	-	LC	-	R	8
<i>Falco sparverius</i>	-	LC	-	R/MI	11
PASSERIFORMES					
Tyrannidae					
<i>Contopus sordidulus</i>	-	LC	-	MV/T	11
<i>Sayornis nigricans</i>	-	LC	-	R/MI	9
<i>Sayornis saya</i>	-	LC	-	R/MI	8
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	-	LC	-	R/MI	5

Nombre científico	NOM-059	UICN	End.	Res.	VV
<i>Myiarchus cinerascens</i>	-	LC	-	R/MI/MV	9
<i>Pitangus sulphuratus</i>	-	LC	-	R	5
<i>Tyrannus vociferans</i>	-	LC	SE	R/MI	9
Laniidae					
<i>Lanius ludovicianus</i>	-	LC	-	R/MI	11
Corvidae					
<i>Cyanocorax yncas</i>	-	LC	-	R	11
<i>Aphelocoma woodhousei</i>	-	NR	-	R	9
<i>Corvus cryptoleucus</i>	-	LC	-	R/MI	10
<i>Corvus corax</i>	-	LC	-	R	6
Hirundinidae					
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	-	LC	-	R/MI	9
<i>Tachycineta bicolor</i>	-	LC	-	MI	8
<i>Hirundo rustica</i>	-	LC	-	R/MI/MV/T	8
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	-	LC	-	MV/T	7
Remizidae					
<i>Auriparus flaviceps</i>	-	LC	-	R	11
Aegithalidae					
<i>Psaltriparus minimus</i>	-	LC	-	R	11
Troglodytidae					
<i>Catherpes mexicanus</i>	-	LC	-	R	11
<i>Troglodytes aedon</i>	-	LC	-	R/MI/T	5
<i>Thryomanes bewickii</i>	-	LC	-	R	10
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	-	LC	-	R	10
Poliophtilidae					
<i>Poliophtila caerulea</i>	-	LC	-	R/MI	7
Regulidae					
<i>Regulus calendula</i>	-	LC	-	MI	6
Mimidae					
<i>Toxostoma curvirostre</i>	-	LC	-	R	9

Nombre científico	NOM-059	UICN	End.	Res.	VV
<i>Mimus polyglottos</i>	-	LC	-	R/MI	8
Sturnidae					
<i>Sturnus vulgaris</i>	-	LC	EXO	R	7
Motacillidae					
<i>Anthus rubescens</i>	-	LC	-	MI	9
Fringillidae					
<i>Haemorhous mexicanus</i>	-	LC	-	R	6
<i>Spinus psaltria</i>	-	LC	-	R	8
Passerellidae					
<i>Spizella passerina</i>	-	LC	-	R/MI	8
<i>Spizella pallida</i>	-	LC	SE	MI	10
<i>Spizella atrogularis</i>	-	LC	-	R/MI	15
<i>Chondestes grammacus</i>	-	LC	-	R/MI	10
<i>Melospiza lincolni</i>	-	LC	-	MI	7
<i>Melospiza fusca</i>	-	LC	-	R	9
Icteridae					
<i>Molothrus aeneus</i>	-	LC	-	R/MV	6
<i>Quiscalus mexicanus</i>	-	LC	-	R	5
Parulidae					
<i>Oreothlypis celata</i>	-	LC	-	R/MI	9
<i>Setophaga coronata ssp. auduboni</i>	-	LC	-	R/MI	6
Cardinalidae					
<i>Piranga ludoviciana</i>	-	LC	-	MI	8
<i>Cardinalis cardinalis</i>	-	LC	-	R	5
<i>Cardinalis sinuatus</i>	-	LC	-	R	12
<i>Passerina caerulea</i>	-	LC	-	R/MI/MV	8
<i>Passerina versicolor</i>	-	LC	-	R/MV	13
Passeridae					
<i>Passer domesticus</i>	-	LC	EXO	R	8

también característicos de zonas con matorral. En los cuerpos de agua es común observar ejemplares de Gallareta Americana (*Fulica americana*; Fig. 2D) y a las orillas de la presa se han observado diversos ejemplares de aves playeras como el Ibis Ojos Rojos (*Plegadis chihi*; Fig. 2E), especie poco abundante pero que se puede ver en otros cuerpos de agua del estado, contrario a la Monjita Americana (*Himantopus mexicanus*; Fig. 2F), que es muy común y fácil de identificar mientras se alimenta a las orillas de la presa del área de estudio y demás cuerpos de agua dentro del municipio. También en áreas de matorral abierto es común observar al Verdugo Americano (*Lanius ludovicianus*; Fig. 2G), que utiliza las espinas de nopales (*Opuntia* spp.), huizaches (*Acacia* spp.) e incluso del cercado en los potreros para empalar a sus presas. En zonas ribereñas del arroyo, se han observado parejas de Búho Cornudo (*Bubo virginianus*; Fig. 2H) anidando en las paredes de barrancos, donde incluso se han identificado nidos con

crías de esta especie. Durante uno de los recorridos de observación se avistó un ejemplar de Chara Verde (*Cyanocorax yncas*; Fig. 2I), que no ha sido reportada en ningún otro sitio del estado.

La Chara Verde (*Cyanocorax yncas*) es nativa de México, se distribuye desde Nayarit hasta Chiapas por la vertiente del Pacífico y de Tamaulipas a la Península de Yucatán a lo largo de la vertiente del Golfo y se encuentra asociada a bosques deciduos, vegetación secundaria, matorrales, bosques de pino-encino y plantaciones, (Howell y Webb, 1995). Sin embargo, se ha registrado en otros estados del altiplano mexicano como Guanajuato, Querétaro, así como la huasteca potosina y la región de la Sierra Madre Oriental en San Luis Potosí (Ramírez-Albores et al., 2015). No obstante, es muy probable que el avistamiento de chara verde en el área de estudio haya sido accidental, tratándose en realidad de un individuo liberado o escapado de

cautiverio, ya que esta especie es considerada como "de ornato" y es de precio accesible (Gómez-Álvarez et al., 2005), por lo que es necesario continuar con los recorridos de observación para determinar si existe más de un ejemplar de chara verde en el sitio y si los avistamientos de la misma continúan.

AVES EN LA NOM-059-SEMARNAT-2010

Del total de especies registradas, tres se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019): el Pato Mexicano (*Anas diazi*), en la categoría de amenazada y el Gavilán de Cooper (*Accipiter cooperii*) y el Zambullidor Menor (*Tachybaptus dominicus*), ambas en la categoría de sujeta a protección especial.

Aunque se considera una especie amenazada, el Pato Mexicano es relativamente común en Aguascalientes y se le ha avistado en otras zonas del municipio como los alrededores de la comunidad La Lumbreira (Arellano-Delgado et al., 2018) y en sitios dentro de la ciudad de Aguascalientes como la presa El Cedazo (Lozano-Román, 2007) y el Jardín Botánico Rey Nezahualcóyotl (Avilés-Piña et al., 2020).

El Zambullidor Menor, es la especie más pequeña de zambullidor que se conoce en zonas tropicales y subtropicales de América, distribuyéndose desde Texas, E.U.A., hasta Argentina (Howell y Webb, 1995), se encuentra en un rango altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 2400 m (Storer, 2020) y son poco comunes sus avistamientos en el centro de México (Howell y Webb, 1995; Van-Perlo, 2006). No obstante, su presencia se ha reportado para el vecino estado de Zacatecas en una localidad cercana a Aguascalientes (Pérez-Valadez, 2017) y dentro del estado se le ha avistado numerosas veces en los municipios de Calvillo, Aguascalientes y San José de Gracia (eBird, 2019), sin embargo, se reporta formalmente en el presente trabajo.

ESPECIES INVASORAS

Se observaron también cuatro especies introducidas. Una es la Garza Ganadera (*Bubulcus ibis*) originaria de la península Ibérica, África y Oriente Medio, que apareció en México entre 1950-1960 arribando de Centroamérica (Álvarez-Romero et al., 2008) registrándose por primera vez en Oaxaca en 1962 (Binford, 1989), a partir de donde continuó su expansión hacia el norte de la República, siendo actualmente residente y/o migratoria invernal en todos los estados (Howell y Webb, 1995).

El Gorrión Doméstico (*Passer domesticus*), que es originario de Eurasia y norte de África, fue introducido desde 1850 en Norteamérica (Alderfer, 2006), en México se distribuye casi en cualquier zona poblada, con excepción de la península de Yucatán (Howell y Webb, 1995) y debido a la cercanía de la zona de estudio con la mancha urbana de la Ciudad de Aguascalientes, su registro era esperado.

Así mismo, se avistaron ejemplares de Paloma de Collar Turca (*Streptopelia decaocto*), otra especie

exótica originaria de Eurasia, que está expandiendo rápidamente su área de distribución en el país y ha sido registrada para la península de Baja California, Coahuila, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Veracruz, Tamaulipas, Yucatán (Álvarez-Romero et al., 2008; Blancas-Calva et al., 2014), y que no había sido reportada formalmente para Aguascalientes, previo al presente estudio.

Por último, el Estornino Pinto (*Sturnus vulgaris*), también de origen euroasiático y considerado una de las 100 peores especies invasoras, ya que presenta comportamientos agresivos y compite con especies nativas, que además puede ocasionar pérdidas económicas al dañar cultivos de semillas y frutos (Lowe et al., 2000; Global Invasive Species Database, 2019). En México se ha reportado para Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Ciudad de México, Coahuila, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Gómez de Silva et al., 2005; Maya-Elizarrarás, 2018).

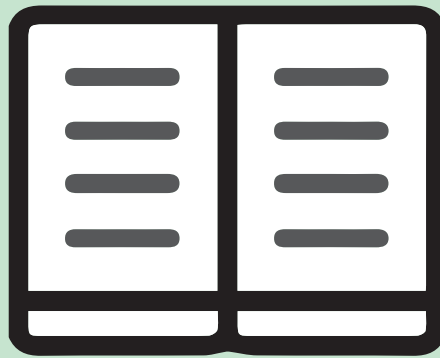
CONCLUSIONES

El presente trabajo es una contribución al conocimiento sobre las aves del estado de Aguascalientes. Debido al número de familias, géneros y especies presentes en la zona, que es considerable respecto al número total que ha sido reportado para el estado, el sitio que incluye al arroyo Cobos y presa Los Parga es importante para la conservación de la avifauna en Aguascalientes. Además, es probable que la riqueza avifaunística de esta área sea mayor a la reportada en este documento, por lo que se requieren más estudios en esta zona que involucren un mayor esfuerzo de muestreo y con más repeticiones de forma periódica durante al menos un año. De igual forma se sugiere una metodología secundaria en horario nocturno para registrar a las especies de aves nocturnas presentes en la zona.

La avifauna de arroyo Cobos y presa Los Parga, presenta diversas amenazas debido a la cercanía de este sitio con zonas urbanas, tales como la contaminación por residuos sólidos urbanos, aguas negras, vandalismo, la tala clandestina, así como la extracción de arena y grava para construcción, por lo que es necesario llevar a cabo acciones para la conservación de esta zona.

AGRADECIMIENTOS

A L. F. Medina-Hernández por permitirnos utilizar sus fotografías en el presente documento. Les agradecemos a los pobladores y dueños de las zonas aledañas que nos permitieron transitar por sus propiedades para realizar los muestreos. 🌱



LITERATURA CITADA

- Alderfer, J.K y J.L. Dunn. 2006. *National Geographic Field Guide to Birds of North America*. National Geographic Society, Estados Unidos, 503 pp.
- Álvarez-Romero, J., R.A. Medellín, A. Oliveras de Ita, H. Gómez de Silva, O. Sánchez. 2008. *Animales exóticos en México: una amenaza para la biodiversidad*. CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM-SEMARNAT, México, 367 pp.
- AOS (American Ornithological Society). 2019. *Checklist of North and Middle American Birds*. En: <http://checklist.aou.org/taxa/> (Consultado el 20/08/2019)
- Arellano-Delgado, M., F. Guerra-Quesada, F. Cabrera-Manuel, M.H. Sandoval-Ortega, H.N Araiza-Arvilla. 2018. Avifauna de la comunidad de La Lumbreira (Cieneguilla), Aguascalientes, México. *Tecnociencia Chihuahua*. 12(2): 114-123.
- Avilés-Piña, A., D.A. Martínez-Carrillo, M.H. Sandoval-Ortega, M. Arellano-Delgado, H.N. Araiza-Arvilla. 2020. Aves del Jardín Botánico Rey Nezahualcóyotl de la Benemérita Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. *IBCIENCIAS*. 3(1): 17-23.
- Berlanga, H., H. Gómez de Silva, V.M. Vargas-Canales, V. Rodríguez-Contreras, L.A. Sánchez-González, R. Ortega-Álvarez, R. Calderón-Parra. 2019. *Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes*. CONABIO, México, 18 pp.
- Binford, L.C. 1989. A distributional survey of the birds of the Mexican state of Oaxaca. *Ornithological Monographs*. 43: 1-428.
- Blancas-Calva, E., M. Castro-Torreblanca, J.C. Blancas-Hernández. 2014. Presencia de las palomas turca (*Streptopelia decaocto*) y africana de collar (*Streptopelia roseogrisea*) en el estado de Guerrero, México. *HUITZIL*. 15(1): 10-16.
- Clements, J. F., T.S. Schulenberg, M.J. Iliff, S.M. Billerman, T.A. Fredericks, B. L. Sullivan, C. L. Wood. 2019. The eBird/Clements Checklist of Birds of the World: v2019. En: <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/> (Consultado el 20/08/2019)
- CONABIO. 2008. *La Biodiversidad en Aguascalientes: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), México, 389 pp.
- Cornell Lab (Cornell Laboratory of Ornithology). 2018. Merlin Bird ID. (Versión 1.5) [Aplicación móvil]. Cornell University, Nueva York, Estados Unidos.
- De la Riva-Hernández, G. 1993. Ornitofauna. *Investigación y Ciencia*. 10: 36-43.
- De la Riva-Hernández G. y V. Franco-Ruiz-Esparza. 2008. Aves. Pp. 148-161. En: *La Biodiversidad en Aguascalientes: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), México, 389 pp.
- De la Riva-Hernández, G., J. Vázquez-Díaz, G.E. Quintero-Díaz. 2000. Vertebrados terrestres de la Serranía El Muerto, Aguascalientes, México. *Investigación y Ciencia*. 21: 8-15.
- eBird. (2019). eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves, Mapa de distribución de *Tachybaptus dominicus* [Aplicación Web]. En: <http://www.ebird.org> (Consultado 16/09/2019).
- Global Invasive Species Database. (2019). *Sturnus vulgaris*. En: <http://issg.org/database/species/search.asp?st=100ss&fr=1&str=&lang=EN> (Consultado 16/09/2019).
- Gómez-Álvarez, G., C. Teutli-Solano, S.R. Reyes-Gómez, R. Valadez-Azúa. 2005. Pájaros y otras aves utilizadas como animales de ornato y compañía. *AMMVEPE*. 16(5): 129-139.
- Gómez de Silva, H., A. Oliveras de Ita, R.A. Medellín. 2005. *Sturnus vulgaris*. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto U020. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 25 pp.
- Howell, S.N.G. y S. Webb. 1995. *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press, Estados Unidos, 1010 pp.
- INEGI. 2016. *Anuario Estadístico y Geográfico de Aguascalientes*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, 408 pp.
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas, M. De Poorter. 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database. Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), Nueva Zelanda, 11 pp.



- Lozano-Román, L.F. 2007. *Guía de Aves de la presa El Cedazo, ciudad de Aguascalientes*. Instituto de Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Aguascalientes, 96 pp.
- Maya-Elizarrarás, E. 2018. Registro del Estornino Pinto (*Sturnus vulgaris*) en Morelia, Michoacán. *HUITZIL*. 19(1): 69-74.
- Morrone, J.J., T. Escalante, G. Rodríguez-Tapia. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa*. 4277(2): 277-279. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Navarro-Sigüenza, A.G., M.F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A.T. Peterson, H. Berlanga-García, L. Sánchez-González. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, supl.85: S476-S495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>
- Pérez-Chávez, M.S., A. Bayona-Celis, M. Pérez-Orona. 1996. *Aves de Aguascalientes*. CIEMA, A. C, México. 116 pp.
- Pérez-Valadez, N. 2017. Records and breeding sites of the Least Grebe (*Tachybaptus dominicus*) in Zacatecas. *HUITZIL*. 18(2): 250-255. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2017.18.2.287>
- Peterson, R.T. y E.L. Chalif. 2008. *Aves de México*. Editorial Diana, México, 473 pp.
- Ramírez-Albores, J.E., A. Gordillo-Martínez, A.G. Navarro-Sigüenza. 2015. Registros notables y listado avifaunístico en un área de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86(4): 1058-1064. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.017>
- SEMARNAT. 2019. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. En: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019 (Consultado 18/12/2020).
- Siqueiros-Delgado, M.E., J.A. Rodríguez-Avalos, J. Martínez-Ramírez, J.C. Sierra-Muñoz, G. García-Regalado. 2017. *Vegetación del Estado de Aguascalientes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Aguascalientes, 368 pp.
- SSMAA. 2019. Estudio previo justificativo para el establecimiento del "Área Natural Protegida Bosque de Cobos-Parga". Gobierno de Aguascalientes, Secretaría de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Agua (SSMAA), Aguascalientes, 47 pp.
- Storer, R.W. 2020. Least Grebe (*Tachybaptus dominicus*), version 1.0. En: A. F. Poole (Ed.), *Birds of the World* (Editor). Cornell Lab of Ornithology, Nueva York, Estados Unidos. <https://doi.org/10.2173/bow.leagre.01>
- Van-Perlo, B. 2006. *A field guide to the birds of Mexico and Central America*. Harper Collins Publisher, Inglaterra, 336 pp.



Arenicola marina,

SUS APLICACIONES EN LA MEDICINA

✓ MARÍA ELENA GARCÍA GARZA*, MARÍA ANA TOVAR HERNÁNDEZ Y JESÚS ÁNGEL DE LEÓN GONZÁLEZ

RESUMEN

Arenicola Marina es un gusano marino que habita en la zona costera al noroeste de Europa. Se conoce como "gusano de cebo", pues es una de las carnadas favoritas y de la alta demanda en la pesca deportiva, o simplemente como "arenícola" haciendo alusión a que vive en galerías, debajo de la arena marina. En la última década *A. marina* ha sido motivo de distintas investigaciones en el ramo de la biomedicina, pues la hemoglobina contenida en su sangre posee características que la hacen un excelente transportador de oxígeno y compatible con cualquier tipo de sangre humana. En esta nota se mencionan algunos de los usos potenciales de la hemoglobina del gusano marino, los productos biotecnológicos conocidos a la fecha, y lo que sabemos de las arenícolas en México.



Palabras clave: Gusanos marinos, anélidos, Arenicolidae, biotecnología, biomedicina.

INTRODUCCIÓN

Cuando ingresamos a la playa y nos ponemos en contacto con la arena, poco imaginamos la diversidad de organismos que existen bajo nuestros pies. Si pudiésemos observar con una lente de aumento una palada de esa arena, encontraríamos una gran cantidad de animales, entre ellos unos gusanos muy parecidos a las lombrices de tierra, inclusive algunos podrían parecer ciempiés tanto por la forma de su cuerpo (que segmentado y tiene muchas patas), como por la forma en que se mueven. Los gusanos a los que nos referimos se llaman poliquetos, cuyo nombre se debe a la presencia de numerosas quetas o setas en cada una de sus patas.

Dentro del grupo de los poliquetos, hay unos que se les conoce como “arenícolas” o “gusanos de cebo” (Figura 1). El primer término hace referencia a su hábitat en la arena, y el segundo a su uso como carnada para la pesca deportiva (Figura 2). Son gusanos sedentarios que habitan galerías en forma de “U” (Figura 3). Durante la bajamar, si bien no se pueden ver los gusanos a simple vista, la ubicación de sus galerías se deduce por la presencia de sus heces, mismas que salen de una de las aperturas de su galería formando pequeños montículos de espirales regulares o irregulares de heces excretadas por el gusano (Figura 4).

Arenicola marina se conoce desde 1758, cuando Linneo la describió para la zona económica exclusiva de Suecia. Es muy común en Inglaterra e Irlanda, y ampliamente distribuida en el noroeste de Europa. *Arenicola marina* tiene un cuerpo cilíndrico, relativamente grueso y carnoso y en él se pueden reconocer tres regiones (Figura 5). La cabeza o región anterior consta de tres segmentos sin setas, palpos, cirros o apéndices, y ahí se encuentra la apertura oral de la que evierte un órgano llamado faringe que interviene en la alimentación y en la excavación. La región media o tronco, está formada por un número variable de segmentos equipados con setas y branquias, mientras que la región caudal queda expuesta a los depredadores cuando el gusano sube a la superficie para defecar, pero esta región no presenta órganos vitales, branquias o setas, por lo que al ser depredada no compromete la vida del gusano, quien después regenera la parte faltante (Darbyshire, 2019).

USOS DE ARENICOLA

Algunas especies de *Arenicola* se explotan para su uso en la pesca deportiva, donde son muy populares y su comercio es bastante redituable. En el Reino Unido, un kilogramo de *Arenicola marina* se vende en 40 £ (\$1,105.79 pesos)¹ mientras que *A. defodiens* se cotiza en 53 £ (\$1,465.17 pesos) (Watson et al. 2016). Dada su relevancia económica, en el Reino Unido el desarrollo de la acuicultura de ambas especies tiene un estado avanzado de investigación y progreso, y la expectación sobre su producción a escala comercial en el corto plazo es muy



Figura 1. Gusanos de cebo *Arenicola marina*.

Fuente: <https://www.vistaalmar.es/ciencia-tecnologia/medicina/7885-proximamente-farmacia-sangre-lombriz-marina.html>



Figura 2. Gusanos *Arenicola marina* preparado como carnada para la pesca deportiva. Fuente: <https://www.alamy.es/imagenes/fishing-worms.html>

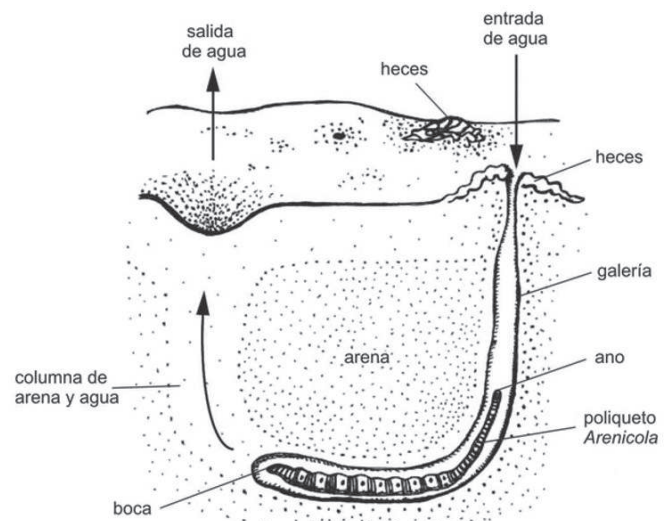


Figura 3. Galería en forma de “U” de *Arenicola marina*. Fuente: (Ruppert y Barnes, 1996).



¹ tipo de cambio 3 de noviembre de 2020

alta (Sustainable Feeds LTD, 2018; Cole et al. 2018). A pesar de la popularidad de los arenícolas en la pesca deportiva, en los últimos años su uso se ha extendido también en el ramo de la biomedicina, pero antes de hablar de ello veamos cómo respiran los arenícolas.

¿CÓMO RESPIRAN LOS ARENÍCOLAS?

Los arenícolas respiran a través de las branquias, como los peces, pero a diferencia de estos, los arenícolas pueden sobrevivir hasta seis horas fuera del agua. ¿Cómo pueden hacer esto? La respuesta está en su sangre.

La sangre de *Arenicola marina* al igual que la humana es de color roja, debido a la presencia de hemoglobinas, que son las proteínas encargadas de transportar el oxígeno a todos los rincones del cuerpo a través de su sistema circulatorio

La hemoglobina de *A. marina* comercialmente recibe el nombre de HEMARINA-M101, o solo M101. A diferencia de la hemoglobina humana, que sólo puede transportar cuatro moléculas de oxígeno a la vez, la hemoglobina de *A. marina* puede transportar 156 moléculas de oxígeno, 40 veces más que la hemoglobina humana. Además, al no estar encerrada en glóbulos rojos como la nuestra, la hemoglobina de *A. marina* es extracelular y no posee anticuerpos, por tanto es compatible con cualquier grupo sanguíneo (Rousselot et al. 2006).

BIOTECNOLOGÍA

Estos hallazgos sobre la HEMARINA M101 de *Arenicola marina* como excelente transportador de oxígeno sirvieron para que en el 2007 se creara una compañía biofarmacéutica ubicada en Francia llamada "HEMARINA", cuyo propósito es desarrollar biotecnología patentada de la hemoglobina de *A. marina* para diversos usos en medicina (HEMARINA, 2020).

Uno de sus productos más novedosos es el propuesto para la preservación de órganos de trasplante llamado HEMO₂life®, que se basa en la eficiencia de la HEMARINA M101 para transportar oxígeno a los órganos a trasplantar y, en consecuencia, estos órganos pueden sobrevivir varios días sin daño y ser viables (Figura 7). HEMO₂life® fue probado en 60 pacientes que recibieron trasplante de riñón. Estos pacientes mostraron una recuperación más rápida que aquellos que recibieron órganos preservados en la solución salina tradicional. Su uso se ha extendido en la preservación de otros órganos como pulmón, páncreas y corazón (Thuillier et al. 2011; Mallet et al. 2014; Teh et al. 2017).

Otros productos innovadores a base de la HEMARINA M101 incluyen el HEMOXYCarrier®, que es un transportador de oxígeno universal con uso potencial en transfusiones sanguíneas (Rousselot et al. 2006); el HEMHealing®, un apósito indicado para la cicatrización de heridas crónicas; el HEMOXYCell®/HEMUPStream®

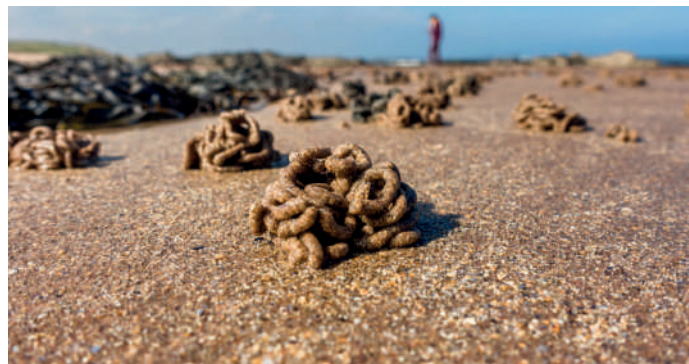


Figura 4. Heces de *Arenicola marina* expuestas durante la bajamar. Fuente: <https://www.elagoradiario.com/aguaalobestia/arenicola-marina-gusano-deposiciones-arena-playa/>

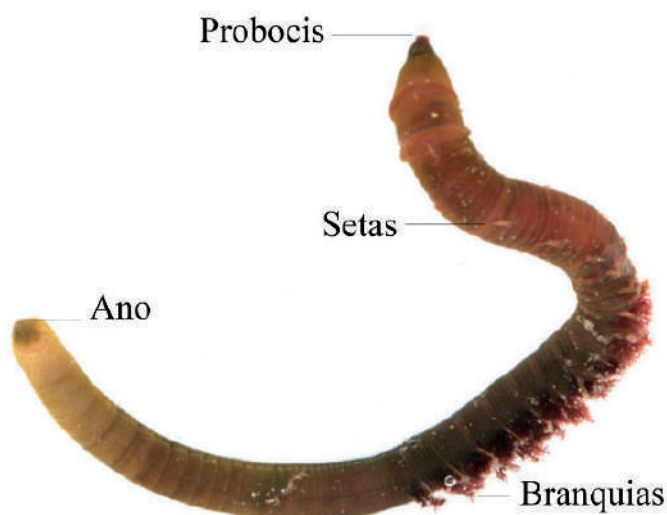


Figura 5. *Arenicola marina*. Fuente: https://www.bazarlaspalmeras.com/p_11891_17_97_235/coco-modificado-por-MEGG

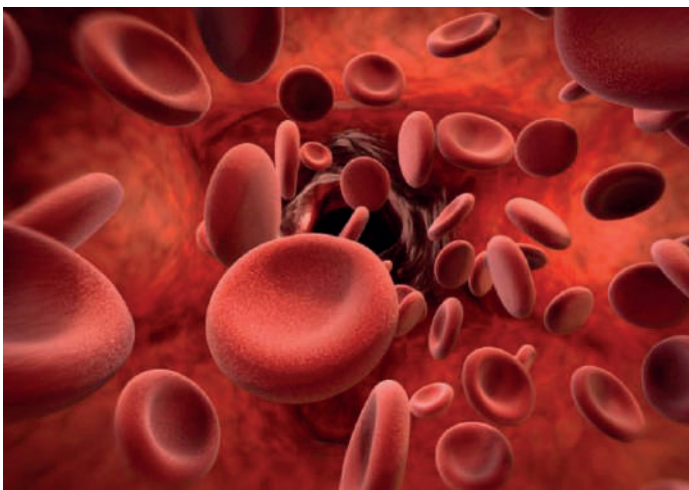


Figura 6. Hemoglobina. Fuente: <https://www.tuasaude.com/es/hemoglobina/>

es promovido como activador de crecimiento celular in vitro (Le Pape et al. 2015); el HEMDental-Care® es un gel recomendado en tratamientos dentales para curar la periodontitis, pues la molécula M101 contenida en él fungen como anti-bacteriana y anti-inflamatoria (Batool et al. 2020); y el HEMBoost® recomendado tanto en la industria farmacéutica como agro-alimentaria como un biorreactor, pues acelera la fermentación láctica.

La compañía cuenta con trece diferentes patentes en varios países, incluyendo Francia desde luego y el resto de Europa, pero de interés especial las patentes para la preservación de órganos y tejidos en México (patentes WO2009/050343 y WO2013/001196).

HEMARINA M101 Y COVID-19

Ante la pandemia del Covid-19 el 27 de abril del año en curso, la Agencia de Seguridad Nacional de Medicamentos y de los productos de salud de Francia (L'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des Produits de Santé o ANSM por sus siglas en francés) aprobó un ensayo clínico para usar la HEMARINA M101 de Arenicola marina en 10 pacientes con insuficiencia respiratoria ocasionada por el coronavirus. A raíz de ese anuncio la noticia se hizo viral, apareciendo en noticieros televisivos, medios impresos y redes sociales de todo el mundo, tanto por la urgencia desesperada de encontrar una cura a esta pandemia tan devastadora, como por la rareza de usar la hemoglobina de un gusano marino.

Los pacientes con síndrome respiratorio agudo severo causado por el virus COVID-19 tienen una incapacidad fisiológica para suministrar oxígeno al cuerpo. La molécula H-101 extraída de la hemoglobina extracelular de Arenicola marina, podría utilizarse para oxigenar a estos pacientes, pues ya se demostró que transporta más oxígeno que la hemoglobina humana, no requiere de un cofactor para liberar el oxígeno y carece del efecto vasoconstrictor e hipertensivo que se observa con los acarreadores de oxígeno basados en hemoglobina humana, bovina o recombinante. Además, al no estar encerrada en glóbulos rojos como la nuestra, la hemoglobina de A. marina no posee anticuerpos, y por lo tanto es compatible con cualquier grupo sanguíneo (Rousselot et al. 2006).



Figura 7. Hemoglobina de Arenicola marina siendo utilizada en la preservación de órganos de trasplante. Fuente: Hemarina.

Biología y Sociedad n° 7, primer semestre 2021

Desafortunadamente, a escasos meses del anuncio oficial no existe información sobre la efectividad del tratamiento en los pacientes evaluados. Lejos del sensacionalismo de la noticia, si los resultados de estas pruebas fueron promisorios, entonces se podría considerar un auxiliar en el tratamiento de una de las grandes enfermedades de la humanidad de todos los tiempos.

¿CÓMO OBTIENE LOS GUSANOS LA BIOFARMACÉUTICA?

A siete años de su creación, en el 2013 la biofarmacéutica HEMARINA creció tanto que pudo adquirir una parte de una granja marina en la isla Noirmoutier, al norte de Francia; pero dos años más tarde se convirtió en dueña absoluta de la granja. Hoy en día, esa granja produce aproximadamente 30 toneladas de gusanos al año para la extracción de su hemoglobina. Cuenta con patentes activas para los métodos de inducción de la maduración sexual de los gusanos y de su acuicultura, tanto en Estados Unidos como en Europa, pero estas fueron compradas, no son producto de investigaciones propias (patentes US7568446, US7004109).

¿EXISTEN ARENICOLAS EN MÉXICO?

En los mares mexicanos existen reportes de dos especies de Arenícolas: Arenicola cristata Stimpson, 1856 y Arenicola glasselli Berkeley y Berkeley, 1939, pero sus registros son escasos. Esto obedece por un lado a que la extracción de estos gusanos es difícil debido a la forma de su galería (en forma de U), y que, a la menor perturbación, estos gusanos excavan rápidamente a zonas más profundas para su protección, haciendo casi imposible su captura con las modestas herramientas de trabajo que siempre hemos usado: palas. Además, cuando se obtienen gusanos, estos salen incompletos, pues podemos cortarlos de manera no intencional durante su muestreo. En Estados Unidos y en Europa usan una bomba especial, llamada "bait pump" or "lug-worm pump" (Figura. 8) que es exclusiva para extraer arenícolas, con suerte podemos conseguir una y hacer muestreos en los litorales mexicanos para conocer más sobre la composición y abundancia de Arenícolas en el país, y quizá más tarde, explorar su uso potencial en la acuicultura y en la biotecnología. ^{8c}



Figura 8. Recolecta de arenícolas con bomba de extracción Bait pump.

Fuente: <http://www.baitpump.es/como-funciona.html>



LITERATURA CITADA

- Batool, F, C. Stutz, C. Petit, N. Benkirane-Jessel, E. Delpy, F. Zal, E. Leize-Zal & O. Huck. 2020. A therapeutic oxygen carrier isolated from *Arenicola marina* decreased *P. gingivalis* induced inflammation and tissue destruction. *Scientific Reports* 10, 14745. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71593-8>
- Berkeley E. & C. Berkeley. 1939. On a collection of Polychaeta, chiefly from the west coast of Mexico. *Annals and Magazine of Natural History*, Ser. 11(3): 321–346.
- Cole, V.J., R.C. Chick & P. Hutchings. 2018. A review of global fisheries for polychaete worms as a resource for recreational fishers: diversity, sustainability and research needs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 28(3): 543–565.
- Darbyshire, T. 2019. *Arenicolidae* Johnston, 1835. En: *Handbook of Zoology, Annelida, Vol. 2: Pleistoannelida, Sedentaria II*. Westheide W., Purschke G & Böggemann M (eds). De Gruyter, Germany.
- HEMARINA, 2020. <https://www.hemarina.com/hemarina-laboratoire-biopharmaceutique> Consultado el 30 de Octubre 2020.
- Le Pape, F., M. Bossard, D. Dutheil, M. Rousselot, V. Polard, C. Férec, E. Leize, P. Delépine & F. Zal. 2015. Advancement in recombinant protein production using a marine oxygen carrier to enhance oxygen transfer in a CHO-S cell line. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology* 43(3): 186–195.
- Mallet, V., D. Dutheil, V. Polard, M. Rousselot, E. Leize, T. Hauet, J.M. Goujon & F. Zal. 2014. Dose-ranging study of the performance of the natural oxygen transporter HEMO₂ Life in organ preservation. *Artificial Organs* 38(8): 691–701. <https://doi.org/10.1111/aor.12307>
- PATENTE US7568446. <https://patents.google.com/patent/US7568446B2/en?q=US7568446>
- PATENTE US7004109. <https://patents.google.com/patent/US7004109B2/en?q=US7004109>
- PATENTE WO2009050343A3. <https://patents.google.com/patent/WO2009050343A3/en?q=WO2009%2f050343>
- PATENTE WO2013/001196. <https://patents.google.com/patent/WO2013001196A1/en?q=WO2013%2f001196>
- Rousselot, M., E. Delpy, C. Drieu La Rochelle, V. Lagente, R. Pirow, J.F. Rees, A. Hagege, D. Le Guen, S. Hourdez & F. Zal. 2006. *Arenicola marina* extracellular hemoglobin: a new promising blood substitute. *Biotechnology Journal* 1(3): 333–345.
- Sustainable Feeds LTD 2018 <https://www.sustainablefeeds.com>
- Stimpson W. 1856. On some remarkable marine Invertebrates inhabiting the shores of South Carolina. *Proceedings of the Boston Society for Natural History* 5: 110–117.
- Teh, E.S., F. Zal, V. Polard, P. Menasché & D.J. Chambers. 2017. HEMO₂life as a protective additive to Celsior solution for static storage of donor hearts prior to transplantation. *Artif Cells Nanomed Biotechnol* 45: 717–722. <https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1265974>
- Thuillier, R., D. Dutheil, M.T.N. Trieu, V. Mallet, G. Allain, M. Rousselot, M. Denizot, J.M. Gouon, F. Zal & T. Hauet. 2011. Supplementation with a new therapeutic oxygen carrier reduces chronic fibrosis and organ dysfunction in kidney static preservation. *American Journal of Transplantation* 11(9): 1845–1860. <https://doi.org/10.1111/j.1600-6143.2011.03614.x>
- Watson, G.J., J.M. Murray, M. Schaefer & A. Bonner. 2016. Bait worms: a valuable and important fishery with implications for fisheries and conservation management. *Fish and Fisheries* 18(2): 374–388 <https://doi.org/10.1111/faf.12178>

MESOAMERICAN SALAMANDERS (AMPHIBIA: CAUDATA) AS A CONSERVATION FOCAL GROUP

ELI GARCÍA-PADILLA¹, DOMINIC L. DESANTIS², ARTURO ROCHA³, VICENTE MATA-SILVA⁴, JERRY D. JOHNSON⁵, LYDIA ALLISON FUCSKO⁶, DAVID LAZCANO⁷, AND LARRY DAVID WILSON⁸



¹Oaxaca de Juárez, Oaxaca 68023, Mexico. E-mail: eligarcia_18@hotmail.com

²Department of Biological & Environmental Sciences, Georgia College & State University, Milledgeville, Georgia 31061, USA. E-mail: dominic.desantis@gcsu.edu

³Department of Biological Sciences, El Paso Community College, El Paso, Texas 79927, USA. E-mail: turyrocha@gmail.com

^{4,5}Department of Biological Sciences, The University of Texas at El Paso, El Paso, Texas 79968-0500, USA. E-mails: vmata@utep.edu, jjohnson@utep.edu

⁶Department of Humanities and Social Sciences, Swinburne University of Technology, Melbourne, Victoria, Australia. E-mail: lydiafucsko@gmail.com

⁷Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Apartado Postal 157, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66450, México. E-mail: imantodes52@hotmail.com

⁸Centro Zamorano de Biodiversidad, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, HONDURAS; 1350 Pelican Court, Homestead, Florida 33035, USA. E-mail: bufodoc@aol.com

“CONSERVATION IS NOT MERELY A QUESTION OF MORALITY, BUT A QUESTION OF OUR OWN SURVIVAL”.

HIS HOLINESS THE DALAI LAMA (2004)

SUMMARY

Salamanders constitute the second largest order of amphibians in the world. The 762 species occurring globally are organized into nine families, of which eight are found in the Western Hemisphere. The 308 species of Mesoamerican salamanders are arranged in four families, only two of which have representatives occurring significantly south of the US-Mexican border. Those two families are the Ambystomatidae, with 18 Mesoamerican species, and the Plethodontidae, with 287 species. Most of the Mesoamerican salamanders are endemic to either Mexico or Central America or to Mesoamerica in general. The largest number of endemic species belong to the genera *Ambystoma*, *Bolitoglossa*, *Chiropetrotriton*, *Nototriton*, *Oedipina*, *Pseudoeurycea*, and *Thorius*. The greatest amount of salamander diversity is found in Mexico, followed in order by that in Guatemala, Costa Rica, Honduras, Panama, Nicaragua, El Salvador, and Belize. The amount of endemism in Central America ranges in order from highest to lowest in Costa Rica, Nicaragua, Guatemala, Honduras, Panama, El Salvador, and Belize. Most species of Mesoamerican salamanders occupy conservation priority level one, amounting to 244 species and 88.4% of the 276 Mexican and Central American endemic species. These 244 species constitute a key conservation focal group for Mesoamerica based on several criteria. Most of the priority level one species are in the Mesa Central, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Sierra de Los Tuxtlas, Western and Eastern Nuclear Central American Highlands, Isthmian Central American Highlands, and the Highlands of Eastern Panama. The significance of the biodiversity resource represented by Mesoamerican salamanders is not emphasized outside of a small cadre of conservation herpetologists and systematists working in the region. Nonetheless, these salamanders are threatened currently by the destructive activities of humans and potentially endangered by the possibility of the invasion of their habitats by the chytrid fungus *Batrachochytrium salamandrivorans*. Our conclusion is that Mesoamerican salamanders should be recognized as a conservation focal group for several reasons outlined herein. In addition, we suggest that these salamanders become the subject of a scientific congress tasked with promptly preparing a plan for protecting the diversity and endemism of these amphibians for perpetuity.

RESUMEN

Las salamandras constituyen el segundo orden más grande de anfibios en el mundo. Las 762 especies que ocurren a nivel mundial están organizadas en nueve familias, de las cuales ocho se encuentran en el hemisferio occidental. Las 308 especies de salamandras mesoamericanas están distribuidas en cuatro familias, solo dos de las cuales tienen representantes que se encuentran significativamente al sur de la frontera de México y Estados Unidos. Esas dos familias son Ambystomatidae, con 18 especies mesoamericanas, y Plethodontidae, con 287 especies. La mayoría de las salamandras mesoamericanas son endémicas de México o Centroamérica o de Mesoamérica en general. La mayor cantidad de especies endémicas pertenece a los géneros *Ambystoma*, *Bolitoglossa*, *Chiropetrotriton*, *Nototriton*, *Oedipina*, *Pseudoeurycea* y *Thorius*. La mayor diversidad de salamandras se encuentra en México, seguido en orden por Guatemala, Costa Rica, Honduras, Panamá, Nicaragua, El Salvador y Belice. La cantidad de endemismo varía en orden de mayor a menor en Costa Rica, Nicaragua, Guatemala, Honduras, Panamá, El Salvador y Belice. La mayoría de las especies de salamandras mesoamericanas ocupan el nivel de prioridad de conservación uno, con un total de 244 especies y el 88.4% de las 276 especies endémicas de México y Centroamérica. Estas 244 especies constituyen un grupo de enfoque de conservación clave para Mesoamérica basado en varios criterios. La mayoría de las especies del nivel de prioridad de conservación uno, están ubicadas en la Mesa Central, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur, la Sierra de Los Tuxtlas, las tierras altas de Centroamérica nuclear occidental y oriental, las tierras altas del Istmo de Centroamérica y las tierras altas del este de Panamá. En términos generales, la importancia del recurso de biodiversidad representado por las salamandras mesoamericanas no es tomado en cuenta fuera de un pequeño grupo de herpetólogos y taxónomos interesados en la conservación del grupo en la región. No obstante, estas salamandras están actualmente amenazadas por las actividades destructivas de los humanos y potencialmente amenazadas por la posibilidad de la invasión de sus hábitats por el hongo quítrido *Batrachochytrium salamandrivorans*. Nuestra conclusión es que las salamandras mesoamericanas deberían ser promovidas como un grupo de enfoque de conservación por varias razones. Adicionalmente, sugerimos que estas salamandras se conviertan en el tema de un congreso científico que aborde la preparación de un plan para la protección de la diversidad y endemismo de estos anfibios para la perpetuidad lo más pronto posible.



Keywords: Biodiversity decline, Caudata, conservation priority levels, Mexico, Central America

Palabras Claves: Caudata, disminución de la biodiversidad, América Central, México, niveles prioritarios de conservación

INTRODUCTION

Salamanders globally comprise the second largest order of amphibians, after anurans and before caecilians. The Amphibian Species of the World (ASW) website (Frost 2020; accessed 28 October 2020) lists 8,234 species of amphibians, of which anurans comprise 7,259 taxa or 88.2%. Caecilians make up 2.6% of the order, with 213 species. Salamanders constitute 762 species or 9.3% of the total. Nine salamander families are recognized at the ASW website. Of these nine families, four are restricted to the Western Hemisphere, i.e., Ambystomatidae, Amphiumidae, Rhyacotritonidae, and Sirenidae. Four of the other five have representatives in both hemispheres. Only the family Hynobiidae is restricted in distribution to the Eastern Hemisphere. Of the four bi-hemispheric families, the distribution of two of them, the Cryptobranchidae and the Proteidae, is limited to North America north of the Mexican border. The distribution of the other two, the Plethodontidae and the Salamandridae, penetrates far beyond the US-Mexican border (Plethodontidae) or only slightly so (Salamandridae).

This paper comprises an essay that attempts to make a case for the recognition of the Mesoamerican salamander fauna as a conservation focal group to exemplify the survival issues facing the Mesoamerican herpetofauna as a whole. We support this proposed designation based on the outstanding level of endemism and susceptibility to anthropogenic environmental pressures exhibited by the Mesoamerican caudates.

METHODS

We have based our approach in this paper on that adopted in a series of papers published since 2013 that utilized the Environmental Vulnerability Score (EVS) originated by Wilson and McCranie (2003) for initial use in determining the conservation status of the members of the Honduran herpetofauna. In 2013, three of us published two papers that applied the EVS to the Mexican herpetofauna (Wilson et al., 2013a, b). The methodology in these two papers then was applied to the Central American herpetofauna (Johnson, et al., 2015). Two years later, Johnson et al. (2017) introduced the concept of conservation priority levels, which were determined by combining the EVS levels of the endemic members of the Mexican herpetofauna with their physiographic distribution; two years after, Mata-Silva et al. (2019) applied the same methodology to the Central American herpetofauna. Finally, García-Padilla et al. (2020) identified the conservation priority level one amphibians and reptiles in Mesoamerica as those most in need of critical care. The present paper picks up from where García-Padilla et al. (2020) left off, identifying the Mesoamerican salamander fauna as a conservation focal group, and completes a lengthy examination of the conservation status of the Mesoamerican herpetofauna through six papers published between 2013 and the present year, culminating in the present paper.

We find it necessary to point out that our approach to evaluating the conservation status of the hugely important

Mesoamerican herpetofauna, has been dependent on use of the EVS measure (Wilson et al., 2013a, b; Johnson, 2015). Thus, we have eschewed the use of the more broadly applied and globally utilized IUCN methodology for the reasons that are stipulated by Wilson et al. (2013b: 107), as follows: “The EVS provides several advantages for assessing the conservation status of amphibians and reptiles. First, this measure can be applied as soon as a species is named, because the information necessary for its application generally is known at that point. Second, calculating the EVS is economical because it does not require expensive, grant-supported workshops, such as those undertaken for the Global Amphibian Assessment (sponsored by the IUCN). Third, the EVS is predictive, as it measures susceptibility to anthropogenic pressure and can pinpoint taxa with the greatest need of immediate attention and continued scrutiny. Finally, it is simple to calculate and does not “penalize poorly known species.” In addition, we make no use of the SEMARNAT system of conservation assessment, since it is applicable only to the Mexican herpetofauna and has proved of little use even in the work we have accomplished on the herpetofaunas of various states in Mexico in what we have called the Mexican Conservation Series (as elucidated, for example, in Ramírez Bautista et al., 2020).

Our definition of Mesoamerica is the same as that adopted at the Mesoamerican Herpetology website (mesoamericanherpetology.com), i.e., “the region extending from the northern border of Mexico to the eastern border of Panama.” This also is the definition used in the volume *Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles* (Wilson, et al., 2010).

SALAMANDER DIVERSITY IN MESOAMERICA

Of the eight salamander families with representatives in the Americas, only four have distributions extending into Mesoamerica. These families are the Ambystomatidae, Plethodontidae, Salamandridae, and Sirenidae. Two of these families, however, the Salamandridae and Sirenidae, occur only in extreme northeastern Mexico, and are represented by only one (Salamandridae) or two species (Sirenidae), as indicated in the taxonomic list at the *Mesoamerican Herpetology* website (accessed 28 October 2020). Thus, most of the Mesoamerican salamanders belong to the families Ambystomatidae and Plethodontidae. Of the total of the 305 total species in these two families in Mesoamerica (mesoamericanherpetology.org; accessed 28 October 2020), 18 belong to the Ambystomatidae (5.9%), whereas 287 are placed in the Plethodontidae (94.1%).

The 18 ambystomatid salamanders occupying Mesoamerica are limited in distribution to Mexico north of the southern rim of the Mexican Plateau (Vitt and Caldwell, 2009). The 18 ambystomatids comprise 48.6% of the 37 species in the entire family (Frost, 2020; accessed 28 October 2020). The 287 Mesoamerican plethodontids make up 58.6% of a total of 490 in the entire family, and 59.7% of the 481 species occurring in the Western Hemisphere (Frost, 2020; accessed 28 October 2020).

All 18 of the Mesoamerican ambystomatid salamanders belong to the genus *Ambystoma*, 54.5% of the 33 species in the entire genus. The only other genus in this family is *Dicamptodon*, with four species, limited in distribution to the Pacific Northwest of North America, from southwestern British Columbia in Canada to northern Idaho and extreme western Montana, as well as south to Pacific central California (Frost 2020; accessed 28 October 2020).

The 287 Mesoamerican plethodontids are placed in 17 genera (mesoamericanherpetology.org; accessed 28 October 2020), including *Aneides* (one species), *Aquiloerycea* (six species), *Batrachoceps* (one species), *Bolitoglossa* (102 species), *Bradytriton* (one species), *Chiropterotriton* (23 species), *Cryptotriton* (seven species), *Dendrotriton* (eight species), *Ensatina* (one species), *Isthmura* (seven species), *Ixalotriton* (two species), *Nototriton* (20 species), *Nyctanolis* (one species), *Oedipina* (38 species), *Parvimolge* (one species), *Pseudoeurycea* (39 species), and *Thorius* (29 species). Interestingly, six of these 17 genera contain only single species in Mesoamerica, in some cases because the genus is monospecific (*Bradytriton*, *Nyctanolis*, and *Parvimolge*), in other cases because only a single species of a multi-specific genus ranges into Mesoamerica (*Aneides*, *Batrachoceps*, and *Ensatina*).

Only a single species of salamandrid salamanders occurs in Mesoamerica, in fact only in northeastern Mexico (to extreme northeastern Hidalgo), i.e., *Notophthalmus meridionalis*. Two species of sirenid salamanders, *Siren intermedia* and *S. lacertina*, are found in extreme northeastern Mexico.

BROAD PATTERNS OF DISTRIBUTION OF MESOAMERICAN SALAMANDERS

The 308 Mesoamerican salamander species exhibit several broad patterns of distribution, as discussed by Wilson et al. (2017). These patterns and the number of taxa that illustrate them are outlined in Table 1. Of the nine distributional patterns for Mesoamerican amphibians and reptiles identified by Wilson et al. (2017), only five apply to Mesoamerican salamanders. These patterns are as follows:

- (1) MXEN = species endemic to Mexico
- (2) CAEN = species endemic to Central America
- (3) MXUS = species distributed only in Mexico and the United States
- (4) MXCA = species distributed only in Mexico and Central America
- (5) CASA = species distributed only in Central America and South America

In general, most Mesoamerican salamanders exhibit the MXEN and CAEN patterns, i.e., they are species endemic to either Mexico or Central America. Of the 308 species involved, 133 or 43.2% are endemic to Mexico, whereas 144 or 46.8% are endemic to Central America. The total for these two portions of Mesoamerica is 277 species or 89.9% of the total

for Mesoamerica. The remaining 31 species occur in Mexico and the United States (seven species or 2.3%), Mexico and Central America (19 species or 6.2%), or Central America and South America (five species or 1.6%). Combining the MXEN, CAEN, and MXCA species produces a figure of 296 species endemic to Mesoamerica or 96.1%. Thus, only 12 species or 3.9% occur also outside of Mesoamerica in the United States (seven species or 2.3%) or South America (five species or 1.6%).

ENDEMISM AMONG THE MESOAMERICAN SALAMANDERS

As noted above, the overall endemicity of Mesoamerican salamanders is stunning at 96.1% (Table 1). Also noteworthy is that 12 of the 20 genera of these amphibians are endemic to either Mexico (*Aquiloerycea*, *Chiropterotriton*, *Isthmura*, *Ixalotriton*, *Parvimolge*, and *Thorius*), Central America (*Nototriton*), or Mesoamerica in general (*Bradytriton*, *Cryptotriton*, *Dendrotriton*, *Nyctanolis*, and *Pseudoeurycea*). The other eight genera in Mesoamerica have representatives in either the United States (*Ambystoma*, *Aneides*, *Batrachoceps*, *Ensatina*, *Notophthalmus*, and *Siren*) or South America (*Bolitoglossa* and *Oedipina*). The 12 endemic Mesoamerican genera collectively contain 144 species or 46.8% of the 308 total species distributed in Mesoamerica. The largest genus of salamanders in Mesoamerica is *Bolitoglossa*, with 102 species. According to Frost (2020; accessed 28 October 2020) this genus contains 136 species, indicating that 34 of the currently recognized species are restricted in distribution to South America and *Bolitoglossa* constitutes the only genus of salamanders occurring within this southern continent, other than *Oedipina*.

At the specific level, and as noted above, 296 of the 308 Mesoamerican salamanders or 96.1% are endemic to this region. The largest number of endemic Mesoamerican species belongs to the genera *Ambystoma* (17 species), *Bolitoglossa* (102 species), *Chiropterotriton* (23 species), *Nototriton* (20 species), *Oedipina* (36 species), *Pseudoeurycea* (39 species), and *Thorius* (29 species) for a total of 266 species or 86.4% of the overall total of 308 species (Table 1).

COUNTRY DISTRIBUTION AND ENDEMISM OF MESOAMERICAN SALAMANDERS

Although the distribution of Mesoamerican salamanders among the eight nations of Mesoamerica has no biological significance, this information does have conservation significance, since it is governments of countries that draw up conservation plans. Therefore, the data on country distribution of these salamanders is placed in Table 2.

These data indicate that the greatest diversity is found in Mexico. This country harbors members of all four of the Mesoamerican families of salamanders, three of which occur nowhere else in Mesoamerica (i.e., in Central America). Mexico also contains the highest

number of genera (18 of 20 or 90.0%) and species (158 of 308 or 51.3%). The next highest number of genera (8 of 20 or 40.0%) and species (64 of 308 or 20.8%) is found in Guatemala, followed by the number in Costa Rica (3 of 20 genera or 15.0% and 52 of 308 species or 16.9%). Honduras and Panama exhibit an intermediate amount of diversity compared to the other countries in Central America, with, respectively, five of 20 genera or 25.0% and 42 of 308 species or 13.6% and two of 20 genera or 10.0% and 32 of 308 species or 10.4%. The other three Central American countries have either five species (Belize and El Salvador) or 10 species (Nicaragua), which amount to 1.6 or 3.2% of the total, respectively; the number of genera is either two (Belize and El Salvador) or three (Nicaragua).

At the country level, endemism ranges from 0% in Belize to 84.2% in Mexico. Intermediate figures are, in ascending order, 20.0% in El Salvador, 28.1% in Panama, 59.5% in Honduras, 59.4% in Guatemala, 60.0% in Nicaragua, and 63.5% in Costa Rica. Thus, the figures for country-level endemism are greater than 50% in Honduras, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, and Mexico. The total number of species endemic at the country level amounts to 245, which is 79.5% of the 308 species of salamanders found in Mesoamerica.

Table 1. Summary of distributional categories for the Mesoamerican salamander species, by genera. The abbreviations are as follows: MXEN = species endemic to Mexico; CAEN = species endemic to Central America; MXUS = species distributed only in Mexico and the United States; MXCA = species distributed only in Mexico and Central America; and CASA = species distributed only in Central America and South America.

Genera	No. of Species	MXEN (1)	CAEN (2)	MXUS (3)	MXCA (4)	CASA (5)
<i>Ambystoma</i>	18	17	—	1	—	—
<i>Aneides</i>	1	—	—	1	—	—
<i>Aquiloerycea</i>	6	6	—	—	—	—
<i>Batrachoseps</i>	1	—	—	1	—	—
<i>Bolitoglossa</i>	102	10	76	—	13	3
<i>Bradytriton</i>	1	—	—	—	1	—
<i>Chiropterotriton</i>	23	23	—	—	—	—
<i>Cryptotriton</i>	7	1	6	—	—	—
<i>Dendrotriton</i>	8	2	6	—	—	—
<i>Ensatina</i>	1	—	—	1	—	—
<i>Isthmura</i>	7	7	—	—	—	—
<i>Ixalotriton</i>	2	2	—	—	—	—
<i>Nototriton</i>	20	—	20	—	—	—
<i>Nyctinolis</i>	1	—	—	—	1	—
<i>Oedipina</i>	38	—	35	—	1	2
<i>Parvimolge</i>	1	1	—	—	—	—
<i>Pseudoeurycea</i>	39	35	1	—	3	—
<i>Thorius</i>	29	29	—	—	—	—
<i>Notophthalmus</i>	1	—	—	1	—	—
<i>Siren</i>	2	—	—	2	—	—
Totals	308	133	144	7	19	5



Table 2. Distribution of the native salamander species of Mesoamerica by country. Asterisk signifies a species endemic to a given country.

Taxa	Mexico	Belize	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panama
Caudata: Ambystomatidae (1 genus, 18 species)								
<i>Ambystoma altamirani</i>	+							
<i>Ambystoma amblycephalum</i>	+							
<i>Ambystoma andersoni</i>	+							
<i>Ambystoma bombypellum</i>	+							
<i>Ambystoma dumerilii</i>	+							
<i>Ambystoma flavipiperatum</i>	+							
<i>Ambystoma granulatum</i>	+							
<i>Ambystoma leorae</i>	+							
<i>Ambystoma lermaense</i>	+							
<i>Ambystoma mavortium</i>	+							
<i>Ambystoma mexicanum</i>	+							
<i>Ambystoma ordinarium</i>	+							
<i>Ambystoma rivulare</i>	+							
<i>Ambystoma rosaceum</i>	+							
<i>Ambystoma silvense</i>	+							
<i>Ambystoma subsalsum</i>	+							
<i>Ambystoma taylori</i>	+							
<i>Ambystoma velasci</i>	+							
Subtotals	18/17							
Caudata: Plethodontidae (17 genera, 280 species)								
<i>Aneides lugubris</i>	+							
<i>Aquiloerycea cafetlera</i>	+							
<i>Aquiloerycea cephalica</i>	+							
<i>Aquiloerycea galeanae</i>	+							
<i>Aquiloerycea praecellens</i>	+							
<i>Aquiloerycea quetzalensis</i>	+							
<i>Aquiloerycea scandens</i>	+							
<i>Batrachoseps major</i>	+							
<i>Bolitoglossa alberchi</i>	+							
<i>Bolitoglossa alvaradoi</i>							+	
<i>Bolitoglossa anthracina</i>								+
<i>Bolitoglossa aurae</i>							+	
<i>Bolitoglossa aureogularis</i>							+	
<i>Bolitoglossa biseriata</i>								+
<i>Bolitoglossa bramei</i>							+	+
<i>Bolitoglossa carri</i>						+		
<i>Bolitoglossa cataguana</i>						+		
<i>Bolitoglossa celaque</i>						+		
<i>Bolitoglossa centenorum</i>						+		
<i>Bolitoglossa cerroensis</i>							+	
<i>Bolitoglossa chinanteca</i>	+							
<i>Bolitoglossa chucantiensis</i>	+							+
<i>Bolitoglossa coaxtlahuacana</i>	+							
<i>Bolitoglossa colonnea</i>							+	+
<i>Bolitoglossa compacta</i>							+	+
<i>Bolitoglossa conanti</i>						+		
<i>Bolitoglossa copia</i>								+
<i>Bolitoglossa copinhorum</i>						+		
<i>Bolitoglossa cuchumatana</i>						+		
<i>Bolitoglossa cuna</i>								+
<i>Bolitoglossa daryorum</i>						+		

Taxa	Mexico	Belize	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panama
<i>Bolitoglossa decora</i>					+			
<i>Bolitoglossa diaphora</i>					+			
<i>Bolitoglossa diminuta</i>							+	
<i>Bolitoglossa dofleini</i>		+	+		+			
<i>Bolitoglossa dunni</i>			+		+			
<i>Bolitoglossa engelhardti</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa epimela</i>							+	
<i>Bolitoglossa eremia</i>			+					
<i>Bolitoglossa flavimembris</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa flaviventris</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa franklini</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa gomezi</i>							+	+
<i>Bolitoglossa gracilis</i>							+	
<i>Bolitoglossa hartwegi</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa heiroreias</i>			+	+	+			
<i>Bolitoglossa helmrichi</i>			+					
<i>Bolitoglossa hermosa</i>	+							
<i>Bolitoglossa huehuetenanguensis</i>			+					
<i>Bolitoglossa indio</i>						+		
<i>Bolitoglossa insularis</i>						+		
<i>Bolitoglossa jacksoni</i>			+					
<i>Bolitoglossa jugivagans</i>							+	
<i>Bolitoglossa kamuk</i>							+	
<i>Bolitoglossa kaqchikelorum</i>			+					
<i>Bolitoglossa la</i>			+					
<i>Bolitoglossa lignicolor</i>							+	+
<i>Bolitoglossa lincolni</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa longissima</i>					+			
<i>Bolitoglossa macrinii</i>	+							
<i>Bolitoglossa magnifica</i>							+	
<i>Bolitoglossa marmorea</i>							+	
<i>Bolitoglossa medemi</i>							+	
<i>Bolitoglossa meliana</i>			+					
<i>Bolitoglossa mexicana</i>	+	+	+		+			
<i>Bolitoglossa minutula</i>							+	+
<i>Bolitoglossa mombachoensis</i>						+		
<i>Bolitoglossa morio</i>			+					
<i>Bolitoglossa mulleri</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa nigrescens</i>							+	
<i>Bolitoglossa ninadormida</i>			+					
<i>Bolitoglossa nussbaumi</i>			+					
<i>Bolitoglossa nympa</i>			+		+			
<i>Bolitoglossa oaxacaensis</i>	+							
<i>Bolitoglossa obscura</i>							+	
<i>Bolitoglossa occidentalis</i>	+		+		+			
<i>Bolitoglossa odonnelli</i>			+					
<i>Bolitoglossa omniumsanctorum</i>			+					
<i>Bolitoglossa oresbia</i>					+			
<i>Bolitoglossa pacaya</i>			+					
<i>Bolitoglossa pesubra</i>							+	
<i>Bolitoglossa phalarosoma</i>								+
<i>Bolitoglossa platydactyla</i>	+							
<i>Bolitoglossa porrasorum</i>					+			
<i>Bolitoglossa psephena</i>			+					

Taxa	Mexico	Belize	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panama
<i>Bolitoglossa pygmaea</i>								+
<i>Bolitoglossa riletii</i>	+							
<i>Bolitoglossa robinsoni</i>							+	
<i>Bolitoglossa robusta</i>							+	+
<i>Bolitoglossa rostrata</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa rufescens</i>	+	+	+		+			
<i>Bolitoglossa salvinii</i>			+	+				
<i>Bolitoglossa schizodactyla</i>							+	+
<i>Bolitoglossa sombra</i>							+	+
<i>Bolitoglossa sooyorum</i>							+	
<i>Bolitoglossa splendida</i>							+	
<i>Bolitoglossa striatula</i>					+	+	+	
<i>Bolitoglossa stuarti</i>	+		+					
<i>Bolitoglossa subpalmata</i>							+	
<i>Bolitoglossa suchitanensis</i>			+					
<i>Bolitoglossa synoria</i>				+	+			
<i>Bolitoglossa taylori</i>								+
<i>Bolitoglossa tenebrosa</i>			+					
<i>Bolitoglossa tica</i>							+	
<i>Bolitoglossa tzultacaj</i>			+					
<i>Bolitoglossa veracruzis</i>	+							
<i>Bolitoglossa xibalba</i>			+					
<i>Bolitoglossa yucatanana</i>	+	+						
<i>Bolitoglossa zacapensis</i>			+					
<i>Bolitoglossa zapoteca</i>	+							
<i>Bradytriton silus</i>			+					
<i>Chiropterotriton arboreus</i>	+							
<i>Chiropterotriton aureus</i>	+							
<i>Chiropterotriton casasi</i>	+							
<i>Chiropterotriton ceronorum</i>	+							
<i>Chiropterotriton chico</i>	+							
<i>Chiropterotriton chiropterus</i>	+							
<i>Chiropterotriton chondrostega</i>	+							
<i>Chiropterotriton cieloensis</i>	+							
<i>Chiropterotriton cracens</i>	+							
<i>Chiropterotriton dimidiatus</i>	+							
<i>Chiropterotriton infernalis</i>	+							
<i>Chiropterotriton lavae</i>	+							
<i>Chiropterotriton magnipes</i>	+							
<i>Chiropterotriton melipona</i>	+							
<i>Chiropterotriton miquihuanus</i>	+							
<i>Chiropterotriton mosauri</i>	+							
<i>Chiropterotriton multidentatus</i>	+							
<i>Chiropterotriton nubilis</i>	+							
<i>Chiropterotriton orculus</i>	+							
<i>Chiropterotriton perotensis</i>	+							
<i>Chiropterotriton priscus</i>	+							
<i>Chiropterotriton terrestris</i>	+							
<i>Chiropterotriton totonacus</i>	+							
<i>Cryptotriton alvarezdeltoroi</i>	+							
<i>Cryptotriton monzoni</i>			+					
<i>Cryptotriton nasalis</i>					+			
<i>Cryptotriton necopinus</i>					+			

Taxa	Mexico	Belize	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panama
<i>Cryptotriton sierraminensis</i>			+					
<i>Cryptotriton veraepacis</i>			+					
<i>Cryptotriton xucaneborum</i>			+					
<i>Dendrotriton bromeliacius</i>			+					
<i>Dendrotriton chujorum</i>			+					
<i>Dendrotriton cuchumatanus</i>			+					
<i>Dendrotriton kekchiorum</i>			+					
<i>Dendrotriton megarhinus</i>	+							
<i>Dendrotriton rabbi</i>			+					
<i>Dendrotriton sanctibarbarus</i>					+			
<i>Dendrotriton xoloccalcae</i>	+							
<i>Ensatina eschscholtzii</i>	+							
<i>Isthmura bellii</i>	+							
<i>Isthmura boneti</i>	+							
<i>Isthmura corrugata</i>	+							
<i>Isthmura gigantea</i>	+							
<i>Isthmura maxima</i>	+							
<i>Isthmura naucampatepetl</i>	+							
<i>Isthmura sierraoccidentalis</i>	+							
<i>Ixalotriton niger</i>	+							
<i>Ixalotriton parvus</i>	+							
<i>Nototriton abscondens</i>							+	
<i>Nototriton barbouri</i>					+			
<i>Nototriton brodiei</i>			+					
<i>Nototriton costaricense</i>							+	
<i>Nototriton gamezi</i>							+	
<i>Nototriton guanacaste</i>							+	
<i>Nototriton lignicola</i>					+			
<i>Nototriton limnospectator</i>					+			
<i>Nototriton major</i>							+	
<i>Nototriton matama</i>							+	
<i>Nototriton mime</i>					+			
<i>Nototriton nelsoni</i>					+			
<i>Nototriton oreadorum</i>					+			
<i>Nototriton picadoi</i>							+	
<i>Nototriton picucha</i>					+			
<i>Nototriton richardi</i>							+	
<i>Nototriton saslaya</i>						+		
<i>Nototriton stuarti</i>			+					
<i>Nototriton tapanti</i>							+	
<i>Nototriton tomamorum</i>					+			
<i>Nyctanolis pernix</i>	+		+					
<i>Oedipina alfaroi</i>							+	+
<i>Oedipina alleni</i>							+	+
<i>Oedipina altura</i>							+	
<i>Oedipina berlina</i>							+	
<i>Oedipina capitalina</i>					+			
<i>Oedipina carablanca</i>							+	
<i>Oedipina chortiorum</i>			+		+			
<i>Oedipina collaris</i>						+	+	+
<i>Oedipina complex</i>							+	
<i>Oedipina cyclocauda</i>						+	+	+
<i>Oedipina elongata</i>	+	+	+		+			
<i>Oedipina fortunensis</i>							+	
<i>Oedipina gephyra</i>					+			
<i>Oedipina gracilis</i>							+	+
<i>Oedipina grandis</i>							+	+

Taxa	Mexico	Belize	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panama
<i>Oedipina ignea</i>			+		+			
<i>Oedipina kasios</i>					+			
<i>Oedipina koehleri</i>						+		
<i>Oedipina leptopoda</i>					+			
<i>Oedipina maritima</i>								+
<i>Oedipina motaguae</i>			+					
<i>Oedipina nica</i>						+		
<i>Oedipina nimaso</i>							+	
<i>Oedipina pacificensis</i>							+	+
<i>Oedipina parvipes</i>								+
<i>Oedipina paucidentata</i>							+	
<i>Oedipina petiola</i>					+			
<i>Oedipina poelzi</i>							+	
<i>Oedipina pseudouniformis</i>						+	+	
<i>Oedipina quadra</i>					+			
<i>Oedipina salvadorensis</i>				+				
<i>Oedipina savagei</i>							+	
<i>Oedipina stenopodia</i>			+					
<i>Oedipina stuarti</i>					+			
<i>Oedipina taylori</i>			+	+	+			
<i>Oedipina tomasi</i>					+			
<i>Oedipina tzutujilorum</i>			+					
<i>Oedipina uniformis</i>							+	
<i>Parvimolge townsendi</i>	+							
<i>Pseudoeurycea ahutzotl</i>	+							
<i>Pseudoeurycea altamontana</i>	+							
<i>Pseudoeurycea amuzga</i>	+							
<i>Pseudoeurycea anitae</i>	+							
<i>Pseudoeurycea aquatica</i>	+							
<i>Pseudoeurycea aurantia</i>	+							
<i>Pseudoeurycea brunnata</i>	+		+					
<i>Pseudoeurycea cochranae</i>	+							
<i>Pseudoeurycea conanti</i>	+							
<i>Pseudoeurycea exspectata</i>			+					
<i>Pseudoeurycea firscheini</i>	+							
<i>Pseudoeurycea gadovi</i>	+							
<i>Pseudoeurycea goebeli</i>	+		+					
<i>Pseudoeurycea juarezi</i>	+							
<i>Pseudoeurycea kuantli</i>	+							
<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	+							
<i>Pseudoeurycea lineola</i>	+							
<i>Pseudoeurycea longicauda</i>	+							
<i>Pseudoeurycea lynchi</i>	+							
<i>Pseudoeurycea melanomolga</i>	+							
<i>Pseudoeurycea mixcoatl</i>	+							
<i>Pseudoeurycea mixteca</i>	+							
<i>Pseudoeurycea mystax</i>	+							
<i>Pseudoeurycea nigromaculata</i>	+							
<i>Pseudoeurycea obesa</i>	+							
<i>Pseudoeurycea orchileucos</i>	+							
<i>Pseudoeurycea orchimelas</i>	+							
<i>Pseudoeurycea papenfussi</i>	+							
<i>Pseudoeurycea rex</i>	+		+					
<i>Pseudoeurycea robertsi</i>	+							
<i>Pseudoeurycea ruficauda</i>	+							
<i>Pseudoeurycea saltator</i>	+							

CONSERVATION PRIORITY LEVELS AMONG MESOAMERICAN SALAMANDERS

Johnson et al. (2017) and Mata-Silva et al. (2019) presented the concept of conservation priority levels, a simple means of assessing the conservation significance of the endemic herpetofauna in Mexico and Central America, respectively, by combining data on their physiographic distribution and EVS group categorization, which resulted in the employment of 18 priority groupings for Mexico and 14 for Central America. These groupings were divided into six high priority levels, eight medium priority levels, and four low priority levels (the last with no such representatives in Central America). We extracted the data on the conservation priority categorizations for the endemic salamander species occurring in Mexico as well as Central America and placed them in Table 3, but excluded from consideration the 19 species common to both areas and priority levels with no salamander representation (i.e., levels six, nine, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, and 18). As such, eight priority levels remain for placement of Mesoamerican endemic salamanders. There are a total of 276 salamanders endemic to either Mexico (with 132 species) or Central America (with 144 species). The majority of both the Mexican (116 species) and Central American species (128 species) occupy priority level one for a total of 244 for both regions, which amounts to 88.4% of the total number of species of 276. The number of species in the next largest priority level (two) declines sharply to 15. The numbers for levels three, four, five, seven, eight, and ten are five, three, one, four, two, and two, respectively (Table 3). These numbers add up to 32 or 11.6% of the total. Thus, almost nine of every ten endemic species in Mesoamerica occupy priority level one, and as such, are restricted to a single physiographic region, and have a high EVS.

In our opinion, salamanders can be viewed as comprising a key conservation focal group based on several criteria, including: (1) the highest level of overall endemism of any herpetofaunal group in Mesoamerica (96.1%); (2) a huge representation of endemic salamander species in montane regions in Mesoamerica (233 species in nine montane regions or 95.5% of 244 endemic species); (3) the highest proportion of endemic salamander species with a high EVS (268 of 276 species or 97.1%); and also (4) a high proportion of salamander species occupying conservation priority level one (values noted above). Most of the Mesoamerican salamanders are placed in the family Plethodontidae; i.e., 287 of 308 species or 93.2%. The next largest representation (5.8%) involves the 18 species allocated to the family Ambystomatidae, occurring no farther south than the Mexican Plateau. Finally, a very few species are placed in the families Salamandridae (one) and Sirenidae (two). Of the 308 species of salamanders occurring in Mesoamerica, most are endemic to either Mexico (132 species) or Central America (144 species) or to Mesoamerica as a whole (19 species); the total is 295 or 95.8% of the entire Mesoamerican salamander count of 308 (Table 3). These numerical data are from Wilson et al. (2017), as updated at the Mesoamerican Herpetology website (mesoamericanherpetology.com; accessed 28 October 2020).

Taxa	Mexico	Belize	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panama
<i>Pseudoeurycea smithi</i>	+							
<i>Pseudoeurycea tenchalli</i>	+							
<i>Pseudoeurycea teotepec</i>	+							
<i>Pseudoeurycea tlahcuiloh</i>	+							
<i>Pseudoeurycea tlilicxitl</i>	+							
<i>Pseudoeurycea unguidentis</i>	+							
<i>Pseudoeurycea werleri</i>	+							
<i>Thorius adelos</i>	+							
<i>Thorius arboreus</i>	+							
<i>Thorius aureus</i>	+							
<i>Thorius boreas</i>	+							
<i>Thorius dubitus</i>	+							
<i>Thorius grandis</i>	+							
<i>Thorius hankeni</i>	+							
<i>Thorius infernalis</i>	+							
<i>Thorius insperatus</i>	+							
<i>Thorius longicaudus</i>	+							
<i>Thorius lunaris</i>	+							
<i>Thorius macdougalli</i>	+							
<i>Thorius magnipes</i>	+							
<i>Thorius maxillabrochus</i>	+							
<i>Thorius minutissimus</i>	+							
<i>Thorius minydemus</i>	+							
<i>Thorius munificus</i>	+							
<i>Thorius narismagnus</i>	+							
<i>Thorius narisovalis</i>	+							
<i>Thorius omiltemi</i>	+							
<i>Thorius papaloae</i>	+							
<i>Thorius pennatulus</i>	+							
<i>Thorius pinicola</i>	+							
<i>Thorius pulmonaris</i>	+							
<i>Thorius schmidtii</i>	+							
<i>Thorius smithi</i>	+							
<i>Thorius spilogaster</i>	+							
<i>Thorius tlaxiacus</i>	+							
<i>Thorius troglodytes</i>	+							
Subtotals	137/116	5/0	64/38	5/1	42/25	10/6	52/33	32/9
Caudata: Salamandridae (1 genus, 1 species)								
<i>Notophthalmus meridionalis</i>	+							
Subtotals	1/0							
Caudata: Sirenidae (1 genus, 2 species)								
<i>Siren intermedia</i>	+							
<i>Siren lacertina</i>	+							
Subtotals	2/0							
Totals	158/133	5/0	64/38	5/1	42/25	10/6	52/33	32/9
(17 genera, 301 species)								

Most species of priority level one species of Mesoamerican salamanders are distributed in montane regions (García-Padilla et al., 2019). The data in that paper have been extracted and placed in Table 4, indicating the following: 233 species of these creatures or 95.5% of the 244 total priority level one salamanders occur in the following montane regions (Mesa Central—17; Sierra Madre Occidental—2, Sierra Madre Oriental—60; Sierra Madre del Sur—29; Sierra de Los Tuxtlas—3; Western Nuclear Central American Highlands—39; Eastern Nuclear Central American Highlands—36; Isthmian Central American Highlands—45; and Highlands of Eastern Panama—2); relatively few priority level one salamander species occupy the lowland regions (11 species or 4.5% of the total of 244, as distributed in the following regions—Caribbean Lowlands of Eastern Guatemala and Northern Honduras—2; Caribbean Lowlands from Nicaragua to Panama—7; Pacific Lowlands from Southeastern Guatemala to Northwestern Costa Rica—1; and Pacific Lowlands from Central Costa Rica through Panama—1). Of the nine montane regions, two (Sierra Madre Occidental and Highlands of Eastern Panama) harbor only two species each. The remainder contain 3 to 60 species. Three of these seven regions are restricted to Mexico, including the Mesa Central, Sierra Madre Oriental, and Sierra Madre del Sur regions, one overlaps Mexico and Central America (Western Nuclear Central American Highlands), and the final three (Eastern Nuclear Central American Highlands, Isthmian Central American Highlands, and Highlands of Eastern Panama) are limited to Central America. The three Mexico-only regions, i.e., Mesa Central, Sierra Madre Oriental, and Sierra Madre del Sur, support 17, 60, and 29 species, respectively, for a total of 106 species. The Mexico-Central America region (Western Nuclear Central American Highlands) contains 39 species. Finally, the Central America-only regions, i.e., Eastern Nuclear Central American Highlands, and Isthmian Central American Highlands, have 36 and 45 species, respectively, for a total of 81 species. It is either likely or assured that new species will be discovered and described from most or all the nine montane regions. In fact, we are aware that new species are undergoing description presently from the Western Nuclear Central American Highlands region and are likely to be found in time in the Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Western Nuclear Central American Highlands, Isthmian Central American Highlands, and Highlands of Eastern Panama regions, all which regions are the subject of study by some of our herpetological colleagues. The five lowland regions (Atlantic Lowlands from Tamaulipas to Tabasco, Caribbean Lowlands of Eastern Guatemala and Northern Honduras, Caribbean Lowlands from Nicaragua to Panama, Pacific Lowlands from Southeastern Guatemala to Northwestern Costa Rica, and Pacific Lowlands from Central Costa Rica through Panama) are less likely to be sites of significant new salamander species discoveries, but might still prove to produce novelties.

The genera of priority level one Mesoamerican salamanders tend to have distributions restricted

to montane regions or groups of montane regions of Mesoamerica, as follows:

Ambystoma (nine species in the Mesa Central, one species in the Sierra Madre Occidental).

Aquiloerycea (five species in the Sierra Madre Oriental).

Bolitoglossa (one species in the Sierra Madre Oriental, six species in the Sierra Madre del Sur, 20 species in the Western Nuclear Central American Highlands, 15 species in the Eastern Nuclear Central American Highlands, 27 species in the Isthmian Central American Highlands, two species in the Highlands of Eastern Panama).

Chiropterotriton (18 species in the Sierra Madre Oriental).

Cryptotriton (five species in the Western Nuclear Central American Highlands and one species in the Eastern Nuclear Central American Highlands).

Dendrotriton (seven species in the Western Nuclear Central American Highlands and one species in the Eastern Nuclear Central American Highlands).

Isthmura (one species in the Sierra Madre Occidental, two species in the Sierra Madre Oriental, and one species in the Sierra Madre del Sur).

Ixalotriton (two species in the Western Nuclear Central American Highlands).

Nototriton (two species in the Western Nuclear Central American Highlands, nine species in the Eastern Nuclear Central American Highlands, and nine species in the Isthmian Central American Highlands).

Oedipina (two species in the Western Nuclear Central American Highlands, 10 species in the Eastern Nuclear Central American Highlands, nine species in the Isthmian Central American Highlands, two species in the Caribbean lowlands of eastern Guatemala and northern Honduras, five species in the Caribbean Lowlands from Nicaragua to Panama, one species in the Pacific Lowlands from Southeastern Guatemala to Northwestern Costa Rica, and one species in the Pacific Lowlands from Central Costa Rica to Panama).

Parvimolge (one species in the Sierra Madre Oriental).

Pseudoeurycea (four species in the Mesa Central, 14 species in the Sierra Madre Oriental, two species in the Sierra de Los Tuxtlas, 13 species in the Sierra Madre del Sur, and one species in the Western Nuclear Central American Highlands).

Thorius (19 species in the Sierra Madre Oriental, one species in the Sierra de Los Tuxtlas, and nine species in the Sierra Madre del Sur).

Most of these priority level one salamander species belong to the family Plethodontidae and are distributed in montane regions throughout Mesoamerica. Many of the genera to which these priority level one salamander species belong are also endemic to Mesoamerica, including *Aquiloerycea* (Mexico only), *Chiropterotriton* (Mexico only), *Cryptotriton* (Mexico and Central America), *Dendrotriton* (Mexico and Central America), *Isthmura* (Mexico only), *Ixalotriton* (Mexico only), *Nototriton* (Central America only), *Parvimolge* (Mexico only), *Pseudoeurycea* (Mexico and Central America), and *Thorius* (Mexico only). Thus, there is a plethora of these taxa that could be featured as flagship genera and species of montane regions throughout Mesoamerica in efforts to highlight the need for the conservation of the herpetofauna of these regions.



Table 3. Conservation priority list of endemic salamander species in Mexico and Central America based on the EVS categorization and the range of physiographic occurrence (data from Johnson et al., 2017, and Mata-Silva et al., 2019 [as updated with data from mesoamericanherpetology.com; accessed 28 October 2020]). Species common to Mexico and Central America not included.

Priority Levels	Mexico	Central America	Totals
One (High EVS in One Region)	116	128	244
Two (High EVS in Two Regions)	5	10	15
Three (High EVS in Three Regions)	3	2	5
Four (High EVS in Four Regions)	1	2	3
Five (High EVS in Five Regions)	—	1	1
High EVS Species Totals	125	143	268
Seven (Medium EVS in One Region)	4	—	4
Eight (Medium EVS in Two Regions)	1	1	2
Ten (Medium EVS in Four Regions)	2	—	2
Medium EVS Species Totals	7	1	8
Sum Totals	132	144	276

Tables 4. Distributional summary of priority level one salamander species in Mesoamerica, among 21 physiographic regions (first 14 in Mexico, remainder in Central America, with WN, CGU, and YP represented in both regions). Abbreviations are as follows: BC = Baja California and Adjacent Islands; SD = Sonoran Desert Basins and Ranges; NB = Northern Plateau Basins and Ranges; MC = Mesa Central; EL = Subhumid Extratropical Lowlands of Northeastern Mexico; SC = Pacific Lowlands from Sonora to Western Chiapas, including the Balsas Basin and Central Depression of Chiapas; OC = Sierra Madre Occidental; OR = Sierra Madre Oriental; TT = Atlantic Lowlands from Tamaulipas to Tabasco; LT = Sierra de Los Tuxtlas; SU = Sierra Madre del Sur; YP = Yucatan Platform; WN = Western Nuclear Central American Highlands; CGU = Pacific lowlands from eastern Chiapas to south-central Guatemala; HN = eastern nuclear Central American highlands; CRP = Isthmian Central American highlands; EP = highlands of eastern Panama; GH = Caribbean lowlands of eastern Guatemala and northern Honduras (area includes associated Caribbean islands); NP = Caribbean lowlands from Nicaragua to Panama (area includes associated Caribbean islands); GCR = Pacific lowlands from southeastern Guatemala to northwestern Costa Rica; and CP = Pacific lowlands from central Costa Rica through Panama (area includes associated Pacific islands).

Families	Physiographic Regions																				
	BC	SD	NB	MC	EL	SC	OC	OR	TT	LT	SU	YP	WN	CGU	HN	CRP	EP	GH	NP	GCR	CP
<i>Ambystoma andersoni</i>				+																	
<i>Ambystoma bombypellum</i>				+																	
<i>Ambystoma dumerilii</i>				+																	
<i>Ambystoma flavipiperatum</i>				+																	
<i>Ambystoma granulorum</i>				+																	
<i>Ambystoma leorae</i>				+																	
<i>Ambystoma lermaense</i>				+																	
<i>Ambystoma mexicanum</i>				+																	
<i>Ambystoma silvense</i>							+														
<i>Ambystoma taylori</i>				+																	
Ambystomatidae (10 species)	—	—	—	9	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Aquiloerycea cafetalera</i>								+													
<i>Aquiloerycea galaenae</i>								+													
<i>Aquiloerycea praecellens</i>								+													
<i>Aquiloerycea quetzalanensis</i>								+													
<i>Aquiloerycea scandens</i>																					
<i>Bolitoglossa anthracina</i>																	+				
<i>Bolitoglossa auae</i>																	+				
<i>Bolitoglossa aureogularis</i>																	+				
<i>Bolitoglossa bramei</i>																	+				
<i>Bolitoglossa carri</i>																+					
<i>Bolitoglossa cataguana</i>																+					
<i>Bolitoglossa celaque</i>																+					
<i>Bolitoglossa centenorum</i>													+								
<i>Bolitoglossa cerroensis</i>																	+				
<i>Bolitoglossa chinanteca</i>									+												
<i>Bolitoglossa chucantiensis</i>																		+			
<i>Bolitoglossa coaxtlahuacana</i>											+										
<i>Bolitoglossa compacta</i>																	+				
<i>Bolitoglossa conanti</i>																+					
<i>Bolitoglossa copia</i>																	+				
<i>Bolitoglossa copinhorum</i>																+					
<i>Bolitoglossa cuchumatana</i>													+								

Families

Physiographic Regions

	BC	SD	NB	MC	EL	SC	OC	OR	TT	LT	SU	YP	WN	CGU	HN	CRP	EP	GH	NP	GCR	CP
<i>Bolitoglossa cuna</i>																			+		
<i>Bolitoglossa daryorum</i>													+								
<i>Bolitoglossa decora</i>															+						
<i>Bolitoglossa diaphora</i>															+						
<i>Bolitoglossa diminuta</i>																+					
<i>Bolitoglossa dunni</i>															+						
<i>Bolitoglossa epimela</i>																+					
<i>Bolitoglossa eremia</i>													+				+				
<i>Bolitoglossa gomezi</i>																	+				
<i>Bolitoglossa gracilis</i>																	+				
<i>Bolitoglossa heiroreias</i>															+						
<i>Bolitoglossa helmrichi</i>													+								
<i>Bolitoglossa hermosa</i>											+										
<i>Bolitoglossa huehuetenanguensis</i>													+								
<i>Bolitoglossa indio</i>																			+		
<i>Bolitoglossa insularis</i>															+						
<i>Bolitoglossa jacksoni</i>													+								
<i>Bolitoglossa jugivagans</i>																+					
<i>Bolitoglossa kamuk</i>																+					
<i>Bolitoglossa kaqchikelorum</i>													+								
<i>Bolitoglossa la</i>													+								
<i>Bolitoglossa longissima</i>															+						
<i>Bolitoglossa macrinii</i>											+										
<i>Bolitoglossa magnifica</i>																+					
<i>Bolitoglossa marmorea</i>																+					
<i>Bolitoglossa meliana</i>													+								
<i>Bolitoglossa minutula</i>																+					
<i>Bolitoglossa mombachoensis</i>															+						
<i>Bolitoglossa nigrescens</i>																+					
<i>Bolitoglossa ninadormida</i>													+								
<i>Bolitoglossa nussbaumi</i>													+								
<i>Bolitoglossa oaxacensis</i>											+										
<i>Bolitoglossa obscura</i>																+					
<i>Bolitoglossa omniusanctorum</i>													+								
<i>Bolitoglossa oresbia</i>															+						
<i>Bolitoglossa pacaya</i>													+								
<i>Bolitoglossa pesrubra</i>																+					
<i>Bolitoglossa porrasorum</i>															+						
<i>Bolitoglossa psephena</i>													+								
<i>Bolitoglossa pygmaea</i>																+					
<i>Bolitoglossa riletii</i>											+						+				
<i>Bolitoglossa robinsoni</i>																+					
<i>Bolitoglossa robusta</i>																+					
<i>Bolitoglossa sombra</i>																+					
<i>Bolitoglossa sooyorum</i>																+					
<i>Bolitoglossa splendida</i>																+					
<i>Bolitoglossa subpalmata</i>																+					
<i>Bolitoglossa suchitanensis</i>													+								
<i>Bolitoglossa synoria</i>															+						
<i>Bolitoglossa taylori</i>																	+				
<i>Bolitoglossa tenebrosa</i>													+								
<i>Bolitoglossa tica</i>																+					
<i>Bolitoglossa tzultacaj</i>													+								
<i>Bolitoglossa xibalba</i>													+								
<i>Bolitoglossa zacapensis</i>													+								
<i>Bolitoglossa zapoteca</i>											+										
<i>Chiropetrotriton arboreus</i>									+												
<i>Chiropetrotriton aureus</i>									+												

MESOAMERICAN SALAMANDERS (AMPHIBIA: CAUDATA) AS A CONSERVATION FOCAL GROUP

Families

Physiographic Regions

	BC	SD	NB	MC	EL	SC	OC	OR	TT	LT	SU	YP	WN	CGU	HN	CRP	EP	GH	NP	GCR	CP
<i>Chiropterotriton casasi</i>				+																	
<i>Chiropterotriton cernorum</i>				+																	
<i>Chiropterotriton chiropterus</i>								+													
<i>Chiropterotriton chondrostega</i>								+													
<i>Chiropterotriton cieloensis</i>								+													
<i>Chiropterotriton cracens</i>								+													
<i>Chiropterotriton dimidiatus</i>								+													
<i>Chiropterotriton infernalis</i>								+													
<i>Chiropterotriton lavae</i>								+													
<i>Chiropterotriton magnipes</i>								+													
<i>Chiropterotriton melipona</i>								+													
<i>Chiropterotriton miquihuanus</i>								+													
<i>Chiropterotriton mosaueri</i>								+													
<i>Chiropterotriton multidentatus</i>								+													
<i>Chiropterotriton nubilus</i>								+													
<i>Chiropterotriton orculus</i>								+													
<i>Chiropterotriton perotensis</i>				+																	
<i>Chiropterotriton priscus</i>								+													
<i>Chiropterotriton terrestris</i>								+													
<i>Chiropterotriton totonacus</i>				+																	
<i>Cryptotriton alvarezdeltoroi</i>														+							
<i>Cryptotriton monzoni</i>														+							
<i>Cryptotriton necopinus</i>																+					
<i>Cryptotriton sierraminensis</i>														+							
<i>Cryptotriton veraepacis</i>														+							
<i>Cryptotriton xucaneborum</i>														+							
<i>Dendrotriton bromeliacius</i>														+							
<i>Dendrotriton chujorum</i>														+							
<i>Dendrotriton cuchumatanus</i>														+							
<i>Dendrotriton kekchiorum</i>														+							
<i>Dendrotriton megarhinus</i>														+							
<i>Dendrotriton rabbi</i>														+							
<i>Dendrotriton sanctibarbarus</i>																+					
<i>Dendrotriton xolocalcae</i>														+							
<i>Isthmura corrugata</i>								+													
<i>Isthmura gigantea</i>								+													
<i>Isthmura maxima</i>											+										
<i>Isthmura sierraoccidentalis</i>							+														
<i>Ixalotriton niger</i>														+							
<i>Ixalotriton parvus</i>														+							
<i>Nototriton abscondens</i>																	+				
<i>Nototriton barbouri</i>																+					
<i>Nototriton brodiei</i>														+							
<i>Nototriton costaricense</i>																	+				
<i>Nototriton gamezi</i>																	+				
<i>Nototriton guanacaste</i>																	+				
<i>Nototriton lignicola</i>																+					
<i>Nototriton limnospectator</i>																+					
<i>Nototriton major</i>																	+				
<i>Nototriton matama</i>																	+				
<i>Nototriton mime</i>																+					
<i>Nototriton nelsoni</i>																+					
<i>Nototriton oreadorum</i>																+					
<i>Nototriton picadoi</i>																	+				
<i>Nototriton picucha</i>																+					
<i>Nototriton richardi</i>																	+				
<i>Nototriton saslaya</i>																+					
<i>Nototriton stuarti</i>														+							
<i>Nototriton tapanti</i>																	+				

Families

Physiographic Regions

	BC	SD	NB	MC	EL	SC	OC	OR	TT	LT	SU	YP	WN	CGU	HN	CRP	EP	GH	NP	GCR	CP
<i>Nototriton tomamorum</i>															+						
<i>Oedipina altura</i>																+					
<i>Oedipina berlini</i>																+					
<i>Oedipina capitalina</i>															+						
<i>Oedipina carablanca</i>																			+		
<i>Oedipina chortiorum</i>															+						
<i>Oedipina collaris</i>																			+		
<i>Oedipina cyclocauda</i>																+			+		
<i>Oedipina fortunensis</i>																+					
<i>Oedipina geophyra</i>															+						
<i>Oedipina gracilis</i>																+			+		
<i>Oedipina grandis</i>																+					
<i>Oedipina kasios</i>															+						
<i>Oedipina koehleri</i>															+						
<i>Oedipina leptopoda</i>															+						
<i>Oedipina maritima</i>																			+		
<i>Oedipina motaguae</i>																		+			
<i>Oedipina nica</i>															+						
<i>Oedipina nimaso</i>																+					
<i>Oedipina pacificensis</i>																					+
<i>Oedipina paucidentata</i>																+					
<i>Oedipina petiola</i>															+						
<i>Oedipina poelzi</i>																+					
<i>Oedipina quadra</i>																		+			
<i>Oedipina salvadorensis</i>																				+	
<i>Oedipina savagei</i>																+					
<i>Oedipina stenopodia</i>													+								
<i>Oedipina taylori</i>															+						
<i>Oedipina tomasi</i>															+						
<i>Oedipina tzutujilorum</i>													+								
<i>Oedipina uniformis</i>																+					
<i>Parvimolge townsendi</i>								+													
<i>Pseudoeurycea ahuitzotl</i>											+										
<i>Pseudoeurycea altamontana</i>				+																	
<i>Pseudoeurycea amuzga</i>											+										
<i>Pseudoeurycea anitae</i>											+										
<i>Pseudoeurycea aquatica</i>								+													
<i>Pseudoeurycea aurantia</i>								+													
<i>Pseudoeurycea cochranae</i>											+										
<i>Pseudoeurycea conanti</i>											+										
<i>Pseudoeurycea expectata</i>													+								
<i>Pseudoeurycea firscheini</i>								+													
<i>Pseudoeurycea juarezi</i>								+													
<i>Pseudoeurycea kuautli</i>											+										
<i>Pseudoeurycea lineola</i>								+													
<i>Pseudoeurycea longicauda</i>				+																	
<i>Pseudoeurycea lynchi</i>								+													
<i>Pseudoeurycea melanomolga</i>								+													
<i>Pseudoeurycea mixcoatl</i>											+										
<i>Pseudoeurycea mixteca</i>											+										
<i>Pseudoeurycea mystax</i>											+										
<i>Pseudoeurycea naucampatepetl</i>								+													
<i>Pseudoeurycea nigromaculata</i>								+													
<i>Pseudoeurycea obesa</i>								+													
<i>Pseudoeurycea orchileucos</i>								+													
<i>Pseudoeurycea orchimelas</i>										+											
<i>Pseudoeurycea papenfussi</i>								+													
<i>Pseudoeurycea robertsi</i>				+																	
<i>Pseudoeurycea ruficauda</i>								+													

Families

Physiographic Regions

	BC	SD	NB	MC	EL	SC	OC	OR	TT	LT	SU	YP	WN	CGU	HN	CRP	EP	GH	NP	GCR	CP	
<i>Pseudoeurycea saltator</i>								+														
<i>Pseudoeurycea tenchalli</i>											+											
<i>Pseudoeurycea teotepec</i>											+											
<i>Pseudoeurycea tlahcuiloh</i>											+											
<i>Pseudoeurycea tlilicxitl</i>				+																		
<i>Pseudoeurycea unguidentis</i>											+											
<i>Pseudoeurycea werleri</i>										+												
<i>Thorius adelos</i>								+														
<i>Thorius arboreus</i>								+														
<i>Thorius aureus</i>								+														
<i>Thorius boreas</i>								+														
<i>Thorius dubitus</i>								+														
<i>Thorius grandis</i>											+											
<i>Thorius hankeni</i>											+											
<i>Thorius infernalis</i>											+											
<i>Thorius insperatus</i>								+														
<i>Thorius longicaudus</i>											+											
<i>Thorius lunaris</i>								+														
<i>Thorius macdougalli</i>								+														
<i>Thorius magnipes</i>								+														
<i>Thorius maxillabrochus</i>								+														
<i>Thorius minutissimus</i>											+											
<i>Thorius minydemus</i>								+														
<i>Thorius munificus</i>								+														
<i>Thorius narismagnus</i>										+												
<i>Thorius narisovalis</i>											+											
<i>Thorius omiltemi</i>											+											
<i>Thorius papaloe</i>								+														
<i>Thorius pennatulus</i>								+														
<i>Thorius pinicola</i>											+											
<i>Thorius pulmonaris</i>								+														
<i>Thorius schmidtii</i>								+														
<i>Thorius smithi</i>								+														
<i>Thorius spilogaster</i>								+														
<i>Thorius tlaxiacus</i>											+											
<i>Thorius troglodytes</i>								+														
Plethodontidae (234 species)	—	—	—	8	—	—	1	60	—	3	29	—	39	—	36	45	2	2	7	1	1	
Totals (244 species)	—	—	—	17	—	—	2	60	—	3	29	—	39	—	36	45	2	2	7	1	1	



CONSERVATION SIGNIFICANCE OF MESOAMERICAN SALAMANDERS

Even though salamanders constitute a hugely important biodiversity resource in Mesoamerica, which is expected to continue to be the source of significant taxonomic novelty, this status is not recognized generally outside the enclave of conservation herpetologists or conservation biologists at most, and, therefore, the matter does not rise to the level of becoming the focus of conservation action plans anywhere in Mesoamerica, as judged by the conservation literature published to date.

Nonetheless, several important studies have appeared recently, the results of which impinge on the conservation importance of Mexican salamanders. The most consequential deal with the potential threat imposed by the chytrid fungus *Batrachochytrium salamandrivorans* (*Bsal*) on Mexican salamanders, which fungus has been documented to be responsible for the recent decline in European salamander populations (Gray et al. 2015; Spitzen-van der Sluijs et al. 2016; Stegen et al. 2017; Basanta et al. 2019). Their work is of immense importance, since *Bsal* has yet to be reported from Mexico or the USA. Basanta et al. (2019) used ecological modeling methods to identify “areas moderately to highly suitable for the establishment of *Bsal* with high salamander diversity as potential hotspots for surveillance” (Basanta et al. 2019: 1). They noted that Mexico has the second-highest salamander species diversity in the world (second only to the USA) and found (pg. 4) that “areas from the Sierra Madre Oriental (SMO), Trans-Mexican Volcanic Belt (TVB), Sierra Madre del Sur (SMS), Mexican Gulf and Yucatan Peninsula were the most suitable areas for *Bsal*.” Of high significance is that three of these five areas (Sierra Madre Oriental, Trans-Mexican Volcanic Belt, and Sierra Madre del Sur) are precisely those areas we have identified above as harboring the highest levels of Mexican salamander diversity. The lowland regions, although supporting limited salamander diversity, do provide possible ports of entry for *Bsal* with foreign origins and access to populations of non-susceptible lowland anurans that could act as carriers and transmission vectors of *Bsal* to highly susceptible [salamander] species (Basanta et al. 2019: 8). These authors concluded (pg. 9) that their study, which integrated ecological niche modeling of *Bsal* and salamander distribution in Mexico, “found high overlap between them.” They further concluded (pg. 9) that “the areas most suitable for *Bsal* in Mexico are Central and Southern Mexico, which coincide with the highest salamander richness areas and with the largest number of endemic and threatened species.” Moreover, they “identified 13 areas as potential hotspots for population risk with both high salamander diversity and areas that are moderately to highly suitable for *Bsal*.” These 13 potential hotspots (in which five or more salamander species occur) are in the Trans-Mexican Volcanic Belt, Los Tuxtlas in Veracruz, Sierra Madre del Sur in Guerrero and Oaxaca, and the Sierra Madre in Chiapas (pg. 5). The most important conclusion of the Basanta et al. (2019) study is obvious. What steps should be taken

to prevent and/or limit the spread of *Bsal* in Mexico? The authors opine that wildlife trade presents the potential risk of introducing *Bsal* to naïve regions in Mexico. Furthermore, “areas with high salamander diversity have climatic conditions that appear to be suitable for the establishment of *Bsal* should an introduction occur. Considering the latter, the risk of *Bsal* arrival is critically important, and it is essential to monitor these areas where species loss would be considerable” (Basanta et al. 2019: 8). These authors also noted (pg. 9) that “the combined effects of *Bd* [*B. dendrobatidis*] and *Bsal* together [sic] in amphibian population are unknown [emphasis ours], but [they] can only assume that they could dramatically affect the amphibian populations that are already threatened by habitat loss.” Finally, they stated that “conservation efforts for amphibians in Mexico should focus on preventing the arrival of *Bsal* and its transmission among populations. Amphibian trade restrictions are being implemented in the USA, Canada and the European Union, and Mexico should not be the exception [emphasis ours]. As the country with the second-highest salamander species diversity, Mexico is potentially at risk of facing dramatic declines upon the arrival of an emerging pathogen such as *Bsal*. If *Bsal* is detected in Mexico, immediate management actions to prevent its spread, such as restricting site-level access, especially in hotspots, should be considered.”

The Basanta et al. (2019) study is a powerful prescriptive piece of work that seems destined to morph into an important tale of missed opportunities that if applied in time and with sufficient diligence could have averted a major ecological travesty. There are several reasons we think that one day those people who know what could have been avoided and care deeply that these things did not occur will look back and ask, “What might have happened if we had taken the steps prescribed by Basanta et al. (2019) in a timely fashion?” These reasons are as follows:

1. *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) initially was reported to cause amphibian mortality by Berger et al. (1998) in species occurring in rain forests of Australia and Central America. In the ensuing two decades after that publication appeared, *Bd* has assumed a global presence and has become a major environmental threat to the continued existence of anuran amphibians on the planet. Subsequent studies have concluded that *Bd* either originated in Africa (Weldon et al. 2004) and spread through traffic in African clawed frogs (*Xenopus laevis*) or on the Korean Peninsula (New York Times, 2018-05-10) and also spread by trade in frogs (O-Hanlon et al. 2018). In addition, *Lithobates catesbeianus* is a North American anuran that is thought to be a carrier of the disease chytridiomycosis and is widely introduced into localities outside its native range for use as a food source and frequently escapes captivity to become established in these areas. The work we have done thus far with our Mexican Conservation Series has demonstrated that the American Bullfrog has been introduced into six of the

Mexican states (Coahuila, Hidalgo, Nayarit, Nuevo León, Puebla, and Tamaulipas) in 11 entries in this series published to date. Thus, it is clear that *Bd* is the culprit in the creation of a disease that has achieved global impact among populations of anuran amphibians and that humans have ably facilitated the spread of chytridiomycosis.

2. *Batrachochytrium salamandrivorans* is a chytrid fungus described as a new species by Martel et al. (2013), just eight years ago, and at the same time identified as capable of causing lethal chytridiomycosis in amphibians and to have been shown already to be responsible for “die-offs of native salamander species in Europe” (Basanta et al. 2019: 1). This fungus has decimated populations of the Fire Salamander (*Salamandra salamandra*) in the Netherlands (Martel et al. 2013). Thus far, the fungus has not been reported in the Western Hemisphere, but there is significant concern that it might eventually manage to become established there. Investigative work undertaken with North American species of salamanders has shown that this fungus can kill *Taricha granulosa* and that *Notophthalmus viridescens* is a susceptible *Bsal* host species. The introduction of *Bsal* into populations of *S. salamandra* in Europe is thought to have occurred relatively recently because of the pet trade in the Japanese Fire-bellied Newt (*Cynops pyrrhogaster*). The potential for the introduction of *Bsal* into North America is serious enough that the U.S. Fish and Wildlife Service issued a directive on 12 January 2016 prohibiting the importation of salamanders to reduce the threat posed by *Bsal*. This step, while certainly worthwhile, might not be sufficient to stem the potential for the establishment of *Bsal* in North America, especially inasmuch as wild frogs that can coexist with *Bsal* infections (Basanta et al. 2019: 2) have been shown to act as carriers of this fungus and potential vectors for transmission. Therefore, trade in these wild frogs also would have to be prohibited. The United States and Mexico contain the largest and the second-largest salamander faunas in the world, respectively. The global salamander fauna currently stands at 762 species (Frost, 2020; accessed 28 October 2020). North America is home to 208 species, as indicated at AmphibiaWeb.org (accessed 31 October 2020); this figure is 27.3% of the global figure. Only seven species of resident salamanders in the US occur in Mexico (mesoamericanherpetology.com; accessed 28 October 2020), which means that 201 species (96.6%) are endemic to the United States. The figure for Mesoamerica is 308 species (mesoamericanherpetology.com; accessed 28 October 2020), which is 40.4% of the total for the world. Mexico harbors 159 species of salamanders or 20.9% of the world total, of which 133 (83.6%) are endemic to the country. The number of salamander species in Central America is 168, of which 144 or 85.7% are endemic to this region (mesoamericanherpetology.com; accessed 28 October 2020). As impressive as these figures are, they do not account for the salamander species that have yet to be described from the Western Hemisphere. The potential for ecological disaster in the form of spreading *Bsal* to the United States and/or Mesoamerica and the infection of the many susceptible salamander species in these regions is incalculable presently, but appears substantial given the poor track record the human species has for dealing with such threats in advance of their manifestation, let alone after such has occurred.
3. As noted above, North America is the largest repository of salamander species in the world. The threat posed, therefore, by the introduction of *Bsal* into the United States is massive and has prompted a call for action by several workers in this country (Gray et al. 2015). These authors concluded the following about this threat: “All evidence suggests that we are at a critical time of action to protect global amphibian biodiversity by swift policy actions to prevent the translocation of *Bsal*... *Bsal*’s potential effects are broad taxonomically, geographically, ecologically, and across a variety of ecosystem services. Hence, response to the threat of *Bsal* calls for a cooperative effort across nongovernmental organizations, government agencies, academic institutions, zoos, the pet industry, and concerned citizens to avoid the potential catastrophic effects of *Bsal* on salamanders outside of the pathogen’s endemic regions. Communication, collaboration, and expedited action are key to ensure that *Bsal* does not become established in North America and decimate wild salamander populations.” These authors ended their report with the most pertinent question applicable, viz. “Will sufficient policy action occur before it is too late?” It appears to us to be likely that we will know the answer to this seminal question sooner rather than later.
4. Another recent study of the North American threat was prepared by Yap et al. (2015) and is entitled “Averting a North American biodiversity crisis.” These authors prepared a salamander *Bsal* vulnerability model, which predicted the sites of major vulnerability to be located in the southeastern and northwestern sectors of the U.S. Yap et al. (2015) also posited that the most likely means of *Bsal* introduction into the U.S. is through international salamander trade. They determined the most likely routes for introduction by identifying the five most active ports (in order of importance, Los Angeles, CA, Tampa, FL, New York, NY, Atlanta GA, and San Francisco, CA) and indicated, frighteningly enough, that these ports “were located within or near the predicted salamander vulnerability zones” and collectively “accounted for more than 98% of all U.S. salamander imports” (Yap et al. 2015: 482). They concluded that “Immediate efforts are required to monitor zones of salamander *Bsal* high vulnerability... New studies on the basic biology of *Bsal* and on host-pathogen dynamics should also be a priority. Future studies should incorporate

- new data on transmission, susceptibility, and other potentially influential variables (e.g., species life-history traits, host microbiome, or co-occurring pathogens) to better understand the complex disease system. In the interim, the trade industry should take preventive measures from protocols that have been developed for the detection of *Bsal*... and the treatment of infected individuals" (Yap et al. 2015: 482). As of 2017, however, *Bsal* has not been detected in a survey of pet salamanders in the US (Klocke et al. 2017).
5. If the threat to salamander populations by *Bsal* were not bad enough, this threat might not have to reach North America directly from imported salamanders from overseas. Nguyen et al. (2017: 554) reported that *Bsal* has been found on wild small-webbed fire-bellied toads (*Bombina microdeladigitata*) from Vietnam, which have been imported recently into Germany. Thus, these authors concluded that "this finding suggests that the installment of measures to mitigate the *Bsal* threat through the amphibian trade should not be limited to urodeles but should equally take anurans into account." Thus, the threat posed to salamanders by *Bsal* could be magnified tremendously given that anurans can act as agents for transmission of this chytrid fungus, making the problem several times more difficult to address.
 6. Decimation of amphibian populations by chytrid fungi is a relatively recently understood phenomenon, which has proved important enough to have generated an extensive "cottage industry" of research into amphibian diseases, reports of which are now a regular feature of *Herpetological Review*, the official bulletin of the Society for the Study of Amphibians and Reptiles. Of significance is the fact that the December 2018 issue included a study entitled "Earliest record of *Batrachochytrium dendrobatidis* in amphibian populations of Baja California, Mexico" (Santos Barrera and Peralta García, 2018). This report indicated that *Bd* infection was detected in populations of *Rana draytonii*, the California Red-legged Frog, beginning three years (2018). This paper also noted that two additional anuran species, *Hylola cadaverina* and *Anaxyrus californicus*, have populations at a nearby locality infected at a high level (over 80%) with *Bd*. The scientific approach to this ecological disaster essentially has been limited to watching (i.e., documenting) its spread, both geographically and taxonomically, as well as studying the biological features of the fungus. Most likely, the same situation will obtain for *Bsal*.
 7. Whereas the spread of chytrid fungi of the genus *Batrachochytrium* among amphibian populations across the globe is especially alarming due to its rapidity and degree of scientific documentation, it is especially important to note that all the other environmental threats to amphibian (and reptile) species continue to develop apace. One of most dangerous outgrowths of the anthropocentric worldview is the idea that "our role is to conquer and subdue wild nature and use it for our own purposes" (Wilson and Lazcano 2019: 26). Humans continue to work on this ill-conceived purpose through two principal means: (a) by increasing the numbers of us on the planet by practicing unregulated population growth; and (b) by improving our ability to access resources from the natural world, send them through our economic systems (i.e., use and abuse them), and discharge them out the other end as unreclaimed and unreclaimable resources (= garbage). Human population growth continues apace and is monitored by, among other agencies, the Population Reference Bureau (prb.org). Every year, this organization produces a summary of statistics concerning population growth and related matters called the World Population Data Sheet (WPDS); the most recent version of this data sheet is for 2020. One of the pieces of data available on this sheet is the rate of natural increase or percentage growth rate, which can be used to calculate the population doubling time. If the percentage growth is divided into 70, the result approximates the doubling time in years. In Mesoamerica, the percentage growth rate ranges from 0.8% in Costa Rica to 1.8% in Nicaragua, which produces a range in doubling times from 87.5 to 38.9 years (2020 WPDS). The average for this part of the world is 1.2% for a doubling time of 58.3 years. Therefore, in this period or by 2078, the population of the region will have grown from the current level of 179 million to 358 million. In that same period, the impact of the human population on the amount of arable land in Mesoamerica will double, increasing from 618 people per square kilometer of arable land to 1,236 (2020 WPDS). In addition, the percentage of the population living in urban settings also will increase from the current figure of 69 to a higher figure. Consequently, more and more people living in urban settings will come to depend for subsistence on fewer and fewer people attempting to farm increasingly stressed croplands. From a conservation perspective, these trends portend for greater and greater pressure on the remnant natural habitats to support populations of organisms other than *Homo sapiens*, including the incredibly important endemic species in the herpetofauna.
 8. The eight countries of Mesoamerica present a study of contrasts in terms of population, environmental, and economic data. The mid-2020 population figures range from 400,000 for Belize to 127,800,000 for Mexico. The growth rate ranges from 0.8% (doubling time of 87.5 years) in Costa Rica to more than double that figure in Nicaragua (1.8% with a doubling time of 38.8 years). The percentage of urbanization ranges from 45 in Belize to 73 in Costa Rica and Mexico. The population per square kilometer of arable land ranges from 439 in Nicaragua to 2,096 in Guatemala. The GNI per capita PPP 2018 ranges from \$5,350 in Honduras to \$29,340 in Panama (2020 WPDS). Rates of deforestation also vary considerably in Mesoamerica, with the proportion of remaining forest cover ranging from 21% in El Salvador to 63% in Belize

(wikipedia.org; accessed 02 November 2020). As noted by González Rodríguez (2017: 27), "The rate of deforestation in Mexico is one of the most intense on the planet: according to the Geography Institute of UNAM, each year we lose 500 thousand hectares of forests and jungles. This situation places a great variety of plants and animals at risk of extinction, as well as many communities that over the generations have found a means of life in this ecosystem, to such an extent that they have learned to take advantage of it without destroying it. This also places us in fifth place in deforestation globally." This level of deforestation equates to a loss of 2.5% of forest cover per year. At this rate of deforestation in Mexico, it is expected that the entirety of this country's forests will disappear in just 40 years. These realities do not seem to faze the people in government, who do what they do without compunction.

9. In addition to the threat posed by *Bsal* and the habitat modification and destruction resulting from deforestation and its concomitant forms of anthropogenic abuse (agriculturalization and urbanization), information is accruing that serious declines in salamander populations appear to be resulting from climate alteration in upland settings in Mexico and Central America due to alteration of moisture conditions because of lowland and premontane deforestation (Rovito et al. 2009). These authors reported on studies of salamander faunas at various sites in southern Mexico and northern Central America that demonstrated population declines in terrestrial salamander species as opposed to those inhabiting arboreal bromeliads. Rovito et al. (2009: 3235) concluded that, "The results of [their] study point to widespread and severe declines of upland salamanders at multiple sites in Guatemala and Mexico, including the most intensively-studied salamander transect in the neotropics [that on Volcán Tajumulco in the Department of San Marcos in southwestern Guatemala]. Although the causes of these declines are not yet well understood, the drastic reductions in salamander numbers and changes in community composition in this region indicate that the salamander populations of many upland species need protection. Until the forces causing these declines are identified, however, an effective conservation strategy cannot be devised. Protecting habitat, although important, is insufficient to conserve populations of many of these species. Furthermore, other recent studies have also provided evidence of declining salamander populations in the neotropics [Lips et al. 2006; Whitfield et al. 2007]. The global amphibian crisis, usually discussed in terms of frogs, clearly involves Middle American salamanders as well." They further noted (Rovito et al. 2009: 3235) that "Species of cloud forest salamanders that can still be found rely at least in part on bromeliads. Bromeliads depend on cloud water deposition and are predicted to be particularly vulnerable to

climate change... Therefore, if climate change is in part responsible for the declines [they] observed, arboreal salamander species that are presently not in decline may soon suffer the same fate at the fully terrestrial species." This report raises the specter that environmental threats of great importance can arise from locales significantly remote from the habitats in which these salamanders live.

For the reasons elaborated above, it is our opinion that Mesoamerican salamanders should be promoted as a conservation focal group because they are the best exemplars of high rates of endemism among the members of the Mesoamerican herpetofauna. In addition, they are highly susceptible to environmental damage through human action, due to the threat posed most egregiously by a potential *Bsal* infection and the actual and increasing impact of deforestation. In our view, a conservation focal group is one that contains species of sufficient diversity and endemism to be used for publicizing the conservation issues facing such groups in general. Salamanders in Mesoamerica are primarily land-bound creatures heavily dependent on intact forest for their survival and reproduction (only 21 of 308 species or 6.8% are not members of the family Plethodontidae). Deforestation is a current and increasing threat to these amphibians, with *Bsal* infection a threat likely to emerge in the near future. Significant steps to protect populations of these flagship species should be implemented immediately by relevant conservation agencies.

A COMPREHENSIVE PLAN TO SALVAGE THE MESOAMERICAN SALAMANDER FAUNA

In this study, we have documented several distinctive features of the Mesoamerican salamander fauna, including that:

1. This fauna is significantly large and diverse, consisting of 308 species in 20 genera of four families.
2. The two largest families are the Ambystomatidae, represented by 18 species in the genus *Ambystoma*, distributed most extensively in the Mesa Central, including its southern rim, and the Plethodontidae, with 287 species in 17 genera, distributed principally in the various montane regions of Mexico and Central America.
3. This salamander fauna is decidedly endemic, with an overall proportion of 96.1%. This fauna consists of 132 endemic Mexican species, 144 endemic Central American species, and 19 species endemic to Mesoamerica in general.
4. The majority of the 295 endemic Mesoamerican species are allocated to the conservation priority level one, indicating that each is restricted to one of the 21 recognized physiographic regions and have a high EVS value.
5. The Mesoamerican salamander fauna is gravely threatened by the potential specter of an invasion by the chytrid fungus *Batrachochytrium salamandrivorans* into the Western Hemisphere



in either North America north of Mexico, Mesoamerica, or both. This fauna is severely imperiled presently by widespread destruction of their habitat by humans. These potential or actual threats are, or will be, advancing at an exponential rate consonant with the increase in the human population and its insatiable appetite for consuming the planetary resource base.

6. Given the reality of these threats, there is no time like the present to devise and implement a comprehensive multi-national plan for salvaging of this globally significant salamander fauna. Such a plan for Mesoamerica could use the plan outlining research, monitoring, and management strategies developed for the United States by Campbell Grant et al. (2015).
7. Our initial suggestion is that a Mesoamerican-based herpetological group such as the Red Mesoamericana y del Caribe para la Conservación de Anfibios y Reptiles convene a congress for the express purpose of devising an action plan for reclaiming the Mesoamerican salamander fauna for perpetuity. Congressional participants should include professional herpetologists, especially those specializing in the study of salamander biology, conservation herpetologists, especially those specializing in the conservation of the Mesoamerican herpetofauna, conservation biologists representing global conservation organizations, specialists in environmental education, and government officials representing environmental ministries.
8. We also suggest that the program for the congress be based on an exploration of the conservation imperatives facing the various segments of the Mesoamerican salamander fauna from its principal montane regions, including the Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Mesa Central (including Trans-Mexican Volcanic Belt), Sierra Madre del Sur, Western and Eastern

Nuclear Central American Highlands, Isthmian Central American Highlands, and Highlands of Eastern Panama. The program should also include a presentation on the steps being taken at the governmental level in the various Mesoamerican countries to assure a future for salamander faunas present in those countries. Finally, presentations should be made on how best to explain to local groups about the conservation significance and environmental threats facing the members of the Mesoamerican salamander fauna and to enlist their aid in developing and implementing programs for protecting these creatures.

9. Finally, plans for the publication of the results of the congress should be formulated for swift dissemination and implementation of a comprehensive plan for the perpetual protection of the Mesoamerican salamander fauna.

CONCLUSIONS

- A. Salamanders constitute the second largest order of amphibians globally, with 762 species or 9.3% of the total size of the class. These 762 species are arranged into nine families, of which eight are represented in the Western Hemisphere.
- B. The salamanders of Mesoamerica are partitioned into four families, including the Ambystomatidae, Plethodontidae, Salamandridae, and Sirenidae. Representatives of only two of these families, the Ambystomatidae and Plethodontidae, extend very far into Mesoamerica. The Mesoamerican species of the family Ambystomatidae extend only to the southern edge of the Mesa Central, whereas those of the family Plethodontidae extend the length and breadth of Mesoamerica from northern Mexico to southern Panama and on into northern South America.
- C. The salamander fauna of Mesoamerica comprises 308 species, 305 of which belong to the two families Ambystomatidae (with 18

species) and Plethodontidae (with 287 species). All 18 of the Mesoamerican ambystomatid salamanders belong to the genus *Ambystoma*. The 287 Mesoamerican plethodontid salamanders are allocated to 17 genera, including *Aneides* (one species), *Aquiloerycea* (six species), *Batrachoceps* (one species), *Bolitoglossa* (102 species), *Bradytriton* (one species), *Chiropterotriton* (23 species), *Cryptotriton* (seven species), *Dendrotriton* (eight species), *Ensatina* (one species), *Isthmura* (seven species), *Ixalotriton* (two species), *Nototriton* (20 species), *Nyctanolis* (one species), *Oedipina* (38 species), *Parvimolge* (one species), *Pseudoeurycea* (39 species), and *Thorius* (29 species). The mean number of species per genus among these salamanders is 16.9, thus six of the 17 genera contain more than this number and the remaining 11 genera fewer than this number. The largest genus of plethodontid salamanders in Mesoamerica is *Bolitoglossa*, with 102 species or 35.5% of the 287 total species in the family Plethodontidae.

- D. Of the nine broad patterns of distribution established by Wilson et al. (2017), five apply to Mesoamerican salamanders, including the MXEN, CAEN, MXUS, MXCA, and CASA patterns. Generally, many Mesoamerican salamanders exhibit the MXEN and CAEN patterns, i.e., 277 species or 89.9% of the 308 species illustrate these two patterns. Adding the 19 MXCA species to this figure produces a total of 296 species endemic to Mesoamerica or 96.1%. This stunning figure is the highest by far for any herpetofaunal group in Mesoamerica. Also worth noting is that 12 of the 20 genera of salamanders in this region are endemic either to Mexico (six genera), Central America (one genus), or to both areas (five genera).
- E. The largest number of endemic species belongs to *Ambystoma* (17 species), *Bolitoglossa* (99 species), *Chiropterotriton* (23 species), *Nototriton* (20 species), *Oedipina* (36 species), *Pseudoeurycea* (39 species), and *Thorius* (29 species).
- F. At the country level, the highest salamander diversity occurs in Mexico, followed in decreasing order by that in Guatemala, Costa Rica, Honduras, Panama, Nicaragua, El Salvador, and Belize. At this same level, the amount of endemismity ranges from 0% in Belize to 84.2% in Mexico, with intermediate values, in ascending order, of 20.0% in El Salvador, 28.1% in Panama, 59.5% in Honduras, 59.4% in Guatemala, 60.0% in Nicaragua, and 63.5% in Costa Rica.
- G. Of the eight conservation priority levels that apply to Mesoamerican salamanders, the majority of both the Mexican and Central American endemic species occupy priority level one, those species occupying single physiographic regions with high EVS values. This figure consists of 244 species or 88.4% of the 276 Mexican and Central American endemic species. These priority level one species comprise a key conservation focal group, based on the following criteria: (1) the highest level of overall endemismity of any

herpetofaunal group in Mesoamerica; (2) a huge representation of endemic species in montane regions in Mesoamerica; (3) the highest proportion of endemic salamander species with high EVS values; and (4) a high proportion of salamander species occupying conservation priority level one.

- H. Most of the priority level one species of salamanders in Mesoamerica inhabit the following montane regions: Mesa Central, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Sierra de Los Tuxtlas, Western Nuclear Central American Highlands, Eastern Nuclear Central American Highlands, Isthmian Central American Highlands, and the Highlands of Eastern Panama. The same conclusion applies to the genera including the priority level one Mesoamerican species. *Ambystoma* occurs mostly in the Mesa Central, *Aquiloerycea* and *Chiropterotriton* in the Sierra Madre Oriental, *Cryptotriton*, *Dendrotriton*, and *Ixalotriton* in the nuclear Central American Highlands, and *Parvimolge* in the Sierra Madre Oriental. The remaining genera are more broadly distributed in the montane regions of Mesoamerica, especially *Bolitoglossa*, *Isthmura*, *Nototriton*, *Oedipina*, *Pseudoeurycea*, and *Thorius*. Given the large number of endemic Mesoamerican species of *Bolitoglossa* in Mesoamerica, it is not surprising that it is the most broadly distributed genus with representation in the Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Western and Eastern Nuclear Central American Highlands, Isthmian Central American Highlands, and the Highlands of Eastern Panama.
- I. Salamanders constitute a biodiversity resource of great importance in Mesoamerica, which is expected to grow in significance with time. This status, however, is not generally recognized outside the group of conservation herpetologists working in this region of the world. Thus, it perhaps should come as no surprise that these salamanders face grave threats to their continued survival with the potential arrival of the chytrid fungus *Batrachochytrium salamandrivorans* from the Old World. This threat appears to be very real and likely relatively immediate, as another testimony to the inability of humans to set aside their anthropocentrism in the interests of protecting an immensely interesting and evolutionarily significant group of amphibians. Since this fungus is established already in locales in the Eastern Hemisphere, it will fall to governments throughout the portions of the Americas inhabited by salamanders to guarantee that it does not become established in the Western Hemisphere. Whether this protection will be manifested on a continuing basis remains to be seen, but now is the time for protective measures to be enacted on a continuing and sufficiently extensive basis.
- J. Whereas the chytrid fungus *Batrachochytrium salamandrivorans* poses a tremendous threat to the hugely significant Mesoamerican salamander fauna, which has a great potential to decimate

populations of the largely endemic species comprising this fauna, all the other environmental threats that impinge on these creatures are still operating, especially habitat decimation and climate change. The means by which humans are delivering ills on these creatures are fundamentally two in number, i.e., unregulated human population growth and the concomitant increase in the process of turning the planetary resource base into unreclaimed refuse.

- K. The major conclusion of this paper is that Mesoamerican salamanders ought to be promoted as a conservation focal group because they provide the most significant example of the high rates of endemism among the members of the Mesoamerican herpetofauna that are exceedingly threatened by environmental damage through human action, both potential in the case of *Bsal* and through habitat modification and destruction.

herpetologists, conservation biologists, and governmental representatives, in an attempt to develop programs for the perpetual protection of the highly significant Mesoamerican salamander fauna.

- C. An additional recommendation is to establish the proposed congress as soon as possible, since the threats facing the Mesoamerican salamander fauna are advancing at an exponential rate commensurate with the increase of the human populations in Mexico and Central America. Time is clearly of the essence.
- D. Given that such a congress can be arranged, the principal outcome of the congress should involve the publication of a book involving a summary of the current state of knowledge of the biology of these creatures and the conservation imperatives with which they are faced and conclude with a detailed plan for their future salvation.

RECOMMENDATIONS

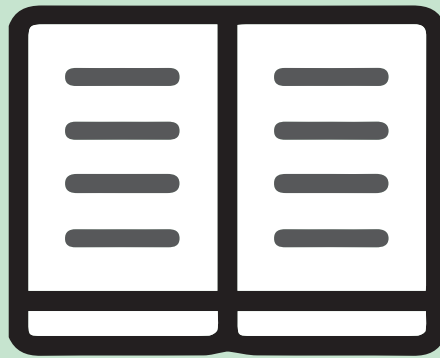
- A. The importance of the salamander fauna as the most significantly endemic component of the Mesoamerican herpetofauna, which is under severe threat due to human actions, needs to be emphasized, so we recommend that herpetologists whose research is centered in Mexico and/or Central America point out this importance whenever the opportunity might present itself at conferences and other gatherings.
- B. We recommend principally that a congress should be arranged to explore the challenges facing

ACKNOWLEDGMENTS

EGP thanks Haydée Morales Flores and his family for their support and companionship. We all extend our gratitude to the following people who supplied us with the outstanding images we included in this paper: Matthieu Berroneau, Claudio Contreras-Koob, César Halla García Mayoral, Pablo Garrido Szegedi, Valeria Mas, Andrés Novales, Jesús Ernesto Pérez Sánchez, Todd Pierson, Louis W. Porras, Javier Sunyer, Bruno Enrique Téllez Baños, and Enrique Vázquez Arroyo-Guerrero Jaguar. Also, we all gratefully thank Louis W. Porras, Aurelio Ramírez-Bautista, and Javier Sunyer for their perceptive reviews of this paper. 🙏

“THE MOST DANGEROUS WORLDVIEW IS THE WORLDVIEW OF THOSE WHO HAVE NOT VIEWED THE WORLD”.

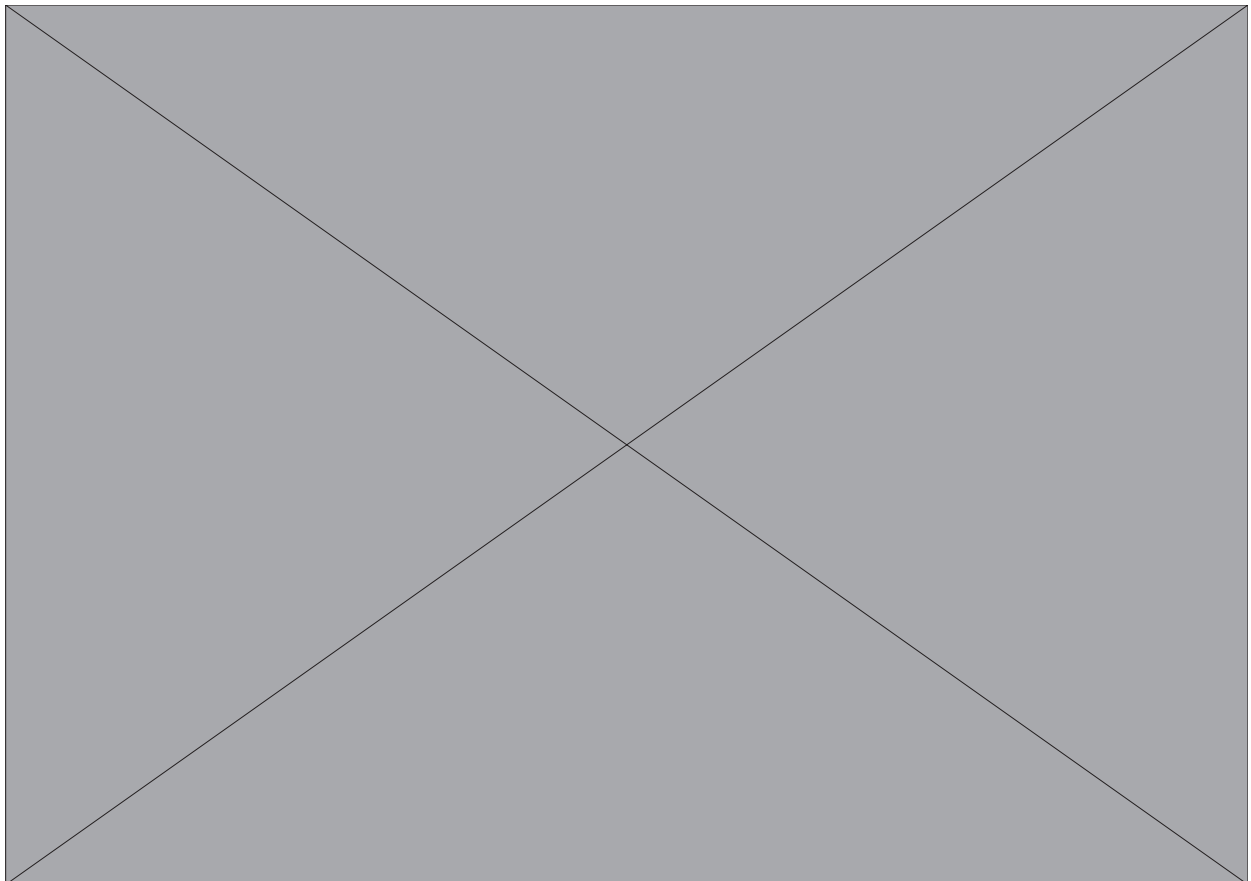
ALEXANDER VON HUMBOLDT



LITERATURA CITADA

- Basanta, M. D., E. A. Rebollar, and G. Parra-Olea. 2019. Potential risk of *Batrachochytrium salamandrivorans* in Mexico. *PLOS One* 14: e0211960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211960>
- Berger, L., R. Speare, P. Daszak, D. E. Green, A. A. Cunningham, C. L. Goggin, R. Slocombe, M. A. Ragan, A. D. Hyatt, K. R. McDonald, H. B. Hines, K. R. Lips, G. Marantelli, and H. Parkes. 1998. Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forest of Australia and Central America. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95: 9031–9036.
- Collins, J. P., and M. L. Crump. 2009. *Extinction in Our Times: Global Amphibian Decline*. Oxford University Press, New York, New York, USA. 273 p.
- Collins, J. P., and A. Storfer. 2003. Global amphibian declines: Sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions* 9: 89–98.
- Frost, D. R. 2020. *Amphibian Species of the World: An Online Reference*. Version 6.0. Available: www.research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html [Accessed 19 September 2020]. American Museum of Natural History, New York, New York, USA.
- García-Padilla, E., D. L. DeSantis, A. Rocha, V. Mata-Silva, J. D. Johnson, L. D. Wilson. 2020. Conserving the Mesoamerican herpetofauna: the most critical case of the priority level one endemic species. *Amphibian & Reptile Conservation* 14(2) [General Section]: 73–131 (e240).
- González Rodríguez, J de J. 2017. *Deforestación en México*. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, Cd. de México, Mexico. 101 p.
- Grant, E. H. C., Muths, E., Katz, R. A., Canessa, S., Adam, M. J., Ballard, J. R., Berger, L., Briggs, C. J., Coleman, J., Gray, M. J., Harris, M. C., Harris, R. N., Hossack, B., Huyvaert, K. P., Kolby, J. E., Lips, K. R., Lovich, R. E., McCallum, H. I., Mendelson, J. R., III, Nanjappa, P., Olson, D. H., Powers, J. G., Richgels, K. L. D., Russell, R. E., Schmidt, B. R., Spitzen-van der Sluijs, A., Watry, M. K., Woodhams, D. C., and White, C. L. 2016. Salamander chytrid fungus (*Batrachochytrium salamandrivorans*) in the United States—Developing research, monitoring, and management strategies: U.S. Geological Survey Open-File Report 2015–1233, 16 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20151233>.
- Gray, M. J., J. P. Lewis, P. Nanjappa, B. Klocke, F. Pasmans, A. Martel, C. Stephen, G. Parra Olea, S. A. Smith, A. Sacerdote-Velat, M. R. Christman, J. M. Williams, and D. H. Olson. 2015. *Batrachochytrium salamandrivorans*: the North American response and a call for action. *PLoS Pathogens* 11: e1005251.
- His Holiness the Dalai Lama. 2004. *Worlds in Harmony: Compassionate Action for a Better World*. Parallax Press, Berkeley, California, USA. 160 Pp.
- Itgen, M. W., S. K. Sessions, L. D. Wilson, and J. H. Townsend. 2020. Integrative systematic revision of *Bolitoglossa celaque* (Caudata: Plethodontidae), with a new species from the Lenca Highlands of Honduras. *Herpetological Monographs* 33: 48–70.
- Johnson, J. D., V. Mata-Silva, and L. D. Wilson. 2015. A conservation reassessment of the Central American herpetofauna based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 9 [General Section]: 1–94 (e100).
- 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: 543–620.
- Klocke, B., Becker M., Lewis, J., Fleischer, R. C., Muletz-Wolz, C. R., Rockwood, L., Aguirre, A. A., and Gratwicke, B. 2017. *Batrachochytrium salamandrivorans* not detected in US survey of pet salamanders. *Scientific Reports* 7: 1–5.
- Lips, K. R., Brem F., Brenes R., Reeve J. D., Alford, R. A., Voyles J., Carey, C., Pessier, A., Livo L., and Collins, J. P. 2006. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA* 103: 3165–3170.
- Martel, A., A. Spitzen-van der Sluijs, M. Bloor, W. Bert, R. Ducatelle, M. C. Fisher, A. Woeltjes, W. Bosman, K. Chiers, F. Bossuyt, and F. Pasmans. 2013. *Batrachochytrium salamandrivorans* sp. nov. causes lethal chytridiomycosis in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Science* 110: 15325–15329.
- Mata-Silva, V., D. L. DeSantis, E. García-Padilla, J. D. Johnson, and L. D. Wilson. 2019. The endemic herpetofauna of Central America: a casualty of anthropocentrism. *Amphibian & Reptile Conservation* 13: 1–64.
- Nguyen, T. T., Nguyen, T. V., Ziegler, T., Pasmans, F., and Martel, A. 2017. Trade in wild anurans vectors the urodelan pathogen *Batrachochytrium salamandrivorans* into Europe. *Amphibia-Reptilia* 39: 554–556.

- O'Hanlon, S. J., Rieux, A., Farrer, R. A., Rosa, G. M., Waldman, B., Bataille, A., Kosch, T. A., Murray, K. A., Brankovics, B., Fumagalli, M., Martin, M. D., Wales, N., Alvarado-Rybak, M., Bates, K. A., Berger, L., Böll, S., Brookes, L., Clare, F., Courtois, E. A., Cunningham, A. A., Doherty-Bone, T. M., Ghosh, P., Gower, D. J., Hintz, W. E., Höglund, J., Jenkinson, T. S., Lin, C.-F., Laurila, A., Lohan, A., Martel, A., Meurling, S., Miand, C., Minting, P., Pasmans, F., Schmeller, D. S., Schmidt, B. R., Shelton, J. M. G., Skerratt, L. F., Smith, F., Soto-Azat, C., Spagnoletti, M., Tessa, G., Toledo, L. F., Valenzuela-Sánchez, A., Verster, R., Vörös, J., Webb, R. J., Wierzbicki, C., Wombwell, E., Zamudio, K. R., Aanensen, D. M., James, T. Y., Thomas P. Gilbert, M., Weldon, C., Bosch, J., Balloux, F., Garner, T. W. J., and Fisher, M. C. 2018. Recent Asian origin of chytrid fungi causing global amphibian declines. *Science* 360: 621-627.
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, R. Cruz-Elizalde, C. Berriozabal-Islas, I. Moreno-Lara, D. L. DeSantis, J. D. Johnson, E. García-Padilla, V. Mata-Silva, and L. D. Wilson. 2020. The herpetofauna of Hidalgo, Mexico: composition, distribution, and conservation status. *Amphibian & Reptile Conservation* 41: 63-118.
- Rovito, S. M., G. Parra-Olea, C. R. Vásquez-Almazán, T. J. Papenfuss, and D. B. Wake. 2009. Dramatic declines in neotropical salamander populations are an important part of the global amphibian crisis. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 106: 3231-3236.
- Santos Barrera, G., and A. Peralta García. 2018. Earliest record of *Batrachochytrium dendrobatidis* in amphibian populations of Baja California, Mexico. *Herpetological Review* 49: 693-695.
- Spitzen-van der Sluijs, A., Martel, A., Asselberghs, J., Bales, E. K., Beukema, W. Bletz, M. C., Dalbeck, L., Goverse, E., Kerres, A., Kinet, T., and Kirst, K. 2016. Expanding distribution of lethal amphibian fungus *Batrachochytrium salamandrivorans* in Europe. *Emerging Infectious Diseases* 22: 1286.
- Stegen, G., Pasmans, F., Schmidt, B. R., Rouffaer, L. O., Van Praet, S., Schaub, M., Canessa S., Laudelout, A., Kinet T., Adriaensen, C., and Haesebrouck, F. 2017. Drivers of salamander extirpation mediated by *Batrachochytrium salamandrivorans*. *Nature* 544: 353-356.
- Vitt, L., and J. Caldwell. 2009. *Herpetology*. 3rd edition. Academic Press, Burlington, Maine, USA. 697 Pp.
- von Humboldt. A. 2013. *Works of Alexander von Humboldt*. The Perfect Library, Amazon Digital Services LLC.
- Weldon, C., L. H. du Preez, A. D. Hyatt, R. Muller, and R. Spears. 2004. Origin of the amphibian chytrid fungus. *Emerging Infectious Diseases* 10: 2100-2105.
- Whitfield, S. M., Bell, K. E., Philippi, T., Sasa, M., Bolaños, F. Chaves, G., Savage, J. M., and Donnelly, M. 2007. Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104: 8352-8356.
- Wilson, L. D., V. Mata-Silva, and J. D. Johnson. 2013a. A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Contribution to Special Mexico Issue. Amphibian & Reptile Conservation* 7: 1-47.
- Wilson, L. D., J. D. Johnson, and V. Mata-Silva. 2013b. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Contribution to Special Mexico Issue. Amphibian & Reptile Conservation* 7: 97-127.
- 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: 901-913.
- Wilson, L. D., and D. Lazcano. 2019. Biology and society: exposing the vital linkages. *Biología y Sociedad*, Febrero 2019: 29-54.
- Wilson, L. D., and J. R. McCranie. 2003. The conservation status of the herpetofauna of Honduras. *Amphibian & Reptile Conservation* 3: 6-33.
- World Population Data Sheet. 2020. Population Reference Bureau. Worldpopdata.org (accessed 22 September 2020).
- Yap, T. A., M. S. Koo, R. F. Ambrose, D. B. Wake, and V. T. Vredenburg. 2015. Averting a North American biodiversity crisis. *Science* 349: 481-482.



Ambystoma taylori Brandon, Maruska, and Rumph, 1982. Taylor's Salamander is a species known only from Laguna Alchichica, a saline crater lake in eastern Puebla (Frost, 2019). Wilson et al. (2013) determined the Environmental Vulnerability Score (EVS) of this salamander as 15, placing it in the lower portion of the high vulnerability category. This individual was photographed at the type locality in Laguna Alchichica, Puebla. Photo by Valeria Mas.



Aquiloerycea scandens Walker, 1955. The Tamaulipan False Brook Salamander is endemic to Mexico. Originally described from caves in the Reserva de la Biósfera El Cielo in southwestern Tamaulipas, this species later was reported from a locality in San Luis Potosí (Johnson et al., 1978) and another in Coahuila (Lemos-Espinal and Smith, 2007). Frost (2019) noted, however, that specimens from areas remote from the type locality might be unnamed species. This individual was found in an ecotone of cloud forest and pine-oak forest near Ejido La Gloria, in the municipality of Gómez Farías. Wilson et al. (2013) determined its EVS as 17. This individual was found in the "El Cielo" (Biosphere Reserve) in the vicinity of La Joya de Salas, Miqiuhuana, Tamaulipas, México. Photo by Elí García Padilla.



Bolitoglossa celaque McCranie and Wilson 1993. The Celaque Mushroomtongue Salamander has an EVS of 17 (Mata-Silva et al. 2019) and is restricted to the Sierra de Celaque in the Southern Cordillera of the Chortís Highlands in western Honduras (Itgen et al. in press). This individual was photographed on the eastern slope of Cerro Celaque, Departamento de Lempira, Honduras. Photo by Louis W. Porras.



Bolitoglossa chinanteca Rovito, Parra-Olea, Lee, and Wake 2012. The Chinanteca Salamander has an EVS of 18 (Johnson et al. 2017) and a distribution within the Sierra Juárez of Oaxaca, Mexico (Frost, 2019). This individual was encountered in the Municipality of San Felipe Usila, Oaxaca, Mexico. Photo by Vicente Mata-Silva.



Bolitoglossa colonea (Dunn, 1924). The La Loma Salamander has an EVS of 16 (Mata-Silva et al. 2019) and is distributed “from Bocas del Toro and Comarca Ngöbe-Buglé Provinces, far western Panamá and Alajuela, Heredia, Limón, and Cartago provinces, Costa Rica; also in the Golfo Dulce and Las Cruces areas of Pacific slope Costa Rica (Puntarenas Province)” (Frost, 2019). This individual was found in Bocas del Toro, Panamá. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa cuchumatana (Stuart, 1943). The Oak Forest Salamander has an EVS of 14 and is found in the “departments of El Quiché and Huehuetenango in the Sierra de Cuchumatanes, Guatemala” (Frost, 2019). This individual was photographed in the Sierra de los Cuchumatanes, Guatemala. Photo by Todd Pierson.



Bolitoglossa dofleini (Werner, 1903). Doflein's Salamander has an EVS of 15 and occupies "the Caribbean versant from extreme northern Alta Verapaz, Guatemala, and Cayo District, Belize, to north-central Honduras" (Frost, 2019). This individual was encountered in Copán, Honduras. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa gomezi Wake, Savage, and Hanken 2007. Gomez's Web-footed Salamander has an EVS of 16 and occurs on "either side of the Costa Rica-Panama border" (Frost, 2019). This individual was found in Jurutungo, Panama. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa helmrichi (Schmidt 1936). The Coban Mushroomtongue Salamander has an EVS of 16 and is distributed in cloud forest of mountainous regions of southwestern Alta Verapaz and Baja Verapaz, Guatemala, at elevations of 1,000 to 2,000 m (Frost, 2019). This individual was found in Purulha, Departamento de Baja Verapaz, Guatemala. Photo by Andrés Novales.



Bolitoglossa hermosa (Papenfuss, Wake and Adler, 1984). The Guerreran Mushroomtongue Salamander has an EVS of 16 and occur in Río Atoyac drainage on the Pacific slope of the Sierra Madre del Sur of Guerrero, Mexico, 765-2465 m elev. (Frost, 2019). This individual was found inside the "Corredor Comunitario del Jaguar" in the vicinity of Las Humedades in the municipality of Tecpan de Galeana, Guerrero. Photo by Enrique Vázquez Arroyo-Guerrero Jaguar.



Bolitoglossa huehuetenanguensis Campbell, Smith, Streicher, Acevedo, and Brodie 2010. The Huehuetenango Salamander has an EVS of 18 and is "known only from the vicinity of the type locality in the Sierra Cuchumatanes, Huehuetenango, Guatemala," at elevations of 2,450 to 2,835 m (Frost, 2019). This individual was photographed in the Departamento of Huehuetenango, Guatemala. Photo by Todd Pierson.



Bolitoglossa indio Sunyer, Lotzkat, Hertz, Wake, Aléman, Robleto, and Köhler 2008. The Río Indio Salamander has an EVS of 17 and is "known only from the type locality [of] Dos Bocas del Río Indio, Departamento de Río San Juan, northeastern Nicaragua" (Frost, 2019). This individual was found at Río Indio, Nicaragua. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa insularis Sunyer, Lotzkat, Hertz, Wake, Aléman, Robleto, and Köhler 2008. The Isla de Ometepe Salamander has an EVS of 18 and is known only from the type locality [of] the Isla de Ometepe, in Lago Nicaragua, Departamento de Rivas, Nicaragua” (Frost, 2019). This individual was located on Volcán Maderas, Isla de Ometepe, Departamento de Rivas, Nicaragua. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa lignicolor (Peters, 1873). The Camron Mushroomtongue Salamander has an EVS of 16 and is distributed “in southwestern Costa Rica and adjacent western Panama and the Peninsula de Azuero as well as Isla Coiba, west-central Panama” (Frost, 2019). This individual was found at Meseta Chorchá, Panama. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa lincolni (Stuart, 1943). Lincoln's Mushroomtongue Salamander has an EVS of 13 and occurs "from the Meseta Central of Chiapas, Mexico to the Pacific slopes in western Guatemala, including the Sierra de Cuilco, the western portion of the Guatemalan Plateau, and the Cuchumatanes" (Frost, 2019). This individual was found in Cerro Huitepec, Altos de Chiapas, México. Photo by Elí García Padilla



Bolitoglossa mexicana Duméril, Bibron, and Duméril, 1854. The Mexican Mushroomtongue Salamander has an EVS of 8 and is found "from southern Veracruz (Mexico) across the base of the Yucatan Peninsula, with an isolated population in northern part of Yucatan Peninsula, to Honduras (extending to the Pacific versant in Ocotepeque) and El Salvador (Departamento de Chalatenango, municipio de La Palma, Cerro La Palma) (Frost, 2019). This individual was found at Santa María Chimalapas, Oaxaca, México. Photo by Elí García Padilla.



Bolitoglossa minutula Wake, Brame, and Duellman, 1973. The Minute Mushroomtongue Salamander has an EVS of 17 and is distributed “on both slopes of the southern Cordillera de Talamanca of Costa Rica...and its extension into western Panama” (Frost, 2019). This individual was encountered at Jurutungo, Panama. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa morio (Cope, 1869). Cope’s Mushroomtongue Salamander has an EVS of 13 and occurs on the Guatemalan Plateau (Frost, 2019). This individual was located at Chichicastenango, Guatemala. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa mulleri (Brocchi, 1883) The Müller's Mushroomtongue Salamander has an EVS of 15 and occur in the Atlantic slopes of the mountains of Alta Verapaz, Quiché, and Huehuetenango, Guatemala, and adjacent Chiapas, Mexico, in the Municipio de Ocosingo, 140-1550 m elevation. This individual was found in the Departamento de Huehuetenango, Guatemala. Photo by Todd Pierson.



Bolitoglossa oaxacensis Parra-Olea, García-Paris, and Wake 2002. The Atoyac Salamander has an EVS of 17 and is distributed in "humid oak-pine and pine forest in the Sierra Madre del Sur, specifically from the mountains south of Sola de Vega, to immediately south of the Atoyac River Basin, in the vicinity of Puerto Portillo, Oaxaca, Mexico" (Frost, 2019). This individual was found in the Sierra Madre del Sur in Oaxaca, Mexico. Photo by Vicente Mata-Silva.



Bolitoglossa odonnelli (Stuart, 1943). O'Donnell's Salamander has an EVS of 16 and ranges in the cloud forests of the Atlantic drainage of the mountains of eastern Alta Verapaz, east to the Montañas del Mico, Guatemala," at elevations of 100–1,200 m; "also in adjacent western Honduras" (Frost, 2019). This individual was located at Morales, Departamento de Izabal, Guatemala. Photo by Andrés Novales.



Bolitoglossa pesrubra (Taylor, 1952). The Red-footed Salamander has an EVS of 15 and is distributed in "the Cordillera de Talamanca, including the Fila Cedral" (Frost, 2019). This individual was found on Cerro de la Muerte. Photo by Javier Sunyer.



Bolitoglossa salvinii (Gray, 1868). Salvin's Mushroomtongue Salamander has an EVS of 16 and occurs on "the Pacific slopes of southern Guatemala and El Salvador" (Frost, 2019). This individual was located at Suchitepeques, Patulul, Guatemala. Photo by Javier Sunyer.



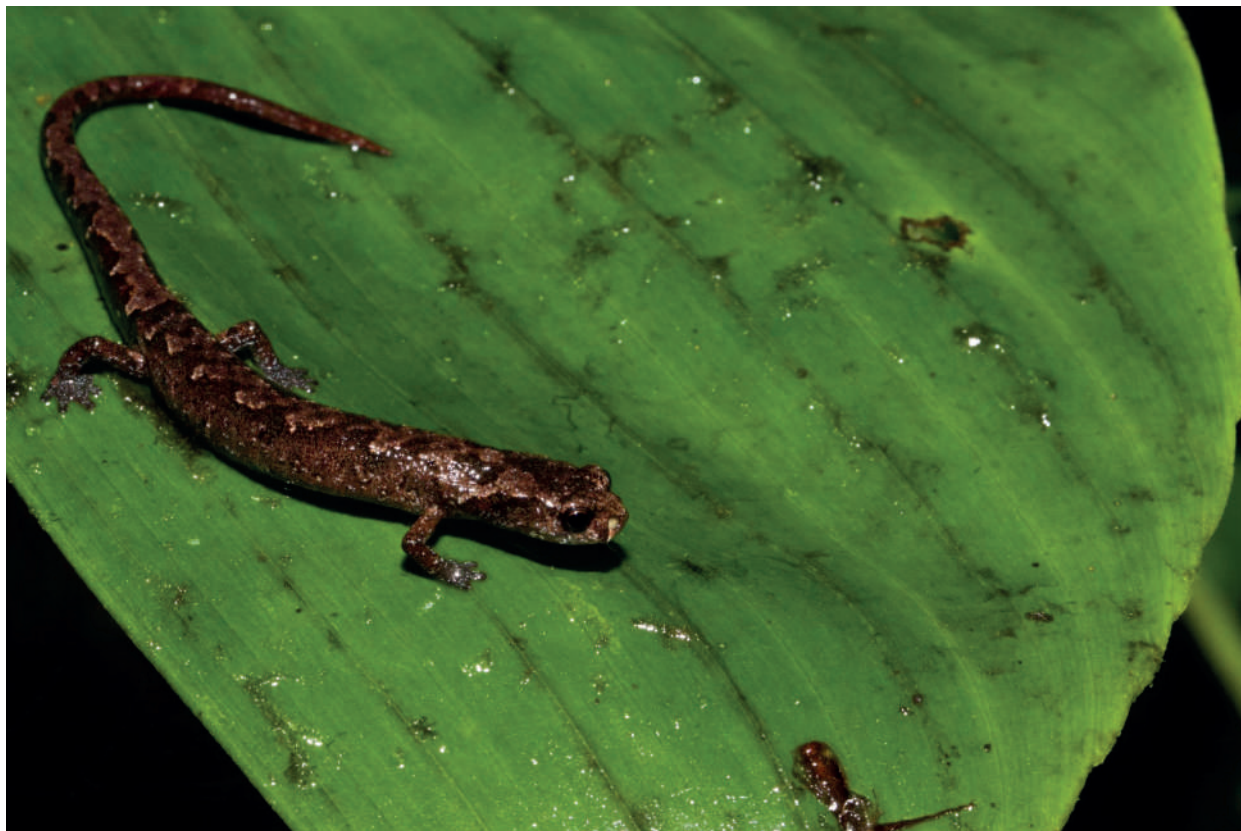
Bolitoglossa striatula (Noble, 1918). The Cukra Mushroomtongue Salamander has an EVS of 16 and occupies "the Atlantic versant from eastern Honduras through eastern Nicaragua to central Costa Rica" (Frost, 2019). This individual was photographed at Río San Juan, Nicaragua. Photo by Javier Sunyer.



Chiropterotriton cieloensis Rovito and Parra-Olea, 2015. The El Cielo Salamander is one of the most recently described amphibians from Tamaulipas. This species is known only from the Reserva de la Biósfera El Cielo in the municipality of Gómez Farías, located in the extreme southwestern portion of the state. The salamander is known to occur at elevations from approximately 1,000 to 1,860 m in the Sierra de Guatemala, where it has been encountered in bromeliads and caves in broadleaf cloud forest. The EVS of this species is 17. Pictured here is an individual from the vicinity of the species' type locality at "El Cielo" (Biosphere Reserve), Tamaulipas, México. Photo by Elif García Padilla.



Chiropterotriton magnipes Rabb, 1965. The Bigfoot Splayfoot Salamander has an EVS of 16 and is distributed in "pine-oak woodland or northeastern Queretaro, Mexico" (Frost, 2019). This individual was located inside a cave at La Trinidad, in the municipality of Xilitla, San Luis Potosí, México. Photo by Pablo Garrido Szegedi.



Cryptotriton veraepacis (Lynch and Wake 1978). The Baja Verapaz Salamander has an EVS of 17 and occurs in eastern Guatemala in the Sierra de las Minas and nearby mountains above 1610–2290 m elevation” (Frost, 2019). This individual was found at Reserva Natural Ranchitos del Quetzal, Guatemala. Photo by Andrés Novales.



Isthmura gigantea (Taylor, 1939). The Giant False Brook Salamander has an EVS of 16 and is “known from the pine-oak/cloud-forest interface in the La Joya-Jalapa region of Veracruz and into northeastern Hidalgo, Mexico” at elevations of 1,000 to 2,000 m (Frost, 2019). This individual was found on the road between Tequila and Zongolica, Veracruz. Photo by Matthieu Berroneau.



Isthmura maxima (Parra-Olea, García-París, Papenfuss, and Wake, 2005). The Southern Giant Salamander has an EVS of 17 and occurs in “far western and southern Oaxaca, as far south as 15 km north of San Gabriel Mixtepec, in elevation[s] as low as 730 m but generally about 2000 m elevation, west to Ejido Tres Marias, municipality of Malinaltepec” (Frost 2019). This individual was encountered in Cerro Tigre, in the municipality of Tututepec, Oaxaca, México. Photo by Vicente Mata-Silva.



Ixalotriton niger Wake and Johnson 1989. The Jumping Salamander has an EVS of 18 and is “known from the montane rainforest in the immediate vicinity of the type locality, near Berriozábal in northwestern Chiapas, Mexico, 1200 m elevation, and in two small caves at Cerro Baul, on the southwestern border of Chiapas with Oaxaca, 1592 and 2000 m elevation” (Frost, 2019). This individual was encountered at La Pera, Berriozabal, Chiapas, México. Photo by Jesús Ernesto Pérez Sánchez.



Nototriton guanacaste Good and Wake 1993. This salamander has an EVS of 17 and is found “on the summits of Volcán Orosi and Cerro Cacao, in the Cordillera de Guanacaste, province of Guanacaste, northwestern Costa Rica” (Frost, 2019). This individual was found on Cerro Cacao, Guanacaste Province, Costa Rica. Photo by Javier Sunyer.



Nyctanolis pernix Elias and Wake 1983. The Nimble Long-limbed Salamander has an EVS of 15 and ranges in the Parque Nacional Lagunas de Montebello in southern Chiapas (Mexico) and northwest of there near Leyva Velázquez, Municipio de las Margaritas, Chiapas, Mexico, 835–2145 m elevation; in Guatemala on the northeastern slopes of the Sierra de los Cuchumatanes and in the Sierra de las Minas above Puruhlá, Baja Verapaz, Guatemala, 1200–1610 m elevation” (Frost, 2019). This individual was encountered at the Departamento of Huehuetenango, Guatemala. Photo by Todd Pierson.



Oedipina elongata (Schmidt, 1936). The Central American Worm Salamander has an EVS of 15 and occur in low and moderate elevations from north-central Chiapas (Mexico) and near the Caribbean coast of eastern Belize across the Atlantic foothills of Guatemala to the Montañas del Mico and into adjacent northwestern Honduras (Frost, 2019). This individual was encountered in Santo Tomás de Castilla, Departamento de Izabal, Guatemala Photo by Andres Novales.



Oedipina fortunensis Köhler, Ponce, and Batista 2007. The Fortuna Worm Salamander has an EVS of 18 and is known “only from the type locality (Reserva Forestal Fortuna, Chiriquí, Panama)” (Frost, 2019). This individual came from Fortuna, Panama. Photo by Javier Sunyer.



Oedipina grandis Brame and Duellman 1970. The Cerro Pando Worm Salamander has an EVS of 17 and is distributed in the Cordillera de Talamanca in extreme southern Costa Rica and immediately adjacent western Panama" (Frost, 2019). This individual was found at Jurutungo, Panama. Photo by Javier Sunyer.



Oedipina koehleri Sunyer, Townsend, Wake, Travers, Gonzalez, Obando, and Quintana 2011. Koehler's Worm Salamander has an EVS of 16 and is found in "three isolated highland areas in northern Nicaragua" (Frost, 2019). This individual came from Musun Matagalpa, Nicaragua. Photo by Javier Sunyer.



Oedipina nica Sunyer, Wake, Townsend, Travers, Rovito, Papenfuss, Obando, and Köhler 2010. The Nicaraguan Worm Salamander has an EVS of 17 and is distributed in north-central Nicaragua (Frost, 2019). This individual came from Finca Monimbo, Matagalpa, Nicaragua. Photo by Javier Sunyer.



Pseudoeurycea conanti Bogert 1967. Conant's Salamander has an EVS of 16 and is "known only from the type locality (Oaxaca, Mexico)" (Frost, 2019). This individual was found near Sola de Vega, Oaxaca, México. Photo by Vicente Mata-Silva.



Pseudoeurycea leprosa (Cope, 1869). The Leprous False Brook Salamander has an EVS of 16 and is found in the "high mountains of Puebla, Veracruz, Morelos, Distrito Federal (Ciudad de Mexico), and Mexico (Estado de Mexico), Mexico; also reported for Guerrero and Oaxaca" (Frost, 2019). This individual was encountered at Milpa Alta in the municipality of the same name, in the state of Ciudad de México. Photo by Claudio Contreras-Koob.



Pseudoeurycea mixteca Canseco-Márquez and Gutiérrez-Mayén 2005. The Mixteca False Brook Salamander has an EVS of 17 and is found in the "Mixteca Alta region of northwestern Oaxaca in pine-oak forest; isolated relict cave locality in the arid Tehuacan Valley, Puebla" (Frost, 2019). This individual was found at Teposcolula, Oaxaca, México. Photo by Bruno Enrique Téllez Baños.



Pseudoeurycea rex (Dunn, 1921) The Royal False Brook Salamander has an EVS of 18 and occurs in high elevations of western Guatemala; expected in adjacent Chiapas, Mexico (Frost, 2019). This individual was observed in the Departamento of Huehuetenango, Guatemala. Photo by Todd Pierson.



Thorius boreas Hanken and Wake 1994. The Boreal Thorius has an EVS of 18 and is "known only from the vicinity of the type locality in pine-oak forest both north and south of the crest of Cerro Pelón in the Sierra Juárez, 2800-3000 m elevation, Oaxaca, Mexico" (Frost, 2019). This individual was found in the vicinity of Llano de las Flores in the Sierra Madre de Oaxaca, Mexico. Photo by Vicente Mata-Silva.



Thorius narisovalis (Taylor, 1940) The Cerro San Felipe Pigmy Salamander has an EVS of and it is known only from Oaxaca, Mexico, in three areas: (1) the vicinity of the type locality (Cerro San Felipe), the (2) vicinity of Zaachila, in central Oaxaca, and (3) the vicinity of Tlaxiaco, in cloud forests in pine-oak woodland, 2600-3000 m elevation (Frost, 2019). This individual was photographed in Cerro San Felipe, San Felipe del Agua, Oaxaca, México. Photo by César Halla García Mayoral.



SOBRE 
LOS AUTORES

Biología y Sociedad

Revista de Divulgación Científica
de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL



#SOMOSUNI

TRABAJAR · TRANSFORMAR · TRASCENDER